

УДК 501:519.272

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ФИЗИКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ К ПРОБЛЕМЕ
МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ**

**APPLICATION OF THE PROVISIONS OF THE PHYSICS OF COMPLEX SYSTEMS TO
THE PROBLEM OF MODELING SYSTEMS OF ARBITRARY NATURE**

А.И. ТИХОНОВ, С.С.МИШУРОВ, А.В. СМІРНОВ
A.I. TIKHONOV, S.S.MISHUROV, A.V. SMIRNOV

(Ивановский государственный политехнический университет,
Ивановский государственный энергетический университет,
Ивановская региональная организация Общероссийской общественной организации –
Общество «Знание» России)
(Ivanovo State Polytechnic University,
Ivanovo State Powerc University,
Ivanovo Regional Organization of Russian Public Organization –
"Society "Znanije" of Russia)
E-mail: ttp@ivgpu.com

В статье представлены возможности и ключевые проблемы применения моделей физических систем для описания явлений произвольной природы, в том числе социальных сообществ. Дается характеристика наиболее существенных аспектов моделирования живых систем, включая их декомпозицию и целенаправленный характер взаимодействий.

The article presents opportunities and key issues of applying physical system models to describe phenomena of arbitrary nature, including social communities. It provides characteristics of most essential aspects pertaining to modeling of living systems, including their decomposition and purposeful nature of the interactions.

Ключевые слова: сложная система, система произвольной природы, принципы моделирования, физическая модель, эмерджентность, декомпозиция живой системы.

Keywords: complex system, system with arbitrary nature, modeling principles, physical model, emergence, decomposition of a living system

В основе достижений науки лежит научный метод, предложенный И. Ньютоном, суть которого состоит в экспериментальном исследовании природы с целью выявления фундаментальных закономерностей с последующей математической формулировкой этих принципов [1]. Наиболее последовательно этот метод был реализован в физике, которая в настоящее время неразрывно связана с математикой. Именно благодаря строгому математическому подходу к описанию явлений природы физика выделилась среди других научных дисциплин, определяя в той или иной мере мировоззренческий базис современной науки, что, вообще говоря, придает научному миропониманию механистический оттенок, за что его неоднократно критиковали философы. Тем не менее, необходимо признать, что только при наличии математической формализации изучаемого явления мы можем с уверенностью прогнозировать данное явление, управлять им, извлекать из него практическую пользу.

Ввиду детальной проработки методов формализации физических явлений возникает потребность в развитии достигнутого успеха на другие научные дисциплины, в которых возможность применения математических методов описания выявленных закономерностей не столь очевидна. Проблемы при этом возникают уже на этапе определения тех величин, которые характеризуют изучаемые явления. Эти величины должны иметь количественную оценку, выражаемую в численном виде. Соответственно должны быть определены методы измерения этих величин. Иногда это оказывается весьма проблематичным. Тем более проблематичным оказывается формулировка системы математических зависимостей, характеризующих данное явление.

Именно эти проблемы являются предметом сравнительно нового направления науки, получившего название «физики сложных систем» (ФСС), цель которого в распространении достижений физики на

явления произвольной природы, в том числе на сообщества живых организмов. В частности, наиболее популярными направлениями исследований в ФСС в настоящее время являются исследования динамики экосистем, транспортных потоков, фондовых бирж, курсов валют, распространения компьютерных вирусов и т.п. [2].

Вообще под сложной системой понимается система, состоящая из множества взаимодействующих составляющих (подсистем) произвольной природы, вследствие чего система в целом приобретает новые свойства (системный эффект, эмерджентность), которые отсутствуют на уровне подсистем и не могут быть сведены к сумме свойств подсистем [3]. Отличительной особенностью сложных систем является существенная взаимосвязь их свойств, вследствие чего однофакторные эксперименты над сложными системами не эффективны, а многофакторные не позволяют выявить простых законов, которым они подчиняются [4]. Многие свойства сложных систем оказываются понятными только при рассмотрении систем как единого целого.

