

УДК 530.1

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СТРУКТУР В НЕМАРКОВСКИХ ПРОЦЕССАХ

А. С. Харитонов, Л. А. Шелепин

Рассмотрена специфика структурных распределений и ритмов в немарковских процессах. Обсуждаются возможности анализа на их основе ряда биологических и социальных явлений.

В работах [1, 2] анализировались немарковские процессы или процессы с памятью, описывающие изменения различных структур. Подобно распределениям по энергии E , служащей в марковских процессах мерой движения, в немарковских возникают дополнительные распределения по негэнтропии S для конкретных параметров W (например, биомассы организмов [3]):

$$W = W_0 \exp(-S/\Theta). \quad (1)$$

Величина Θ зависит от предыстории и определяется уровнем информационного поля. Было показано, что известное "золотое сечение", определяемое через рекуррентное соотношение для чисел Фибоначчи z_n

$$z_{n+1} = z_n + z_{n-1} \quad (2)$$

задает некоторое эталонное равновесное распределение, соответствующее границе между ближней и дальней памятью.

Цель настоящей работы – выделить некоторые характерные особенности немарковских процессов.

Структурные распределения. Равновесное распределение (1) можно рассматривать как распределение набора структур по степени сложности (иерархию структур). К настоящему времени для немарковских процессов накоплен обширный экспериментальный материал по различным функциям распределения. Однако многие из них представлены в форме, отличной от (1). Так, для стабильных сформировавшихся (равновесных)

экосистем получены распределения видов по числу особей, родов по числу видов, хозяев по числу паразитов [4]. Конкретные способы построения определялись расположением (видов) по степени убывания их численности в выборке, а сами распределения аппроксимировались либо логарифмической, либо гиперболической кривыми. Эти распределения можно считать проявлением немарковости биологических процессов. Например, распределение видов $n(r)$ по числу особей r может быть получено из (1), если учесть, что $n \sim W$, а для числа особей можно записать приближенное соотношение $S \sim \ln r$; откуда следует гиперболический закон (H -распределение или распределение Циффа-Парето)

$$n = Ar^{-\alpha} \quad \alpha > 0. \quad (3)$$

Приложения этих распределений в социальных процессах рассмотрены в [5]. Особо следует отметить свойство устойчивости распределений (3). Их композиция приводит к распределению того же типа. В работе [6] было показано, что большую техническую систему можно рассматривать как сообщество изделий – аналог биоценоза, названный техноценозом. Приведенный в [6] большой фактический материал показывает, что различные виды аппаратуры (электродвигатели, кабели, трансформаторы и др.) по повторяемости образуют H -распределения (3), приводящиеся к (1).

Различные формы равновесных распределений весьма перспективны для приложений. Например, применение H -распределений для техноценозов дает возможность составления частотного словаря оборудования на предприятиях, создания системы стандартов, установления порядка комплектования и замены изделий во время эксплуатации [6]. Заметим, что при этом необходим учет уровня информационного поля в техноценозах, определяемого величиной Θ , с которой связаны константы A и α в (3).

Структурные ритмы. К качественным особенностям немарковских процессов следует отнести также наличие структурных ритмов. Математически этот результат был получен в [7] на основе решения модельного нелокального по времени (немарковского) уравнения

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\infty} ds g\left(\frac{s}{\tau}\right) Q[f(\mathbf{v}, t-s)], \quad (4)$$

где $f(\mathbf{v}, t)$ – одночастичная функция распределения по скоростям, Q – нелинейный больцмановский оператор столкновений, $g(t)$ – некоторая неотрицательная функция, τ – положительный постоянный параметр. При $\tau = 0$ уравнение (4) переходит в уравнение Больцмана. Когда τ превышает некоторое критическое значение $\tau > \tau^*$ (т.е.

становится существенной немарковость), возникают комплексные значения корней характеристического уравнения, которым соответствуют осцилляции.

Структурные ритмы обусловлены рекуррентным характером изменения систем, определяемым зависимостью от прошлого, от памяти [8]. В простейшем случае при зависимости типа

$$u_{n+1} = f(u_n, u_{n-1}) \quad (5)$$

можно рассматривать систему дифференциальных уравнений для двух связанных величин $x(u_n)$ и $y(u_{n-1})$, управляемых соответствующими параметрами, разделенными временным лагом. В конкретных случаях это приводит к моделям типа хищник – жертва и орегонатора, где неизбежно возникают осцилляции. В работе [9], где анализировались модели трофических цепей, показано наличие чисто мнимых собственных значений, которым соответствуют связанные колебания численности хищников и жертв.

Таким образом, наличие структурных ритмов можно рассматривать как имманентное свойство немарковских процессов. В этих процессах квазиравновесные распределения включают в себя не просто структуры, а набор пространственно-временных структур.

Низкочастотная область осцилляций. В немарковских процессах структурные осцилляции относятся к области низких частот, в отличие от марковских процессов для атомов и молекул и квантовых осцилляций, где частоты ω относятся к инфракрасному и видимому диапазонам спектра. Одной из причин такого различия является разница в массах $m(\omega \sim 1/\sqrt{m})$. Для биологических структур, имеющих макроскопические массы m , частоты ритмов находятся в основном в области $0,1 - 10^2$ Гц. В ряде процессов периоды осцилляций могут измеряться десятилетиями. Из-за наличия большого числа налагающихся структурных ритмов каждое последующее колебание несет определенные отличия от предыдущего.

