

Л.А.Шелепин

Становление новой парадигмы

Рассматривается проблема становления новой научной парадигмы XXI века, включающей предысторию, память о прошлом. Обсуждаются ее следствия для различных областей знания. Выясняется роль чисел Фибоначчи и золотого сечения как индикаторов проявления процессов с памятью.

Последовательность трех парадигм

В работе¹ в качестве новой мировоззренческой парадигмы, включающей основные формы научного знания, рассматривались немарковские процессы (процессы с памятью). Было показано, что учет предыстории естественным образом обобщает существующую марковскую парадигму, основанную на процессах без последствия. Цель настоящей статьи заключается в анализе особенностей перехода к новой парадигме, процессов ее становления. Новая парадигма затрагивает в той или иной степени все области знания и для прогнозирования изменений необходимо конкретное рассмотрение с использованием фактического материала. Сейчас все более настоятельными становятся проблема выработки сценария смены парадигм, исследования областей, где уже назрела необходимость новых подходов, анализа возможных изменений в основах мировоззрения.

Предварительно следует кратко остановиться на трех основных парадигмах последних столетий. В XVIII—XIX веках система научных воззрений базировалась на механицизме, объясняющем развитие природы и общества законами механической формы движения. Они рассматривались как универсальные и распространялись на все

виды материи. Возникновение этой парадигмы было связано с выдающимися достижениями классической механики, выработавшей свои представления о материи, движении, пространстве, времени, причинности. Однако достижения естествознания конца XIX — начала XX века показали, что механицизм может объяснить только некоторую часть природных явлений. Описание на его основе электромагнитных, химических, биологических, а тем более социальных явлений оказалось невозможным.

Новая общая парадигма возникла в XX веке. В ее основе лежали достижения в области физики. Физические методы и подходы проникли практически во все естественные науки, в том числе в химию и биологию, а также используются в общественных. Фактически в нашем столетии физика стала своего рода царицей наук, подобно механике в XVIII—XIX веках. Коренным образом изменилось и само ее содержание. Теория относительности, квантовая механика, теория элементарных частиц, синергетика резко расширили наше понимание закономерностей окружающего мира. Несмотря на все различия этих теорий, в них имеется единая основа — марковские процессы, или процессы без последствия, которые и составили суть мировоззренческой и научной парадигмы XX века.

Марковский процесс — это случайный процесс, для которого при известном состоянии системы в настоящий момент t_0 ее дальнейшая эволюция не зависит от состояния этой системы в прошлом (при $t < t_0$). Он был назван марковским по имени создателя основ теории русского ученого А.А.Маркова. Для марковского процесса, зная состояние системы в какой-либо момент времени t_0 , можно в принципе определить вероятностную картину поведения системы в будущем. Эта картина не изменяется от добавочных сведений о событиях при $t < t_0$. Марковские процессы нашли широкое поле приложений в физике, радиотехнике, автоматике, экономике, социологии, медицине, биологии. Требование марковости лежит в основе как классической, так и квантовой физики и является мощным практическим инструментом в конкретных исследованиях.

Однако в настоящее время в существующей марковской парадигме проявляется все больше рассогласований и трудностей. Основная причина — неучет памяти в марковском подходе, а ведь в биологии и в социальных явлениях память — необходимый обязательный элемент. Поэтому они принципиально не могут быть последовательно описаны с помощью имеющейся парадигмы. Более того, для сложных социально-экономических систем установлен целый ряд интересных статистических закономерностей, выполняющихся

с высокой степенью точности, природа которых до сих пор еще не вполне ясна. Отметим, что центр тяжести научных исследований постепенно смещается от физики к биологии и социуму, а именно этот круг явлений уже не может адекватно описываться в рамках старой парадигмы. Попытки ее сохранения сводятся к утверждениям о том, что если каким-либо образом найти положение всех атомов и молекул в мозгу человека, то все мысли в принципе могут быть определены и знание предьстории не нужно. В целом же ситуация в наше время аналогична той, которая была в конце XIX века, когда на основе старой механистической парадигмы оказалось невозможным последовательное описание ряда конкретных явлений. Так и сейчас, на смену парадигме марковских процессов должна прийти новая, в основе которой лежат немарковские процессы или процессы с памятью. Она должна включать в себя предыдущую как частный случай.

Немарковские процессы

Путь к адекватному описанию систем биологического, информационного и социально-экономического плана лежит через построение теории процессов с памятью, или как ее еще называют — теории немарковских процессов, описывающей изменение структур. Если в марковских процессах мерой движения служит энергия, то в немарковских важнейшей дополнительной характеристикой служит негэнтропия как мера упорядочения, мера сложности структуры. Марковские процессы локальны во времени. Зная состояние системы в какой-либо момент времени t_0 , можно в принципе определить вероятностную картину поведения системы в будущем; эта картина не меняется от добавочных сведений о событиях при $t < t_0$. Немарковские процессы учитывают эти добавочные сведения, память о прошлом; и по своей природе нелокальны во времени. Поэтому в отличие от марковских процессов они описываются не дифференциальными уравнениями, а интегро-дифференциальными (именно интегрирование по времени позволяет учитывать прошлое). С помощью этих уравнений может быть определена эволюция системы. Это одно из принципиальных различий между двумя парадигмами в математическом описании явлений.