Известно, что в свойствах и поведении сложных систем, независимо от природы составляющих их элементов, прослеживаются четкие аналогии, что позволило в конце сороковых годов Л. фон Берталанфи предложить программу построения «Общей теории систем» (ОТС) [5]. В настоящее время разработанные в ней принципы системного подхода к анализу всевозможных явлений нашли широкое распространение.

Основной идеей ОТС является признание изоморфизма законов, которым подчиняются сложные системы (под изоморфизмом понимается одинаковость по форме уравнений, описывающих различные по своей природе явления). Именно изоморфизм уравнений физики позволяет строить модели исследуемых явлений на основе произвольно выбранного субстрата. Изучение этих моделей позволяет лучше разобратся в природе моделируемого явления.

Поэтому моделирование является одним из главных инструментов науки.

Открывая наиболее общие закономерности, присущие разным по природе явлениям, ОТС подводит единую законодательную базу как под физические явления, так и под явления живой природы, в частности под явления социального характера, экономические процессы и т.п. Зная законы ОТС, можно строить математические модели тех явлений, которые до сих пор не имеют своего математического описания.

Например, в основе динамики всех явлений природы лежат такие общесистемные законы, как принцип Ле Шателье–Брауна, принцип роста энтропии, принцип минимума производства энтропии и т.п. Эти законы определяют процесс релаксации (стремление к состоянию равновесия) сложной системы. Поэтому для того чтобы сформулировать уравнение динамики любого реального процесса, необходимо дать определение понятию равновесия для данного класса явлений.

Особенность равновесия состоит в том, что именно к нему стремится система, как к некому устойчивому состоянию. Как правило, состоянию равновесия соответствует минимум внутрисистемных напряжений. В физике – это состояние с минимумом потенциальной энергии или максимумом энтропии, в экологии – с минимумом конкурентных отношений, в социуме – с минимумом социальных конфликтов и т.п.

Вообще истоки ФСС следует искать в таких научных дисциплинах, как термодинамика и молекулярная физика. Именно здесь впервые были сформулированы законы, определяющие поведение идеального газа как типичной сложной системы. Позднее эти законы были распространены на системы произвольной природы, после чего некоторые термодинамические величины перекочевали в другие разделы науки. К числу таких величин можно отнести, в первую очередь, энтропию, которая, как это выяснил Л. Больцман, является мерой хаоса, непредсказуемости состояния системы и рассчитывается по формуле

$$S = k \ln W, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; W – статистический вес состояния системы, определяющий количество способов, которыми данное состояние может быть достигнуто.

Позднее К. Шеннон ввел понятие информации как меры упорядоченности, предсказуемости состояния системы, определив ее формулой

$$I = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i, \quad (2)$$

где N – количество возможных событий; p_i – вероятность i -го события.

Связь между энтропией и информацией широко дискутировалась на уровне философских обобщений и не привела к однозначным выводам. В плане физики сложных систем это непринципиально. Достоинство обеих формул в том, что они позволяют дать объективную оценку состояния равновесия, для которого характерен максимум энтропии или минимум информации. Для открытых систем, к числу которых относятся все живые системы, возможно состояние динамического равновесия, характеризующееся неэкстремальными значениями энтропии и информации. Как показано в [6], соотношение информации (упорядоченности) и энтропии (свободы выбора) в живых системах стремится к золотой пропорции.

При оценке социальных систем количество информации, характеризующей ее состояние, может быть оценено по количеству связей, наложенных на свободу поведения ее элементов. Таким образом, состояние равновесия систем любой природы может быть формализовано и охарактеризовано количественно. Для этого необходимо осуществить декомпозицию системы с выделением ее элементного состава и определением связей (правил), наложенных на свободу поведения этих элементов.

По аналогии с термодинамикой и молекулярной физикой моделирование сложных систем сегодня чаще всего осуществляется с использованием метода Монте-Карло. Это наиболее естественный подход, состоящий в разработке своего рода игровой модели, представленной определенным на-

бором персонажей, наделенных своим поведением. Персонажи модели взаимодействуют друг с другом по заданным правилам. Однако если поведение молекул газа подчинено простейшим законам механики, то поведение элементов, например, живой системы, оказывается трудно формализуемым. Поэтому успехи при моделировании социальных систем методом Монте-Карло оказываются пока весьма скромными.