Методы исследований в этой нестандартной области носят в основном эмпирический, модельный характер. Это в полной мере относится к многочисленным моделям по ритмам физиологических систем (дыхание, кровообращение, пищеварение, передвижение, жевание, сон, синтез РНК, деление клеток) [10]. Ряд нейронных и мускульных механизмов моделировался сложными системами связанных осцилляторов. Например, построенная в [11] модель активности толстой кишки человека включала в себя 33 симметрично связанных кольца, состоящих каждое из трех осцилляторов. Особо следует отметить применение теоретико-группового подхода в [10], где рассматривается

смешанная пространственно-временная симметрия с учетом фазовых соотношений осцилляторов, что открывает возможности соответствующего описания пространственно-временных структур, характерных для немарковских процессов.

Взаимодействие осцилляций. В биологических, экономических, социальных явлениях квазиравновесие включает в себя громадную соскупность ритмов. Биологические ритмы наблюдаются на всех уровнях организации от внутриклеточной до биосферной [12, 13]. Ритмы отдельных органов, тканей, клеток, внутриклеточных компонент участвуют в создании временной упорядоченности биологических явлений и составляют основу интеграции процессов в живых организмах. Каждый момент в этой сложной картине – взаимодействие осцилляций. Внешние воздействия 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. В [14] показано, что временная организация стихотворного размера совпадает с временными особенностями работы слуховой системы, танец имеет аналогии с коммуникативным поведением животных, взаимодействие музыки связано с совокупностью частотных ритмов организма, эстетическое восприятие и усвоение нового материала тесно связаны с "золотым сечением".

Проблема взаимодействия ритмов различных организмов нашла свое отражение в концепции Гумилева [15] по развитию этноса, его взлета, подъема и упадка (этнос – это сообщества, на которые распадается человечество, форма существования Homo sapiens). Отмечается неизбежно формирующая иерархическая структура этноса. При образовании этноса меняется стереотип поведения людей. Активные личности – пассионарии¹ 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 колеба-

¹От латинского passio – страсть, аффект (прим. ред.).

ний для каждого этнического (или суперэтнического) образования. В целом же вопросы взаимодействия ритмов пока находятся на качественном уровне.

Саморазвитие. При марковском подходе общая направленность статистических процессов определяется вторым началом термодинамики. Для немарковских процессов здесь имеется существенное отличие, заключающееся в способности систем с памятью к саморазвитию (или самодвижению по терминологии [16]). При зависимости типа (5) возникает фактор воздействия, обусловленный прошлым. Он меняет взаимодействия в системе и, в принципе, может доминировать над диссипацией структур. Т.е. процессами развития управляет не только внешнее воздействие, но и система памяти. Это свойственно любой конкретной немарковской системе (организму, биоценозу, этносу).

Таким образом, немарковские процессы объединяют широкий круг разнообразных, казалось бы никак не связанных, биологических и социальных явлений. В физике область применения этой теории определяется наличием некоторой совокупности структур, их взаимодействий и взаимопревращений. Все это говорит о высокой актуальности разработки последовательной теории немарковских процессов.

В заключение выражаем признательность Ю. Г. Балашко и В. А. Солнцеву за обсуждение и РФФИ (грант N 96-06-80461) за поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Харитонов А. С., Шелепин Л. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 5 - 6, 21 (1996).
- [2] Харитонов А. С., Шелепин Л. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 7 - 8, 79 (1996).
- [3] Быстрова Т. В., Шелепин Л. А. Труды ФИАН, **218**, 60 (1994).
- [4] Williams C. V. Patterns in the Balance of Nature and the Related Problems in Quantitative Ecology. L., N.-Y.: Acad. Press, 1964.
- [5] Петров В. М., Яблонский А. И. Математика и социальные процессы (Гиперболические распределения и их применения). М., Знание, 1980.
- [6] Кудрин Б. И. Введение в технетику. Томск, Изд-во ТГУ, 1993.
- [7] Попырин С. Л. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 9 - 10, 27 (1996).
- [8] Бир Ст. Мозг фирмы. М., Радио и связь, 1993.
- [9] Свирежев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М., Наука, 1987.
- [10] Collins J. J., Stewart I. Biol. Cybern, **71**, 95 (1994).

- [11] V a r d a k j i a n V. I., S a r n a S. K. IEEE Trans. Biomed. Eng., **27**, 193 (1980).
- [12] Биологические ритмы, т. 1 - 2, М., Мир, 1984.
- [13] Д е т а р и Л., К а р п а г и В. Биоритмы. М., 1984.
- [14] Красота и мозг. Биологические аспекты эстетики. М., Мир, 1995.
- [15] Г у м и л е в Л. Н. География этноса в исторический период. Л., Наука, 1990.
- [16] А з р о я н ц Э., К о л м а к о в И., Х а р и т о н о в А. Правила игры, N 1, 107 (1995).

Поступила в редакцию 23 сентября 1996 г.