

## КОНЦЕПЦИЯ ЭНТРОПИИ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

Юрий Соломонович Попков

Институт системного анализа Федерального исследовательского центра  
«Информатика и Управление» Российской академии наук

**Аннотация.** Предлагается подход, основанный на использовании энтропии как математического инструмента для описания взаимодействия частей и целого, индивидуального и коллективного, микро- и макроэкономических процессов. Рассматривается теоретическая база этого подхода — теория макросистем, включающая методы моделирования стационарных и нестационарных состояний, и численные методы для их компьютерной реализации. Рассмотрены применения указанного подхода для анализа развития демоэкономических систем и рандомизированного прогнозирования

**Ключевые слова:** энтропия, макросистема, вариационный принцип, состояние, рандомизация, демоэкономика.

Наука на протяжении прошлого и текущего веков сталкивалась и продолжает сталкиваться с проблемами, сущность которых многодисциплинарна. Для их решения требовалась интеграция научных дисциплин.

Интеграционные тенденции в науке коснулись прежде всего естественных наук. Так, в конце XIX и начале XX веков появились физическая химия и химическая физика, биологическая физика и биологическая химия как самостоятельные научные дисциплины. Несколько позднее началось взаимопроникновение естественных и гуманитарных наук. Появились социальная физика, финансовая математика, социодинамика, математическая экономика и др.

Следует отметить, что почти все такие "воссоединения" научных дисциплин образовывались на "инструментальной" почве, т.е. физические методы внедрялись в исследования химических, социальных, экономических и других объектов.

Растущая сложность исследуемых объектов потребовала взглянуть на интеграцию научных дисциплин не как на интеграцию инструментов исследования, а как на некоторую

**Abstract.** Entropy approach as a mathematical instrument for modeling of particles and whole interaction, individual and collective one, micro- and macro-economic processes are proposed. Theoretical base of this approach is the macrosystems theory including the methods of modeling stationary and nonstationary states, and numerical methods for computer's realisation. Application of this approach for demoeconomic modeling and randomized prediction are considered.

**Keywords:** entropy, macrosystem, variation principle, state, randomization, demoeconomy.

философско-мировоззренческую проблему взаимосвязи "целого" и его "частей".

Естественный путь человеческого познания состоит в расчленении исследуемого объекта на части, изучении этих частей с последующей сборкой полученных знаний. При этом принципиально важным является понимание целостности, системности исследуемого объекта, а любая декомпозиция есть всего лишь инструмент познания его системных свойств.

На первый взгляд кажется, что все это - мировоззренческие лозунги, понятные, правильные, но только лозунги.

Однако это не совсем так. Концепция целостности порождает вполне прагматическую цель, состоящую в познании, обнаружении, моделировании так называемых системных эффектов, т.е. таких свойств целостного объекта, которые могут отличаться от свойств составляющих его частей и недостижимы в каждой из них в отдельности.

Одним из наиболее результативных проявлений интеграционных тенденций в науке является возникшее во второй половине прошлого века новое научное направление – си-

стемология (наука о системах) и ее инструментарий – системный анализ. Как и любая наука, системология переживала как периоды расцвета и интереса к ней, так и застоя, а иногда и упадка. Однако следует признать, что начало нового века сопровождалось пробуждением не только интереса к ней в научной среде, но и появлением реальной потребности в системном анализе современных вызовов, с которыми сталкивается человечество на глобальном, национальном и региональном уровнях.

Цель такого системного анализа – обнаружить системные эффекты (а иногда системные кризисы), понять с помощью моделирования механизмы их возникновения для того, чтобы уметь влиять на их развитие в позитивном направлении. Для достижения этой цели необходима интеграция знаний различных научных дисциплин, построение моделей взаимодействия этих знаний, обработка огромных информационных массивов. Здесь следует также иметь в виду, что знания, модели и информация пространственно распределены. Поэтому реальное системное исследование может быть осуществлено только с использованием информационных технологий.

Системный анализ как инструментарий для исследования системных свойств представляет собой совокупность теорий, методов, приемов, алгоритмических и информационных ресурсов. В этом смысле он есть некая "крыша" для многих научных направлений, которые тем или иным "боком" касались проблемы обнаружения системных свойств [1].

Не претендуя на хронологию появления этих направлений и тем более на ранжирование их научной ценности, упомянем некоторые из них.

Было бы справедливо начать со статистической физики и термодинамики, где изучалась

система, состоящая из большого количества частиц (молекул) со случайными взаимодействиями, и порожденное ими вполне детерминированное ее состояние [2]. Соотношения между индивидуальным и коллективным поведением составляют раздел математической теории поведения. Параметры порядка, составляющие фундамент синергетической концепции, являются реальным инструментом математического моделирования динамики формирования системных эффектов [3]. Гипотеза о существовании параметров порядка, определяющих основные динамические характеристики исследуемого объекта, оказалась весьма плодотворной в теории прогнозирования [4].

Определенный вклад в изучение системных эффектов внесла теория макросистем [5], основным результатам которой посвящена первая часть доклада. Здесь рассмотрены проблемы моделирования стационарных и нестационарных состояний макросистем. Модель стационарных состояний описывается задачей математического программирования. Развиваются проблемно-ориентированные численные методы мультипликативного типа, использующие особые свойства указанных моделей.

Предложена структура динамических моделей макросистем, использующая термодинамический принцип локальных равновесий. Модель представляет собой динамическую систему с энтропийным оператором. Развиваются методы исследования свойств энтропийного оператора и системы в целом.

Рассмотрены две прикладных проблемы, в решении которых используются результаты теории макросистем: моделирование развития демоэкономической системы [6] и рандомизированное прогнозирование [7].

#### Список источников

1. Клейнер Г.Б. Системная парадигма и экономическая политика. Общественные науки и современность. // 2007, 2,3.
2. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Статистическая физика. М., Наука, 1964
3. Haken H. Synergetics. Heidelberg, Springer-Verlag, 1974.
4. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.} Синергетика и прогнозы будущего. М.: УРСС, 2003.
5. Попков Ю.С. Теория макросистем, Равновесные модели. М., УРСС, 2012
6. Попков Ю.С. Математическая демоэкономика. М., УРСС, 2013
7. Попков Ю.С. Рандомизированное машинное обучение. М., УРСС, 2018