

# Энтропийная параметризация времени в общей теории систем

Вестник Российского гуманитарного научного фонда, 2002, № 1, С. 110-115.

© А. П. Левич

*Московский государственный  
университет им. М.В.Ломоносова  
(095) 939-5560;  
<http://www.chronos.msu.ru>*

*Что такое время?* Для целей предстоящего анализа достаточны самые общие взгляды на время. Время как явление отождествляется с изменением состояний объектов мира, а время как часы – со способом измерения такого изменения. Об измерении изменчивости можно также говорить как об её параметризации, т.е. как о способе приписывать упорядоченные числа отличающимся состояниям системы.

Автор вполне отдаёт себе отчет в том, что приведенное “определение” времени крайне поверхностно. В частности, следовало бы четко отличить изменчивость типологическую, или разнообразие в ансамбле “одновременно” сосуществующих объектов от изменчивости, уклончиво названной выше “изменением состояний объектов мира”. В приведенном “определении” фактически уже подразумевается “течение” некоего времени, на фоне которого обнаруживается изменчивость состояний. На проблему “природы” времени, или происхождения его “течения” у автора есть своя точка зрения (Levich, 1995; Левич, 2000). В контексте данной работы, связанной с измерением (параметризацией) изменений, обсуждение вопросов природы этих изменений представляется не обязательным.

*Состояния систем – объекты категории структурированных множеств.* Представления об энтропии возникают как отдаленный результат попыток формального описания естественных систем. Работа теоретика по построению модели некоторого фрагмента реальности начинается с выбора математической структуры, удачно эксплицирующей необходимые свойства исследуемых объектов. Можно утверждать (Левич, 1982; 1996), что любое теоретическое познание средствами формального моделирования имеет дело с такими общими объектами математики как категории структурированных множеств и их преобразований друг в друга.

Экологическое сообщество из особей различных видов удобно описывать структурой множеств с разбиениями, где классы разбиения соответствуют слагающим сообщество популяциям. Преобразованиями, сохраняющими разбиение сообщества на виды, будут преобразования, состоящие в рождении или смерти особей. При этих преобразованиях биологический вид переходит в себя.

Понятие близости-удаленности точек в эмпирическом пространстве описывается топологической математической структурой. Преобразованиями, сохраняющими близость точек, являются непрерывные отображения.

Совокупность состояний атома можно описать векторами бесконечномерного гильбертова пространства или равносильным образом – полем бесконечных матриц с соответствующими гомоморфизмами.

Категорно-функторное описание систем (Левич, 1982; Levich, Solov'yov, 1999) предлагает задавать состояния систем объектами математической категории, т.е. различными количественными реализациями выделенной математической структуры. Класс объектов категории задает “пространство состояний” исследуемой системы, т.е. перечисляет все потенциально допустимые структурой системы состояния.

*Что экстремально для систем?* Главный компонент любой динамической теории – закон изменчивости исследуемой системы (Акчурин, 1972; Левич, 1993), т.е. свод правил, позволяющий выбрать из всех допустимых состояний системы те, что реализуются в действительности, и указать “траекторию” системы в ее “пространстве состояний”.

В механике, в теории поля такой закон имеет вид “уравнений движения”, которые являются постулатами теории. Альтернативой постулированию уравнений движения в теоретической физике, биологии, экономике служит постулирование экстремальных принципов, порождающих законы изменчивости исследуемых систем.

Оказывается, что категорно-функторное описание систем позволяет дать достаточно “естественный”, “правдоподобный” ответ на вопрос о том, что же должно быть экстремальным для систем, описываемых структурированными множествами. Для выделения экстремальных состояний следует научиться сравнивать их между собой.

Сравнение бесструктурных множеств ведется по количеству элементов в них, или по мощности: мощность одного множества меньше мощности другого, если существует специальное преобразование первого множества во второе (такое преобразование называется однозначным, или инъективным).

Для сравнения структурированных множеств можно предложить совершенно аналогичную конструкцию (Левич, 1982): говорят, что “сила структуры” одного структурированного множества слабее “силы структуры” другого, если существует инъективное (однозначное) сохраняющее структуры преобразование первого множества во второе.

Появившаяся возможность сравнения состояний системы по “силе структуры” позволяет предложить экстремальный принцип для “естественной” изменчивости систем. А именно: **из заданного состояния система переходит в состояние, которое обладает наиболее “сильной” структурой среди всех состояний, допускаемых ресурсами системы.** (Ограничение экстремума доступными системе ресурсами существенно, поскольку без него требование максимума сводилось бы к неограниченной экспансии системы.)

Однако, сила структур упорядочивает состояния системы лишь частично: среди них могут оказаться несравнимые друг с другом. Это обстоятельство затрудняет применение предложенного экстремального принципа, поскольку допускает ситуации, в которых экстремальный принцип не позволяет однозначно проследить траекторию системы в ее пространстве состояний.

