

Общая теория систем: проблема создания формализованных теорий в области гуманитарного знания

Аверин Г.В.

Донецкий национальный технический университет

averin.gennadiy@gmail.com

Аверин Г.В. «Общая теория систем: проблема создания формализованных теорий в области гуманитарного знания». Выполнен анализ существующих подходов моделирования систем в естественнонаучном и гуманитарном знании. Различие парадигм этих областей знаний во многом определено степенью формализации изучаемых процессов и явлений. Сформулированы актуальные вопросы, связанные с проблемой моделирования социогуманитарных систем. Предложены принципы создания формализованных теорий в гуманитарном знании, а также реляционно-полевой подход построения таких теорий. Особенностью подхода является использование идеи представления данных опыта в виде гипотетической сплошной среды и применение гипотезы существования эмпирических величин для комплексной оценки состояния систем. Показано также, что используя гипотезы, характеризующие особенности изменения таких величин во времени, можно свести задачи моделирования к решению некоторых уравнений матфизики. Полученные результаты развивают феноменологические методы исследований в теории систем.

Ключевые слова: *общая теория систем, формализованные теории, гуманитарное знание, феноменологические методы.*

Введение

*Все наше знание
только вероятно
Рейхенбах*

В настоящее время существует явное разделение человеческого знания, которое свойственно естественным и гуманитарным наукам. Суть различий затрагивает основания данных наук и определяет процесс формирования научных парадигм этих областей знаний. Тем не менее, следует отметить, что сама граница разделения является относительно условной; многие методы, разработанные в естественных науках, используются в обществоведении. В свою очередь, часть идей и принципов общественных наук вошла в систему мировоззрения естествознания.

Постановка любой аналитической задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное (вербальное) описание в формальное. Естественные науки предполагают обязательную формализацию основных закономерностей, характеризующих природные явления, а также их количественное описание за счет формулировки исходных гипотез, теорий и моделей. Под моделью обычно понимают некоторое упрощенное представление о реальном объекте, которое, отображая или воспроизводя объект исследования, заменяет его и предоставляет о нем новую информацию, которая очень часто не является очевидной.

В свою очередь, общественные науки ориентируются в основном на мысленное

модельное описание основных закономерностей общественных процессов за счет построения гипотетических, образных, описательных, экспертных и подобных им модельных представлений, которые позволяют давать преимущественно качественные характеристики изучаемых явлений. Количественные модели (например, знаковые математические модели) используются в этих науках значительно реже, что указывает на сложности в построении формализованных языков моделирования в данных областях знаний и формулировки на их основе количественных закономерностей.

Создание методологий, методов и формализованных языков моделирования является закономерным процессом развития любой науки, так как это позволяет систематизировать эмпирические знания и лучше понимать сущность наблюдаемых явлений и процессов. Однако процесс моделирования не должен являться самоцелью, построение теоретических моделей следует основывать на опыте и практике, иначе у теорий (даже у теорий переднего края физики) возникают значительные проблемы [1]. Известно, что новые фундаментальные открытия чаще всего устанавливаются экспериментом, опытом и практикой и объясняются теорией.

Методология моделирования природных явлений изначально вышла из физики. Еще в 1884 году в своих «Балтиморских лекциях» У. Томсон отмечал, что понять явление – значит

построить его модель. С течением времени интерес к процессу моделирования стал всеобщим, и в настоящее время нет ни одной науки, ни одной области знаний, где бы не применялись те или иные виды моделей. В каждой науке имеется собственная методология и теория, в свою очередь, разные виды моделей являются предметом этой теории и позволяют в наглядной и упрощенной форме отражать объект исследования и его закономерности.

В области общественных наук в связи с развитием вычислительной техники и различных систем сбора и обработки информации данные наблюдений накапливаются очень быстрыми темпами. Для изучения такой информации исследователи разрабатывают методы анализа данных, которые были бы универсальны по отношению к системам различной природы. В данной области сформировалось целое научное направление, которое ориентировано на применение естественнонаучных методов исследований в гуманитарных науках. Скорее всего, это научное направление, тесно связанное с системным анализом и общей теорией систем, является наиболее перспективным путем к созданию новой парадигмы моделирования. Вполне очевидно, что в рамках одной научной области, охватывающей только естественные или, например, только общественные науки, формирование универсальной теории моделирования систем невозможно.

В 1950 году на заре создания общей теории систем (ОТС) ведущими учеными были сформулированы масштабные общесистемные задачи, решить которые предполагалось в ближайшей перспективе [2, 3]:

- найти системные связи в физических, биологических и социальных явлениях;
- развить собственную методологию теоретического анализа, применимую в науках с различными предметами и объектами исследований;
- разработать таксономию различных классов систем, исходя из существования общесистемных закономерностей в природе и обществе;
- построить модели биологических и общественных систем;
- дать ответ на вопрос о допустимости системных моделей и формализованных законов в истории и т.д.