Простейшие немарковские процессы, в которых необходимо учитывать зависимость от прошлого, описываются линейными интегро-дифференциальными уравнениями типа (1, 2)

$$d P / d t = \int_0^t \Lambda (\tau) P (t - \tau) d \tau, \quad (1)$$

где $P (t)$ — вероятность, $\Lambda (t)$ (ядро уравнения, τ может, в частности, принимать значения t и ∞). Эти уравнения нелокальны во времени. В отличие от марковских процессов, где в правой части (1) стоит произведение $\Lambda (t) P (t)$, для немарковских проводится интегрирование по прошлому времени.

Переходя к дискретному описанию и ограничиваясь конечным числом членов, получаем конечно-разностное немарковское уравнение

$$P_t = F (P_{t-1}, P_{t-2}, \dots P_{t-n}, t). \quad (2)$$

Если для марковских процессов вероятностная картина поведения системы в будущем определяется ее состоянием в момент времени t_0

$$u_{n+1} = f (u_n). \quad (3)$$

то для немарковских она задается соотношением (2), а в простейшем случае

$$u_{n+1} = u_n + u_{n-1}. \quad (4)$$

Здесь характерная величина u_n зависит не только от предыдущего состояния, но и от того, что было шаг назад, т.е. от событий при $t < t_0$. Марковский подход можно рассматривать как нулевое приближение общей немарковской теории. В рамках такой теории можно исходить из последовательных приближений. Здесь фундаментальную роль может играть положение о затухании памяти с удалением во все более далекое прошлое. В этом предположении наибольшую роль играет ближняя память и соответственно в дискретном ряду

$$u_{n+1} = u_n + u_{n-1} + u_{n-2} + u_{n-3} + \dots \quad (5)$$

наиболее существенными, как правило, оказываются два первых члена в правой части. В природе, во многих биологических явлениях наиболее существенной оказывается ближняя память. Рекуррентное соотношение (4), определяющее ближнюю память, задает первое приближение в отклонении от марковского мира. И в этом состоит его фундаментальное значение.

Решением рекуррентного уравнения (4) являются числа Фибоначчи. Эти числа имеют почти 800-летнюю историю. В 1202 году была издана книга Леонардо из Пизы по прозвищу Фибоначчи, в которой рассматривалась задача о кроликах: «сколько пар кроликов за год от одной пары рождается». Была получена последовательность чисел пар кроликов для каждого месяца: $u_1, u_2, u_3, u_4, \dots$. В данной числовой последовательности каждый член равен сумме двух предыдущих членов в соответствии с формулой (4). В задаче Фибоначчи первые два числа предполагались равными единице. В этом случае первыми членами ряда будут: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377 ... С помощью соотношения (4) этот ряд может бесконечно продолжаться. Отношение двух последовательных чисел ряда Фибоначчи u_{n+1} / u_n с ростом n стремится к пределу q , получившему название золотого сечения (впервые этот термин ввел Леонардо да Винчи).

$$q = (u_{n+1} / u_n)_{n \rightarrow \infty} = (\sqrt{5} + 1) / 2 = \alpha \approx 1,62 \quad (6)$$

Величина q удовлетворяет соотношению

$$q^2 - q - 1 = 0. \quad (7)$$

Числа Фибоначчи нашли обширные применения². Так они могут быть использованы для построения системы счисления. Подобно десятиричной или двоичной системам любое натуральное число может быть представлено в виде некоторой последовательности цифр, указывающих сколько конкретных чисел Фибоначчи, начиная с наибольшего из возможных, оно содержит. Например, число 10 может быть записано как $1 \times 8 + 0 \times 5 + 0 \times 3 + 1 \times 2 + 0 \times 1 + 0 \times 1$ или 100100.

В геометрии отношение (6) соответствует делению в точке C_1 отрезка AB на две части так, чтобы большая из его частей C_1B была средним пропорциональным между меньшей его частью AC_1 и всем отрезком: $AB / AC_1 = AC_1 / C_1B$.

Отрицательному корню уравнения (7) соответствует точка C_2 , лежащая на прямой вне отрезка AB . В этом случае снова имеем золотое сечение: $C_2B / AB = AB / C_2B = \alpha$.

В восприятии человека прямоугольники золотого сечения (т.е. с соотношением сторон α) выглядят пропорциональными и приятными на вид. Поэтому многим обиходным предметам (чемоданам, книгам, коробкам) придается именно такая форма. Внешняя красота предметов, связанная с золотым сечением, часто возводилась в эстетический и философский принцип. С помощью золотого сече-

ния пытались объяснить явления природы и общественной жизни. Многие относили все эти работы к мистике. Однако здесь не все так просто, поскольку числа Фибоначчи и золотое сечение могут служить характеристиками немарковских процессов.