Трудности сравнения состояний системы по их силе структур позволяет преодолеть функторный метод сравнения структур (Левич, 1982), который устанавливает линейный порядок на совокупности одинаково структурированных множеств, или состояний системы. (Линейность порядка означает, что для любых двух состояний структура одного из них “сильнее” структуры другого или “равносильна” ей, т.е. несравнимых между собой структур не существует.)

*Что такое энтропия?* Функторный метод сравнения структур не только утверждает, что любые состояния систем сравнимы, но и строго вводит числовую функцию состояния

систем, которая изменяется от состояния к состоянию монотонно “силе” их структуры. Согласно методу, этой функцией является количество допустимых структурой системы преобразований состояния.

Искушенный читатель, по-видимому, уже увидел в этой формулировке ремейк больцмановского подхода к введению энтропии систем через число микросостояний системы. Действительно, функция состояния системы, вводимая функторным методом сравнения структур, формально связана с функцией состояния, которая может быть названа обобщенной энтропией систем, а в частных случаях может быть и отождествлена с существующими определениями энтропии. В предшествующих работах (Левич, 1982; Левич, 1996; Левич, 2001) приведено последовательное формальное обоснование этого утверждения. Энтропия оказывается функцией состояния системы, вычисляемой через логарифм числа преобразований системы, сохраняющих ее структуру.

Замечу, что энтропия состояний, задаваемая функторным методом сравнения структур, получена вне каких-либо статистических предположений. Она может быть рассчитана для любых структурированных множеств с любым (большим или малым) количеством элементов.

Предложенный выше экстремальный принцип приобретает энтропийную формулировку: **из заданного состояния система переходит в определяемое доступными ресурсами состояние с наибольшей энтропией.** В силу ограничений по ресурсам соответствующий экстремальному принципу формализм представляет собой вариационную задачу на условный, а не глобальный экстремум функционала-энтропии.

*Время системное, время структурное, время энтропийное.* Теперь в нашем распоряжении есть сведения, позволяющие увидеть взаимосвязь между временем и энтропией при описании систем. Упомянуты три подхода к описанию времени системы. Согласно исходному качественному “определению”, **собственное время системы рассматривается как последовательность различающихся ее состояний.** Назовем условно это время “системным”. Каждому последовательному состоянию системы – “моменту” ее системного времени – в рамках теоретико-категорного описания систем соответствует “сила структуры” этого состояния. Согласно “структурной формулировке” принятого экстремального принципа “сила структур” возрастает монотонно системному времени. **Время, задаваемое структурными числами состояний системы** (аналогами кардинальных чисел для бесструктурных множеств) **можно назвать “структурным” временем.** Согласно теореме о монотонности упорядочения структурированных множеств по силе структур и по значениям обобщенной энтропии (Левич, 1982, с. 113), можно говорить об “**энтропийном**” времени системы, монотонном как ее структурному, так и системному временам.

Если системное время имеет чисто качественный характер, задавая лишь последовательность состояний системы, то структурное и энтропийное времена задают не только последовательность состояний, но и количественные параметры системы. Последовательность моментов структурного времени обладает достаточно экзотическим свойством – частичной упорядоченностью. Моменты энтропийного времени упорядочены линейно, что соответствует привычным представлениям о свойствах времени и позволяет использовать энтропийную параметризацию системного времени для поиска закона изменчивости систем в рамках энтропийной формулировки экстремального принципа.

Конструкции структурного и энтропийного времени включают целый ряд произвольно выбранных формальных шагов. Например, сравнение структурированных множеств, описывающих состояния систем, производится с

помощью инъективных преобразований (по аналогии со сравнением по мощностям неструктурированных множеств). В качестве представления из категории структурированных в категорию неструктурированных множеств, порождающего энтропийное время, в функторном методе сравнения структур выбран основной одноместный функтор. Этот функтор оказался монотонным по упорядочению структур и его значения оказались сводимыми к энтропиеобразным функциям. Инъективные преобразования, лежащие в основе упорядочения структур, представляют собой однозначные вложения. Т.е. эволюция систем, согласно экстремальному принципу, идет от подобъектов к объектам. Такой тип эволюции можно назвать консервативным или казуальным: достигнутые состояния не пропадают (подобъект “сохраняется” в объекте) и новые состояния возникают не на пустом месте, а из своих “менее сильных” (в смысле упорядочения по силе структуры) предшественников. Использование для сравнения состояний вместо инъективных иных типов преобразований также, как и отыскание иных функторов, монотонно представляющих упорядочение структур числами, могут породить иные типы структурного и энтропийного времени систем и иные типы их эволюции. Следует отметить, что математические преобразования лишь эксплицируют существующие в естествознании способы выяснения принадлежности элементов объектам. Тем самым, вопрос об адекватной параметризации изменчивости систем становится зависимым от “суммы технологий”, достигнутой цивилизацией в области экспериментальной идентификации объектов мира.