Шестьдесят пять лет срок достаточно большой для решения поставленных задач, однако, если отвечать на вопрос: «Были ли получены новые фундаментальные открытия в данной области?», то придется дать отрицательный ответ. Нельзя сказать, что в данной области знания нет прогресса. Было разработано множество моделей для различных

природных, биологических и социальных систем, произошла чуть ли не революция в области моделирования систем, связанная с повсеместным применением формализованных методов в самых разных областях знаний, в целом создано впечатление необычайно быстрого научного развития в предметных областях за счет интеграции методов моделирования с информационными технологиями. Тем не менее, поставленные перед ОТС первоначальные задачи не были решены. Для справедливости вопроса следует отметить, что подобная проблема сегодня наблюдается во многих сферах естественнонаучного знания. На фундаментальную науку общество выделяет значительные финансовые ресурсы и стремится получить от ученых существенно больше фундаментальных результатов, нежели создается сегодня.

На существование этой же проблемы в физике указывал еще пятьдесят лет назад академик П.Л. Капица и симптом серьезных нарушений нормального развития науки видел в разрыве связей между теорией и экспериментом [4]. Давно известно, что развитие эмпирической базы научных дисциплин формируется существенно более медленными темпами, чем устремления исследователей в построении теоретических моделей, причем не всегда подтвержденных опытом и практикой.

Поэтому, для того, чтобы получить заметный результат в применении естественнонаучных методов исследований в гуманитарных науках, необходимо вернуться к научным методам, которые обеспечивают тесную связь между теорией и экспериментом. Здесь речь может идти, в первую очередь, об апробированных поколениями ученых феноменологических методах исследований, которые вполне применимы к структурированным массивам данных, характеризующим биологические, социальные и общественные процессы.

Постановка проблемы

Сегодня математизация биологических, общественных и гуманитарных наук не затрагивает их исходных положений, методологий и закономерностей, т.е. оснований данных наук. Если в экономике достаточно широко применяются математические и компьютерные модели, то, к примеру, в философии и истории применение формализованных моделей достаточно редкое явление. Возможность использования математических методов в философии очень часто вызывает сомнения и возражения у многих ученых гуманитариев даже на уровне обсуждения вопроса. Доводом к этому служит то, что философия, как и математика во многом

определяет облик современной науки и является инструментом изучения всеобщих закономерностей в природе и обществе, поэтому методологии этих наук не могут иметь единых методов исследований, кроме некоторых общих логических подходов.

В свою очередь, большинство работ, связанных с использованием математических моделей в исторических исследованиях, основано на статистической обработке данных исторических источников и применении некоторых видов аналитических и имитационных моделей [5, 6]. Последнее время наблюдаются предпосылки к расширению области применения количественных моделей (в том числе имитационных и математических) в истории. Также увеличивается применение методов моделирования в археологии, антропологии, психологии, социологии и лингвистике. Этому способствует накопление массивов эмпирических данных в этих науках.

Различие парадигм естественнонаучного и гуманитарного знания во многом связано со степенью формализации изучаемых процессов и явлений и, как следствие, с формой представления модельных описаний в соответствующих науках. При этом одна из самых актуальных задач современной науки связана с поиском ответа на вопрос: возможна ли высокая степень формализации при описании объектов и явлений в гуманитарных науках? В данной статье делается попытка наметить пути решения некоторых общесистемных задач в области теории систем. Поэтому сформулируем актуальные вопросы и попытаемся получить на них хотя бы предположительные ответы:

- какие научные принципы могут быть использованы для построения общесистемных теорий, применимых как в естественных, так и в гуманитарных науках?

- возможно ли «математизировать» основополагающие области философии или истории, и какие могут быть использованы для этого естественнонаучные методы и модели, а также способы анализа эмпирических данных;

- реально ли модельное описание развития общества за счет обобщения исторических данных и событий и построения моделей общественных процессов на основе формализованных подходов?

Сущность ответов на данные вопросы затрагивает основания многих наук и тесно связана с общими представлениями, которые свойственны всем областям знаний. Поэтому целью данной статьи является поиск общесистемных принципов, которые открывали бы возможности для создания формализованных теорий в области социогуманитарного знания.

Некоторые общие принципы и подходы моделирования систем

Исходные принципы научного знания (детерминизм явлений; истинность теорий и моделей, подтвержденных практикой; относительность знания) изначально основываются на повсеместном наблюдении событий, которые лежат в основе получения любых данных, фактов и закономерностей объективной реальности [7]. Детерминизм представляет собой учение о всеобщей и закономерной связи явлений и процессов в окружающем мире. Индетерминизм исходит из отсутствия какой-либо связи между явлениями. Оба принципа дают противоположные точки зрения на характер взаимосвязи событий, процессов и явлений во времени. Естественно, что в природе всеобщая связь явлений не может быть выражена простыми случаями и крайностями, должно наблюдаться единство этих противоположных точек зрения.