Среди различных обобщений чисел Фибоначчи отметим решения немарковского уравнения:

$$u_{n+1} = u_n + u_{n-S-1}. \quad (8)$$

Здесь каждый член ряда равен сумме предыдущего и отстоящего от предыдущего на S шагов. Случаю $S = 1$ соответствуют числа Фибоначчи, значениям $S = 2, 3, 4, \dots$ — величины, получившие название S — чисел Фибоначчи. Обобщается понятие золотой пропорции. Так золотая S -пропорция является положительным корнем уравнения золотого S -сечения $q^{2S} - q^S - 1 = 0$. Отношения соседних S — чисел Фибоначчи совпадают в пределе с золотыми S -пропорциями, подобно обычному ряду Фибоначчи. Или, другими словами, золотые S -сечения являются числовыми инвариантами S — чисел Фибоначчи. Инварианты для первых четырех значений S соответственно равны: 1,618, 1, 464, 1,380, 1,324.

Числа Фибоначчи и золотое сечение оказались также тесно связанными с немарковскими равновесными распределениями. Для марковских процессов равновесное состояние определяется бoльцмановским распределением по энергии E . Например, для заселенностей энергетических уровней N оно имеет вид

$$W = W \exp (-E / kT). \quad (9)$$

Как существенный равновесный параметр в (9) входит температура T . Для немарковских процессов равновесное распределение задается соотношением типа (9) для негэнтропии S . Как отмечалось, например в [2/], равновесные распределения такого типа возникают в биологии. Так распределение биомассы W в трофических цепях биоценоза может быть записано в виде

$$W = W_0 \exp (-S / \theta). \quad (10)$$

Это соотношение естественным образом возникает и при других немарковских процессах. Величина θ в (10) соответствует некоторой «структурной» температуре, которая определяется характерным объемом памяти о прошлом или своего рода негэнтропийным (инфор-

мационным) полем. При больших θ возникают сложные иерархические структуры в широком диапазоне S , при малых θ — структуры в малом диапазоне, а при $\theta \rightarrow 0$, т.е. отсутствии информации о прошлом, происходит предельный переход к марковским процессам.

Обратимся к стандартному соотношению (4) и рассмотрим условия совместимости (4) и (10), что даст соответствующее этому случаю значение θ . Представим экспоненту в дискретном виде как геометрическую прогрессию: $1, q, q^2, q^3 \dots$. Чтобы она была решением (4), необходимо выполнение при любом n соотношения $q^{n-2} + q^{n-1} = q^n$, сводящегося к (7). Корни уравнения (7), задающие искомое значение q в равновесном распределении (12), соответствуют золотому сечению α . Т.е. золотое сечение непосредственно следует из условий равновесия в немарковской системе с ближней памятью. Таким образом, числа Фибоначчи и золотое сечение являются не только характеристикой, но и своего рода индикатором наличия немарковского процесса, а также служат признаком равновесия в такой системе. С этой точки зрения золотое сечение и числа Фибоначчи существенно выделены в природе.

Золотое сечение и числа Фибоначчи в биологии

По-видимому, впервые обратил внимание на проявления золотого сечения в биологии Иоганн Кеплер, но до последнего времени они представлялись неразрешимой загадкой. Вот как говорится об этом в работе³: «Непосвященные не догадываются о существовании жгучей тайны, в которой проявляется душа растения — тайны чисел Фибоначчи и золотого сечения в морфологии растения, разгадке, которой светлые головы посвящают наблюдения и исследования на протяжении уже более чем четырех веков». Характерный пример — наличие в расположении мелких частей растений двух типов спиралей, закрученных в противоположных направлениях. Числа спиралей того и другого типа задаются соседними числами Фибоначчи. Так на многих шишках чешуйки располагаются в трех и пяти спиралях, навивающихся в противоположных направлениях. В крупных шишках удается наблюдать 5 и 8, а также 8 и 13 спиралей. На ананасе обычно наблюдаются 8 и 13 спиралей. Число спиралей у многих сложноцветных (например, у ромашки) составляет 13 и 21 или 21 и 34. В подсолнухе число спиралей противоположного направления в расположении семечек может достигать значений 55 и 89. Подобные эф-

фекты, связанные с числами Фибоначчи, наблюдаются в расположении хвоинок на сосновой ветке, расположении листьев крапивы, клена сирени, березы.

Не менее поразительны проявления чисел Фибоначчи в животном мире. Приведем примеры⁴: черепаха (13 сросшихся роговых пластин в панцире, 5 пластин в центре, 8 по краям, 5 пальцев на лапках, 34 позвонка), скорпион (2 части — брюшко и хвост, 5 пар конечностей, 8 сегментов на брюшке, 5 на хвосте), гусеницы — мукоеды, шкуроеды (13 сегментов). Число пар зубов (21 — собака, лошадь, свинья, 14 — кролик, 34 — гиена, 233 — дельфин), число позвонков (34 гигантский олень, 55 — кит). Характеристики человека: ребра — 12 пар, позвонки — 34, запястье — 8 косточек, пальцы — 5, каждый палец — 3 фаланги, общее число костей близко к 233, железы внутренней секреции — 8, число органов пищеварения — 13, частей печени — 8, частей почки — 5, частей сердца — 13. Конечно, это только отдельные примеры, носящие иллюстративный характер. В работе⁵, где приводятся результаты исследований ритмов мозга, говорится об определенных инвариантах, характеризующих волны электрической активности головного мозга (бета, дельта, тэта, альфа и гамма волны). Они совпадают с приведенными выше значениями золотых S-сечений, соответствующих $S = 1, 2, 3, 4$. В общем случае числа Фибоначчи и золотое сечение проявляются в самых разнообразных явлениях растительного и животного мира⁶. Они служат признаком квазиравновесных распределений для любой системы с памятью. Их наличие в самых разнообразных явлениях живой природы естественно, поскольку любой биологический объект — составная часть немарковских процессов.