Анализ проблемной области, проведенный на заседаниях семинара ФСС, в частности, показал, что одной из главных ошибок традиционного подхода к моделированию социальных систем методом Монте-Карло можно считать неправильный подход к их декомпозиции.

Как показывает опыт экологии и социологии, при декомпозиции живых систем определяющую роль играет не столько конкретный элементный состав системы (особи, люди и т.п.), сколько структура экологических или социальных ниш, требующих от конкретных элементов системы выполнения определенных функций, служащих цели выживания или стабилизации системы в целом. Именно ролевая декомпозиция системы должна предшествовать построению ее модели с позиций ФСС.

Таким образом, в качестве персонажей игровой модели социальной системы должны выступать не конкретные лица, каждый из которых несет в себе сложный поведенческий комплекс, а абстрактные ролевые персонажи с четко обозначенными системными функциями, соответствующими той или иной социальной (экологической, системной) ниши (кстати, нечто подобное реализовано в сказках, где каждый персонаж является олицетворением какой-то идеи или какого-то качества). Четкая локализация системной функции в рамках одного персонажа позволяет соотнести с ним количественную шкалу и присвоить ему численную характеристику в соответствии с уровнем реализации им возложенной на него системной функции. При этом каждое конкретное лицо моделируемой социальной системы собственно персонажем модели не является и сам выступает в роли подсистемы, объединяющей в себе целый ком-

плекс персонажей. Это дает возможность формализовать текущее состояние сложной системы с использованием аппарата матричных операций.

Декомпозиция и ранжирование (численная оценка характеристик) конкретной социальной группы, например, какого-то отдела или службы на предприятии, может быть осуществлена путем анкетирования. Здесь на помощь методам ФСС должна прийти социология и психология. Если же в качестве объекта исследования выступает экосистема, живой организм или другая биосистема, то при декомпозиции следует воспользоваться аппаратом конкретных наук (экологии, биологии, медицины и т.п.). Проблема облегчается тем, что многообразие видов живых организмов, присутствующих в природе, напрямую соответствует структуре экологических ниш природных систем.

Следует отметить, что термин «экологическая ниша» применительно к задачам моделирования управления промышленным предприятием может быть эквивалентен категориям "функция", "бизнес-процесс" [7], [8]. Моделирование процессов в отдельной отрасли предполагает ее описание как "экологической ниши" в системе народно-хозяйственного воспроизводства, например, с позиции более частных моделей таких как "затраты-выпуск" или системотехнический подход [9], [10], так и в рамках более общих подходов, например, системной парадигмы [11]. Тенденции национального хозяйственного комплекса, например, такие как неоиндустриализация [12], могут быть исследованы в рамках моделей межрегиональной (международной) торговли [13] либо мир-системной [14] и подобных моделей.

Цель такого моделирования сложной системы, формализованной тем или иным образом, состоит в оптимизации ее структуры или способа функционирования. Понятно, что использование метода Монте-Карло, построенного на реализации случайных сценариев, не гарантирует единственного решения. Физика в этом смысле выглядит более привлекательной, так как оперирует законами, которые являются от-

ражением присутствующих в природе тенденций. Знание закона природы не всегда гарантирует точный прогноз протекания физических процессов, однако позволяет дать вероятностную оценку будущих событий.

Одним из главных достижений ОТС является формулировка законов, справедливых для сложных систем любой природы. Так как эти законы проявляются, в том числе и в физических системах, где они четко формализованы, то можно воспользоваться этим формализмом и для описания систем любой природы.