Тем не менее, до недавнего времени в науке преобладали мнения, что случайность и предопределенность (необходимость), по своей сути понятия противоположные. Философ К. Поппер утверждал, что объективная вероятность не совместима с детерминизмом. В данном вопросе очень много неясностей и крайностей даже на уровне философских воззрений, не говоря уже об уровне модельных описаний, где следует применять ясные и понятные методологические принципы.

Будем исходить из принципов единства и взаимосвязи понятий предопределенности и случайности, детерминированных и вероятностных причинных связей, динамической и статистической закономерности явлений и процессов.

При изучении данной проблемы применительно к процессу моделирования исходим из принципа детерминизма в модельных описаниях. То, что детерминизм органично присущ моделированию является признанным фактом – любая достоверная физическая, математическая или алгоритмическая модель описывает закономерные связи изучаемых явлений и процессов, в основе которых вполне могут лежать как детерминированные, так и вероятностные особенности. Использование стохастических средств в моделях дает возможность ввести элементы неопределенности и тем самым расширить область применения динамических моделей на некоторые классы случайных процессов. Однако модель все равно является детерминированной, так как алгоритм ее построения однозначен. Просто в модель вводятся физические или алгоритмические компоненты (например, генераторы случайных

или псевдослучайных чисел), которые формируют определенную стохастичность.

При таком подходе, модель любой степени формализации описывает (в целом) динамику некоторого процесса или явления, которое происходит закономерно, в результате действия определенных причин. При этом изучение на модели процесса перехода изучаемой системы из одного состояния в другое обеспечивается за счет регистрации характерного множества событий, которые отражают наблюдаемые с течением времени изменения в системе.

В свою очередь, в окружающем нас мире при отображении всего многообразия явлений не может быть крайностей, закономерные связи во времени могут формироваться исходя из существования как детерминированных, так и вероятностных особенностей. Поэтому, следуя воззрениям М. Каца и Э. Нельсона, любое развитие природного или общественного процесса во времени (неважно, детерминированное, детерминировано-вероятностное или явно вероятностное) при анализе в терминах вероятностей будем считать стохастическим процессом [8, 9]. Это позволяет рассматривать оба принципа (детерминизм и индетерминизм), которые определяют характер явлений во времени, во взаимосвязи, причем вероятность, как количественная мера проявления закономерностей, будет указывать на то, какие особенности процессов преобладают в явлении: детерминированные или вероятностные. В зависимости от характера этих особенностей при описании систем выделяют два типа проявления причинной связи, связанных с динамическими (детерминированными) и статистическими (вероятностными) закономерностями. Исторически данная проблема заключается в вопросе соотношения между формализмом и реальностью.

Согласно известным определениям динамическая и статистическая закономерности – это формы проявления закономерной связи между предшествующими и последующими состояниями систем. Динамическая закономерность представляет собой форму причинной связи, при которой данное состояние системы однозначно определяет все ее последующие состояния, в силу чего знание начальных условий дает возможность точно предсказать дальнейшее изменение и развитие системы. Статистическая закономерность – это форма причинной связи, при которой данное состояние системы определяет все ее последующие состояния не однозначно, а лишь с определенной вероятностью, являющейся объективной мерой возможности реализации заложенных в прошлом тенденций изменения и

развития. Так как в основе факта установления динамической или статистической закономерности всегда лежит событие, то различие между этими закономерностями относительно. Это связано с тем, что любое событие в строгом смысле слова всегда случайно, при этом множество достоверных событий (детерминированных событий, происходящих обязательно, или, как еще говорят, происходящих с вероятностью, равной или близкой к единице) будет определять динамическую закономерность, которая свойственна предопределенности. В свою очередь, множество случайных событий (событий, которые могут произойти или не произойти) будет определять статистическую закономерность, которая свойственна случайности.

Случайность и предопределенность событий определяются особенностями и видами процессов или явлений, протекающих в природе и обществе. С другой стороны, случайность и предопределенность событий в большой степени является следствием, связанным с временным диапазоном, в котором наблюдается явление. Например, в пределах средней продолжительности жизни смерть конкретного человека случайна, так как в любой момент может произойти или нет. В свою очередь, в пределах нескольких веков она предопределена, так как произойдет обязательно.