Следует различать память, связанную с генотипом и фенотипом. Фенотип — совокупность признаков и свойств особи, формирующихся в процессе взаимодействия ее генетической структуры (генотипа) и внешней среды. Фенотип обусловлен как генотипом, так и внешними условиями протекания соответствующего немарковского процесса. В число его характеристик также входят числа Фибоначчи и золотое сечение.

Немарковские процессы и золотое сечение в неорганической природе

До последнего времени использование немарковского подхода в физике носило весьма ограниченный характер. В статье⁷ показано, что к немарковским процессам относится широкий класс физи-

ческих задач, но их немарковская природа присутствует неявно, скрыто, она остается на втором плане. Указано несколько областей его применения. Так для вязкоупругих жидкостей напряжение зависит не только от текущего значения скорости деформации, но и от ее предыстории. Интегро-дифференциальные уравнения типа (1) использовались для полимерных неньютоновских жидкостей. Вообще немарковский подход перспективен для реологии — совокупности методов исследования течения и деформации реальных сред. В физике твердого тела немарковские уравнения использовались при описании процессов, связанных с гистерезисом. Они также возникают в процессах, связанных со структурой дефектов. В работе⁸ построено обобщенное немарковское уравнение Больцмана, описывающее плотный газ. Для колебательных химических реакций, в частности реакции Белоусова — Жаботинского, в ряде экспериментальных исследований⁹ отмечалось, что индукционный период до начала колебаний зависит от предыстории. В целом из краткого обзора¹⁰ создается впечатление, что в физике, несмотря на разнообразие явлений, связанных с немарковскими процессами, мы, образно говоря, имеем дело с локальными возмущениями существующей марковской парадигмы.

Однако ситуация представляется по-другому, если проанализировать характеристики Солнечной системы. В свое время великий немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571—1630), установивший законы движения планет вокруг Солнца, высказал идею геометрической гармонии Солнечной системы и обратился к музыкальной аналогии («музыка сфер»). К этим идеям последующие поколения астрономов не относились серьезно. Однако после установления связи золотого сечения с периодами обращения планет Солнечной системы идеи Кеплера приобретают глубокий физический смысл.

В работе¹¹ представлены конкретные данные и проведено сопоставление периодов обращений планет вокруг Солнца и их биений (основные тоны) с периодом обращения Земли. В результате возникает ряд чисел, с высокой точностью совпадающих с рядом золотого сечения. Другими словами, частоты обращений планет и разности частот обращений образуют спектр с интервалом, равным золотой пропорции. Причем данная закономерность соблюдается с точностью 95%. Здесь действительно подходит название «музыка сфер».

Не менее впечатляющие данные получены для расстояний планет от Солнца. В работе¹² приведены данные К.Домбровского, который показал, что расстояния планет до Солнца пропорциональны числам ряда золотого сечения. При этом средние отклонения расчетных радиусов орбит от фактических не превышают 6,7%. Аналогич-

ные закономерности были установлены и для систем спутников Марса, Юпитера, Урана, Нептуна. Расположение спутников этих планет на орбитах также подчиняется степенному ряду золотого сечения. Для них среднее отклонение составило менее 2%.

Приведенные данные указывают на немарковский характер эволюции Солнечной системы. Она в принципе не может быть достаточно полно описана на основе существующих физических теорий. Фактически речь идет о процессах с памятью в масштабах космических времен, составляющих миллиарды лет. Генетическая память, с которой связаны биологические явления, имеет уже длительную историю (до миллиарда лет), но память в неорганической природе имеет еще большие масштабы. Таким образом, здесь речь идет о качественных изменениях в нашем мировоззрении.

В этой связи укажем также на известное в астрономии распределение Хольтцмарка, описывающее распределение интенсивности гравитационного поля звездных систем. Было показано, что это распределение имеет вид гиперболического распределения с показателем 1,5, который характерен для распределения Ципфа-Парето, непосредственно вытекающего из немарковского соотношения¹³ (ср. ниже формулу (12)). Не исключено, что этот факт служит указанием на немарковский характер образования звездных систем.

Временные характеристики немарковских процессов

К качественным особенностям немарковских процессов следует отнести также наличие определенных временных циклов (ритмов). Математическое описание циклов основывается на анализе интегро-дифференциальных уравнений типа (1). В таких немарковских уравнениях возникают комплексные значения корней, которым соответствуют осцилляции, обусловленные рекуррентным характером изменения систем, зависимостью от прошлого, от памяти.