Так, для любой системы можно ввести численную величину, характеризующую степень удаления ее от состояния равновесия, которую можно назвать *мерой неравновесия системы*. Например, в случае груза, подвешенного на пружине, в качестве степени неравновесия может выступать координата x конца пружины по отношению к ее ненапряженному положению; в случае электрической RLC-цепи это в качестве меры неравновесия может выступать заряд конденсатора q . Аналогично для любой сложной системы можно определить подобную величину x , характеризующую количество внутрисистемных напряжений. При этом процесс релаксации любой сложной системы во времени t может быть описан известным изоморфным уравнением баланса сил:

$$F_c + F_i + F_d + F_y = F_c - m \frac{d^2x}{dt^2} - r \frac{dx}{dt} - kx = 0, \quad (3)$$

где F_c – сторонняя сила, поддерживающая неравновесие в системе; F_i – сила инерции, вызванная действием принципа Ле Шателье – Брауна; F_d – сила, соответствующая диссипации (рассеянию) энергии системы, вызванная принципом роста энтропии; F_y – сила упругости, вызванная принципом минимума производства энтропии; m – коэффициент инертности; r – коэффициент диссипации энергии; k – коэффициент упругости системы.

Уравнение (3) характеризует не только физические процессы, но и процессы в экологических, социальных и экономических

системах. Поиск аналогичных проявлений изоморфизма уравнений физики и сложных систем произвольной природы является одной из характерных проблем ФСС.

ВЫВОДЫ

1. Согласно положениям ОТС для многих явлений природы характерно наличие изоморфизма описывающих их уравнений, что позволяет использовать наиболее хорошо изученные явления в качестве моделей сложных систем, математическое описание которых пока еще не разработано. Наиболее проработанной в математическом плане является физика, что позволяет использовать ее математический аппарат для моделирования сложных систем произвольной природы. Такой подход, характерный для ФСС, позволяет не только прогнозировать динамику сложных систем, но и лучше понять их механизмы.

2. Предполагается использовать аппарат ФСС для формализации и решения ряда прикладных задач, а именно: моделирование процесса управления отделами предприятия, в частности, в текстильной промышленности, моделирование социального микроклимата на предприятии, моделирование экологических последствий деятельности предприятия, моделирование процессов обучения, в частности, на предприятии или в вузе, разработка универсального математического аппарата для моделирования новых физических эффектов, которые могут быть реализованы в технологических циклах, в частности, на текстильном предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кохановский В.П. Философия и методология науки. – Ростов н/Д.: "Феникс", 1999.
2. Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/Физика_сложных_систем).
3. Боулдинг К. Общая теория систем – скелет науки. – М.: Наука, 1969.
4. Кибернетика и ноосфера. – М.: Наука, 1986.
5. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем — обзор проблем и результатов // Системные исследования. – М.: Наука, 1969.

6. *Сороко Э.М.* Структурная гармония систем / Под ред. Е.М. Бабосова. – Мн.: Наука и техника, 1984.
7. *Клейнер Г.* Системная парадигма и теория предприятия // Вопросы экономики. – 2002, № 10.
8. *Мезенцева Е.Н., Горинова С.В.* Закономерности развития устойчивых корпоративных образований в текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1.
9. *Чистобородов Г.И., Никифорова Е.Н. и др.* Системотехнический подход к проектированию новой техники и технологий текстильных производств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 7.
10. *Петрухин А.Б., Матрохин А.Ю. и др.* Стратегия научно-методического и технического обеспечения выпуска тканей и изделий из натуральных и синтетических волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 6.
11. *Корнаи Я.* Системная парадигма // Вопросы экономики. – 2002, № 4.
12. *Осипов Ю.М.* Неоиндустриализация: сущность, значение и механизм реализации // Философия хозяйства. – 2013, № 3.
13. *The Spatial Economy, Cities, Region and International Trade*, Masahisa Fujita, Paul R. Krugman, and Anthony J. Venables (Eds.), MIT Press, 1999.
14. *Валлерстайн И.* Анализ мировых систем и ситуация в современном мире / Пер с англ. П. М. Кудюкина под общей ред. Б. Ю. Кагарлицкого. – СПб.: Университетская книга, 2001.
- Рекомендована кафедрой социально-экономических дисциплин ИВГПУ. Поступила 12.12.14.
-