*Время как ресурс.* Считаю крайне важным вернуться к обсуждению роли доступных системе ресурсов в рассматриваемом подходе. Эта роль, во-первых, связана с уточнением приведенного в начале работы “определения” системного времени через последовательность изменения состояний и, во-вторых, – с не полностью объясненным появлением ресурсов в экстремальном принципе для закона изменчивости. Неконструктивным в исходном определении является термин “последовательность”, лукаво заменяющий подлежащий определению термин “время”. В своих представлениях о природе времени (Левич, 1996; 2000) я исхожу из гипотезы о существовании генерирующих потоков в мире. Субстанция этих потоков принадлежит глубинным уровням строения материи и, возможно, не идентифицируется современными экспериментальными технологиями. Наша Вселенная открыта для генерирующих потоков. Любые изменения объектов прямо или косвенно индуцируются генерирующими потоками, которые являются ресурсами, “потребляемыми” меняющимися системами. Тем самым “ресурс” генерирующих потоков как порождает последовательность смены состояний систем, так и ограничивает степень их изменчивости, т.е. появление представлений об ограничивающих ресурсах в экстремальном принципе, задающем закон изменчивости, необходимо, а не случайно.

*Деградация или развитие?* Именно дополнительные ресурсные условия, накладываемые на поиск экстремума энтропии систем, отличают предложенный экстремальный принцип от 2-го начала термодинамики. Требование безусловного максимума энтропии приводит к однородному распределению элементов в системах, интерпретируемому как хаос. То же требование роста энтропии для открытых систем при ограниченности доступных ресурсов приводит к резкому различию систем, к их развитию и самоорганизации.

*Зачем нужна энтропийная параметризация времени.* Предложенная конструкция энтропийного времени фактически является возможным обоснованием и одной из интерпретаций принципа максимума энтропии, находящего широкие применения в физике, биологии, экономике, математике, лингвистике, науке о коммуникациях и других гитиках.

Возможность подобного приложения (Levich, 2000) создает дополнительную мотивацию для дальнейшего развития энтропийного подхода.

Энтропийная параметризация времени предоставляет возможность поиска решений целого ряда проблем, связанных с изучением динамической составляющей мира. Представляется важным согласовать энтропийную параметризацию времени с другими его моделями. В частности, какое отношение имеют декларированные в этой работе системное, структурное и энтропийное времена к “обычному” времени или, например, к специфическим временам естествознания – астрономическому, биологическому, геологическому, или к природным референтам времени и т.д.? В какой степени универсальна предложенная энтропийная параметризация? Обратимо ли энтропийное время? Как рассчитывать длительность энтропийного времени? Вот – неполный перечень вопросов, ожидающих своего решения.

## **Литература**

1. Акчурин И.А. Единство естественнонаучного знания. М.: Наука. 1974.
2. Левич А.П. Теория множеств, язык теории категорий и их применение в теоретической биологии. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1982. 190 с.
3. Левич А.П. Научное постижение времени // Вопросы философии. 1993. №4. С. 117-126.
4. Левич А.П. Время как изменчивость естественных систем: способы количественного описания изменений и порождение изменений субстанциональными потоками // Конструкции времени в естествознании: на пути к пониманию феномена времени. Часть 1. Междисциплинарное исследование. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1996. С. 233-288. ([levich1.pdf](#)).
5. Левич А.П. Природные референты “течения” времени: становление как изменение количества субстанции // Философия науки. Вып. 6. М.: ИФ РАН. 2000. Сс. 48-53. ([levich\\_prirodn.refer.tech.vremeni.htm](#)).
6. Левич А.П. Энтропия как обобщение понятия количества элементов для конечных множеств // Философские исследования. 2001. №1. С. 59-72. ([levich\\_entropia.pdf](#)).
7. Levich A.P. Generating Flows and a Substantial Model of Space-Time // Gravitation and Cosmology. 1995. V.1. №3. Pp. 237-242. ([EREPORTS/levich\\_generat.flows.htm](#)).
8. Levich A.P. Variational modelling theorems and algocoenoses functioning principles // Ecological Modelling. 2000. V. 131. Pp. 207-227. ([EREPORTS/levich\\_variational.pdf](#); [levich\\_teoremy.pdf](#)).
9. Levich A.P., Solov'yov A.V. Category-functor modelling of natural systems // Cybernetics and Systems. 1999. V. 30. №6. Pp. 571-585. ([levich\\_kategorno.pdf](#))