Биологические, экономические, социальные явления включают в себя громадную совокупность ритмов. Биологические ритмы наблюдаются на всех уровнях организации от внутриклеточной до биосферной. Ритмы отдельных органов, тканей, клеток, внутриклеточных компонент участвуют в создании временной упорядоченности биологических явлений и составляют основу интеграции процессов в живых организмах. Из-за наличия большого числа налагающихся структурных ритмов каждое последующее колебание несет определенные отличия от предыдущего. Ключевой момент в этой сложной картине — взаимодействие осцилляций. Внешние воздей-

ствия могут сдвигать фазу и менять амплитуду биологических ритмов, которые способны подстраиваться к изменениям цикличности внешней среды (суточные, годовые, приливные, лунные ритмы, циклы активности Солнца). Внутренние (эндогенные) компоненты ритмов дают возможность организму ориентироваться во времени (биологические часы) и заранее готовиться к изменениям окружающей среды. Нарушение установившихся ритмов жизнедеятельности оказывает негативное влияние на организм.

С определенными взаимодействиями внутренних и внешних осцилляций связана работа мозга. Ими обусловлены, в частности, биологические аспекты эстетики. В¹⁴ показано, что временная организация стихотворного размера совпадает с временными особенностями работы слуховой системы, танец имеет аналогии с коммуникативным поведением животных, воздействие музыки соотносится с частотами ритмов, эстетическое восприятие и усвоение нового материала тесно связаны с «золотым сечением». Оно также широко используется в архитектуре и изобразительном искусстве.

Проблема взаимодействия ритмов различных организмов нашла свое отражение в концепции Гумилева¹⁵ по развитию этноса, его взлета, подъема и упадка (этнос — это одно из сообществ, на которые распадается человечество, форма существования *Homo Sapiens*). Отмечается неизбежно формирующаяся иерархическая структура этноса. При образовании этноса меняется стереотип поведения людей. Активные личности — пассионарии создают вокруг себя своего рода поле, навязывают свои ритмы, оказывают влияние на нервно-психический настрой у окружающих. Гумилев выдвигает положение, согласно которому вне зависимости от расового состава, от культурных связей, от уровня развития существует некоторое этническое поле с определенными частотами колебаний для каждого этнического (или суперэтнического) образования.

В неорганической природе также наблюдается целая совокупность различных ритмов. Особо следует отметить периодические процессы на Солнце, оказывающие заметное влияние на процессы на Земле¹⁶. Появление и исчезновение пятен (активных областей) на Солнце носит периодический характер со средним периодом около 11,2 года. Продолжительность циклов с начала систематических наблюдений изменялась от 7 до 17 лет. Период роста активности Солнца в среднем равен 4,2 года, а спада около 7 лет¹⁷. Отношение периода спада к периоду роста солнечной активности всего на 3,03% отличается от золотой пропорции. Это соотношение приблизительно сохраняется почти по всем солнечным циклам. Однако до сих пор неясен механизм солнечной активности.

Числа Фибоначчи и золотое сечение играют существенную роль и в анализе временных характеристик развития немарковских систем. Как отмечалось выше, в общем случае следует решать интегродифференциальные уравнения. Для уравнения типа (1) имеем простое временное решение

$$P = P_0 \exp(-t / \tau), \quad (11)$$

где параметр τ определяется с помощью подстановки (11) в (1). Из этого решения непосредственно видна нелокальность во времени, система живет не только в настоящем, но и в будущем.

Запишем соотношение для чисел Фибоначчи, отнесенное к последовательным дискретным моментам времени. Чтобы распределение (11) удовлетворяло (4), необходимо для величины $q = \exp(-1/\tau)$ выполнение соотношения (7), определяющего золотое сечение. При этом $\tau = 1 / \ln \alpha \approx 2,1$. Под распределение (11) с указанным значением τ происходит подстройка процессов в биологии и экономике. Например, распределение валового национального продукта по компонентам, соответствующим непосредственному потреблению, ближней и дальней перспективе (расходы на потребление, инвестиции, правительственные расходы), приблизительно соответствует золотому сечению¹⁸. Это, по-видимому, — одна из характеристик устойчивого развития.

Инвестиции дают результаты не в тот период времени, в котором они проводятся, а в более поздние сроки. Поэтому при сравнении затрат с получаемой от них прибылью возникает задача соизмерения разновременных ценностных показателей. Как известно, она решается методом дисконтирования. Здесь, по существу, мы имеем дело с распределением (11). Для разных экономических субъектов имеется своя дисконтная ставка, соответствующая конкретному показателю τ . Она задает меру предпочтения нынешней ценности будущей. Определенной ориентацией в стандартных условиях, как указывалось выше, служит величина τ , соответствующая золотому сечению.

Таким образом, подход, связанный с золотым сечением, может быть с успехом использован в планировании и целом ряде других экономических проблем. Само же появление золотого сечения может служить одним из критериев идентификации конкретных процессов, как процессов с памятью.

Немарковское описание социальных процессов

При исследовании сложных систем социально—экономического, биологического и информационного плана был установлен целый ряд эмпирических закономерностей, подтверждаемых обшир-

ным статистическим материалом¹⁹. Среди найденных функциональных зависимостей особую значимость имело гиперболическое распределение или закон Ципфа—Парето. Этот закон носил общесистемный, универсальный характер, но его природа длительное время оставалась неясной. Относительно недавно была установлена его взаимосвязь с немарковским равновесным распределением (10), которое можно рассматривать как распределение набора структур по степени сложности (иерархию структур). Накопленный к настоящему времени обширный эмпирический материал по различным функциям распределения обычно представлен в форме, отличной от (10). Так для стабильных сформировавшихся экосистем (биоценозов) были получены распределения видов по числу особей, родов по числу видов, хозяев по числу паразитов. Конкретные способы построения определялись расположением (видов N) по степени убывания их численности m в выборке, а сами распределения аппроксимировались гиперболическими кривыми. Эти распределения в конечном счете сводятся к немарковским распределениям. Например, распределение видов $N(m)$ по числу особей m может быть получено из (12), если учесть, что $n = W$, а для числа особей можно записать приближенное соотношение $S = n/m$; откуда следует гиперболический закон (N — распределение или распределение Ципфа—Парето)

$$N = F m^{-\alpha}, \quad A, \quad \alpha > 0, \quad (12)$$

Этот закон носит весьма общий характер. Гиперболические равновесные распределения были эмпирически установлены для большой совокупности явлений в биологии, экономике, социальной сфере /10/. Типичные примеры — распределение семей по доходам, ученых по числу написанных ими статей, распределение журналов по запросам в библиотеке. Все эти распределения являются формой записи равновесного распределения (10). Аналог температуры θ соответствует некоторому показателю сложности для отдельного объекта. Например, если m , число статей написанных учеными, то $S(m) = \ln m$, образно говоря, показатель интеллекта ученых, уровень их неэнтропии.

Гиперболические распределения весьма удобны при эмпирических построениях. При этом всегда можно перейти к форме (10) и найти аналог температуры θ , характеризующий систему в целом. Со временем появляются все новые и новые сферы приложений. Так в работе²⁰ было показано, что большую техническую систему можно рассматривать как сообщество изделий — аналог биоценоза, назван-

ного техноценозом. Приведенный в²¹ фактический материал показывает, что различные виды аппаратуры (электродвигатели, кабели, трансформаторы и др.) по повторяемости образуют H — распределения, приводящиеся к (10).

Это соотношение естественным образом возникает и при других немарковских процессах. Величина θ в (10) соответствует некоторой «структурной» температуре, которая определяется характерным объемом памяти о прошлом или своего рода негэнтропийным (информационным) полем.

Закон Ципфа—Парето отличается от стандартного гауссовского распределения резкой асимметрией. Для него характерен эффект концентрации. Так 5% наиболее продуктивных журналов могут содержать до 70% всех статей по данной тематике. Преобладающая часть городского населения сосредоточена в небольшом числе больших городов, 10% наиболее продуктивных авторов пишут более половины всех научных статей. Т.е. сравнительно малое число ученых несет основную информационную нагрузку. Остальная часть статей распределяется по большому числу малопродуктивных ученых, что рассматривается как проявление эффекта рассеивания. Аналогичные распределения возникают и в экономике, где, в частности, наблюдается рост размеров больших фирм и увеличение числа малых фирм. В целом немарковский подход может быть применен к анализу распределений в различных конкретных отраслях, крупных концернах, объединениях, различных коллективах.

Информация в немарковских системах

Немарковский подход в определенном смысле слова позволяет преодолеть противопоставление материального мира и информации. По своей сути память о прошлом представляет собой информацию, записанную в определенных структурах. Информация имманентно присуща немарковским процессам, связанным со структурными превращениями, в отличие от марковских, где она носит внешний характер. Если при марковском подходе общая направленность статистических процессов определяется вторым началом термодинамики, то системы с памятью обладают способностью к саморазвитию. Возникает фактор воздействия, обусловленный прошлым. Он меняет взаимодействия в системе и в принципе может доминировать над диссипативной структурой. Т.е. процессами развития управляет не только внешнее воздействие, но и система памяти. Это свойственно любой конкретной немарковской системе (организму, биоценозу).

Информационные структуры, как и материальные, характеризуются негэнтропией S . Распределение количества информации I задается соотношением:

$$I = I_0 \exp(-I / \rho). \quad (13)$$

Величина ρ , подобно θ в уравнении (13), служит индикативным показателем состояния информационной системы. Распределение (13) может быть использовано при составлении набора проектной документации, в информационном обеспечении управления. Как показал анализ информационных потоков в системе управления²², в среднем для подразделений разного уровня 35% всего объема информации являются лишними и не используются. Более всего лишних показателей получают подразделения высшего уровня — 76% всего объема информации. Для эффективного информационного обеспечения управления необходимо соответствие объема информации распределению (13).

Для немарковских процессов справедлив негэнтропийный принцип информации²³, согласно которому следует рассматривать единое уравнение для информации и негэнтропии. Для замкнутых систем приращение их суммы меньше или равно нулю. Для открытых систем необходимо учитывать обмен не только веществом и энергией, но и информацией (негэнтропией). Любой опыт, дающий информацию о физической системе, приводит в среднем к уменьшению негэнтропии системы или ее окружения, т.е. информация оплачивается негэнтропией. Подобно тому, как энергия преобразуется от одной формы в другую, негэнтропия переходит от одной структуры к другой. Если этот процесс обратим, то он происходит без потерь.

Принципиальный момент здесь заключается в том, что негэнтропийный подход должен работать для однотипных структур (например, структура инженерного механизма и информация именно об этой структуре, а не вероятность появления в соответствующем сообщении тех или иных символов). Поэтому с точки зрения немарковского подхода в качестве определения информации может служить соотношение

$$I = S_2 - S_1. \quad (14)$$

Из (14) следует, что информация I дает возможность перехода от одного уровня негэнтропии (структуры S_1) к другому уровню негэнтропии (структуре S_2). Наглядный пример: уровень S_1 — набор де-

ревянных деталей и крепежных изделий для шкафа, S_2 — готовый шкаф, I — набор правил для построения шкафа из деталей. В рамках определения (14) равновесные распределения (12) могут быть использованы для анализа информационных массивов. Ряд из них, например наборы документации по изготовлению тех или иных изделий, по аналогии с биоценозами называют информценозами²⁴.

Для конкретного изучения информационных процессов существенен учет особенностей немарковского подхода. К ним относятся отмеченный выше эффект концентрации — резкая асимметрия равновесных распределений (12). В общем случае разные части распределений существенно различны по своим свойствам. С одной стороны — достаточно эффективным для системы в целом оказывается регулирование той ее части, которая соответствует большим значениям S , с другой — не следует подвергать чрезмерной регламентации основную массу объектов с малым S . Например, с увеличением детализации информационной документации (инструкций, предписаний, проектов) происходит быстрый количественный рост информационного массива при весьма незначительном приросте структурной информации.

Весьма существенен также учет иерархической структуры информации. Среди понятий имеются высшие по иерархии (с большим S). Успех информационного воздействия обусловлен правильным выбором таких понятий и концентрацией усилий именно на них. Эффективность восприятия материала также в значительной степени определяется иерархически — структурированной подачей материала (включая заголовки, резюме, не монотонность изложения).

Качественное отличие мышления от работы компьютеров заключается в том, что в основе его функционирования лежит стохастический немарковский процесс, а не заданный алгоритм. Поэтому для анализа возможностей создания компьютеров нового типа («мыслящих» компьютеров) необходимо проведение детальных исследований немарковских процессов. На основе большого эмпирического материала было показано, что гиперболические равновесные распределения распространяются на многие виды человеческой деятельности /10/. В естественных информационных системах равновесие по S устанавливается за счет стохастических процессов. Возникают переходы на более высокие негэнтропийные уровни, информация структурируется, создаются новые общие понятия. Здесь, в частности, можно выделить эффект поризма, характерный для работы мозга²⁵, когда утверждения, полученные из решения частной задачи, оказываются применимыми к целой совокупности казалось бы не

относящихся сюда первоначально явлений. В этом плане любая немарковская модель должна включать в себя процесс структурирования информации с переходами на более высокий уровень по S.

Необходимо также изучение специфики структур информационных массивов. Как известно, живая ткань организмов обладает высокой степенью специфичности. При пересадке тканей одна из основных проблем — несовместимость структур. Для информационных структур ситуация во многом аналогична. Между тем длительное время господствовало убеждение, что свойства любой информации примерно одинаковы. Это нашло свое отражение в концепции универсальности научно-технической информации (НТИ). Фактически информация считалась бесструктурной, и ее можно было группировать независимо от ее сути. Неучет специфики информационных структур управления и их организация по несовместимой структуре НТИ обусловил ряд негативных явлений при внедрении информационных систем²⁶. В глобальном плане можно выделить три типа информационных структур. Одна из них, информация о внешнем мире («картина мира» в мозгу)²⁷, связана с прошлым, другая — внутрисистемная (управленческая) информация, регулирует процессы в настоящем, и третья — прогностическая (плановая), направлена в будущее. Несовместимость информационных структур разного типа означает, что для их построения необходима предварительная обработка поступающей информации с разбиением ее на некоторые структурные единицы. Примерами подобных единиц служат в случае биологической информации — основания ДНК, аминокислоты, составляющие белок, особи в популяции, в случае социальной информации — слова в литературных текстах, статьи по определенной тематике в журналах. Должен существовать и механизм формирования определенных единиц в мозгу, куда поступает непрерывный поток информации. Его можно уподобить своего рода процессу «разрезания файлов», имеющего определенную функциональную аналогию с пищеварением, в результате которого происходит разделение белков, жиров и углеводов на составные части, поступающие в организм и служащие не только источником энергии, но и строительными блоками, несущими с собой негэнтропию. В этом плане тезис Шредингера о том, что организм «питается» негэнтропией, относится и к работе мозга.

Процессы с памятью включают информацию из прошлого. Т.е. немарковские структуры носят смешанный характер, они содержат и материальную, и информационную составляющие.

Заключение

Немарковская концепция объединяет воедино большое количество подходов и фактов, сводит воедино самые разнородные сведения в самых различных областях. При этом немарковская парадигма включает в себя существующую марковскую парадигму как частный предельный случай, аналогично марковским процессам, включавшим механицизм как свою составную часть. Со становлением новой парадигмы происходит изменение методологических и мировоззренческих аспектов современной теории. Выше был рассмотрен ряд направлений. Для биологических и социальных явлений полученные ранее эмпирические распределения оказались тесно связанными с немарковскими соотношениями. Выявились направления их практического использования для регулирования экономических и социальных процессов. Новая парадигма, включая в себя информацию как составную часть, выявляет определенные единые аспекты информации и материального мира.

Особо следует выделить проблему образования Солнечной системы, которая оказалась тесно связанной с немарковскими явлениями. Это затрагивает мировоззренческие основы наших воззрений на космические процессы. Можно ожидать, что анализ эволюции звезд и галактик окажется адекватным только при учете влияния предыстории, т.е. на основе немарковской парадигмы. Здесь речь идет уже не о ближней памяти, а о памяти в миллиарды лет. В работе²⁸ ставился общий мировоззренческий вопрос. Каков мир изначально? Если наш мир — немарковский, и используется бесконечно далекая память (с самого начала развития), то некая первоначальная информация в принципе может определить эволюцию. В этом плане отмечались также определенные параллели с философией Г.Гегеля, который ввел понятие абсолютной идеи — абсолютного духовного и разумного начала, лежащего в основе всех явлений природы и общества.

В заключение выражаю признательность за обсуждение проблемы Э.А.Азроянцу, А.С.Харитонову, В.А.Бунину, В.В.Горбачеву, И.М.Дмитриевскому.

Примечания

- ¹ *Аэроянц Э.А., Харитонов А.С., Шелепин Л.А.* Немарковские процессы как новая парадигма // *Вопр. Философии.* 199. № 7. С. 94-104.
- ² *Воробьев Н.Н.* Числа Фибоначчи. М., 1978; *Коробко В.И.* Золотая пропорция и проблемы гармонии систем., 1997.
- ³ *Вейзе Д.* Ботаника говорит языком математики // *Компьютер в школе.* 199. № 9. С. 10-13.
- ⁴ *Коробко В.И.* Золотая пропорция и проблемы гармонии систем. М., 1997.
- ⁵ *Гордиец Б.Ф., Марков М.Н., Шелепин Л.А.* солнечная активность и Земля. М., 1980.
- ⁶ *Коробко В.И.* Указ. соч.
- ⁷ *Кулагин Ю.А., Сериков Р.И., Симановский И.В., Шелепин Л.А.* Прикладные аспекты немарковского подхода // *Краткие сообщения по физике.* 1999. № 7. С. 17.
- ⁸ *Попырин С.Л.* Пульсационные режимы нелинейных кинетических процессов в плотном газе // *Краткие сообщения по физике.* 1998. № 4. С. 19.
- ⁹ *Колебательные и бегущие волны в химических системах.* М., 1988.
- ¹⁰ *Кулагин Ю.А., Сериков Р.И., Симановский И.В., Шелепин Л.А.* Прикладные аспекты немарковского подхода.
- ¹¹ *Коробко В.И.* Указ. соч.
- ¹² Там же.
- ¹³ *Петров В.М., Яблонский А.И.* Математика и социальные процессы (Гиперболические распределения и их применение). М., 1980.
- ¹⁴ *Красота и мозг. Биологические аспекты эстетики.* М., 1995.
- ¹⁵ *Гумилев Л.Н.* География этноса в исторический период. Л., 1990.
- ¹⁶ *Соколов А.* Тайны золотого сечения // *Техника молодежи.* 1978. № 5.
- ¹⁷ *Коробко В.И.* Указ. соч.
- ¹⁸ *Фишер С., Дорнбуш Р., Шмалензи Р.* Экономика. М., 1995.
- ¹⁹ *Петров В.М., Яблонский А.И.* Указ. соч.
- ²⁰ *Кудрин Б.И.* Введение в технетику. Томск, 1993.
- ²¹ Там же.
- ²² *Мамионов А.Г.* Управление и информация. М., 1975.
- ²³ *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации. М., 1960.
- ²⁴ *Кудрин Б.И.* Указ. соч.
- ²⁵ *Корогодин В.И.* Информация и феномен жизни. М., 1991.
- ²⁶ *Лазебник Б.Д.* Научно-техническая информация. 1993. № 6.
- ²⁷ *Глезер В.Д.* Зрение и мышление. Л., 1985.
- ²⁸ *Аэроянц Э.А., Харитонов А.С., Шелепин Л.А.* Немарковские процессы как новая парадигма.