Решение о том, динамические или статистические закономерности преобладают в процессе или явлении, принимается на основе практики. Предположим, что состояние некоторой системы на заданный момент времени было определено. Это значит, что изучаемые параметры или характеристики системы были измерены, оценены или получены в процессе наблюдения или эксперимента. Соответствующие события мы можем считать достоверными, так как на момент анализа состояния системы они уже произошли. Предположим далее, что система постепенно переходит в новое состояние и соответствующие параметры и характеристики этого состояния были спрогнозированы, т.е. предсказаны с помощью применения некоторой модели (например, математической). После этого был проведен опыт по определению тех же величин, причем для нового момента времени соответствующие события также являются достоверными. Если при изучении многих состояний реальной системы величины, наблюдаемые в опыте, с высокой точностью совпадают с их прогнозными значениями, полученными на модели, то считают, что системе присущи детерминированные закономерности и поведение системы хорошо описывается динамической моделью. Если на

основе динамических моделей не удастся описать явление, то считают, что система обладает статистическими закономерностями. Принятие решения о выборе модели достаточной точности длительно вырабатывается практикой, а именно путем перебора множества разных моделей, пока опыт не подтвердит оптимальный вариант выбора. В этом случае формулируются общие представления, которые принимаются научным сообществом.

На данном примере видна определенная условность принятия гипотезы о виде закономерности, так как в основе утверждения всегда лежит модель, отражающая уровень наших знаний о явлении. Все это указывает на тесную связь между статистической и динамической закономерностями, которые определяют характер изменения состояний систем во времени.

Именно поэтому многие известные ученые новую концептуальную парадигму в развитии современной науки видят в синтезе динамических и статистических закономерностей объективной реальности. Если в терминах вероятностей статистическая и динамическая закономерности могут быть сведены к более общей стохастической закономерности, то необходимо определить критерий, который бы отражал это сходство. Следует также сформулировать единое представление о стохастической закономерности, при этом статистическая и динамическая закономерности должны органически вписываться в это представление и являться частными случаями общей закономерности. В свою очередь отметим, что достоверная динамическая модель в наглядной и упрощенной форме отражает основные закономерности процесса или явления. При этом в такой модели доля детерминированных закономерностей полностью преобладает над статистическими закономерностями. Тем не менее, в любом случае существует определенная случайность, которая всегда может вноситься с исходными данными, имеющими ошибки опыта или наблюдения.

Таким образом, общее представление о стохастической закономерности должно охватывать как реальные процессы и явления, так и их модели. Отсюда следует, что вероятностные представления будут присущи как реальности, так и формализму. Исходя из этого, если сформулированная проблема будет решена на уровне формализованных моделей, то она тем самым будет решена и на уровне объективных закономерностей, которые представляются этими моделями.

В данном вопросе будем исходить из известного факта, что динамические модели

хорошо описывают детерминированные процессы в природе и обществе. Другими словами, эти модели, несмотря на упрощенную форму, достоверно отражают поведение целых классов объектов и явлений, которым свойственны детерминированные закономерные связи. Поэтому, установив особенности процесса моделирования при построении таких моделей, можно попытаться сформулировать общие особенности, которые свойственны как динамическим, так и статистическим закономерностям, исходя из факта совершения тех или иных событий.

Сложность данной задачи связана с тем, что в науке пока нет основополагающей систематики (таксономии) наблюдаемых событий, исходя из общепринятых критериев, учитывающих причинно-следственные, временные, статистические и динамические особенности событий. Существующая классификация событий по области наблюдения (экономические, природные, социальные, политические и т.д.) крайне ограничена и однобока, тоже можно сказать и о принятой классификации событий в теории рисков. Теория вероятностей также не дает ответа на этот вопрос, хотя оперирует событиями и их вероятностями. Однако, построение формализованных теорий на основе анализа событий и описания связей между событиями или их характеристическими величинами является реальным путем формулировки теорий в разных предметных областях, т.к. события повсеместно наблюдаются в природе и обществе.

Если исходить из решения задач, поставленных в данной статье, то следует постараться найти общие особенности в формировании характерных событий, которые отражают преимущественно эволюционные процессы в различных системах. Сделаем следующие предположения. Во-первых, так как динамические и статистические закономерности суть более общей стохастической закономерности, то критерий их сходства должен быть определен исходя из вероятностных представлений о возможности осуществления событий. То есть он должен учитывать связь между событиями. Во-вторых, в основе всех динамических и статистических моделей лежит основополагающее понятие математического анализа – понятие функции. Таким образом, изучаемый вопрос связан с использованием вероятностных принципов в процессе представления функциональных зависимостей разных видов и форм.

В простейшем случае понятие функции дается в виде: если величина x может принимать произвольные значения, и указано какое-либо правило, посредством которого

приводятся в соответствии с этими значениями определенные значения другой величины y , то говорят, что y является функцией от x и эту связь записывают символически следующим образом: $y = f(x)$. В свою очередь, определение функции по Дирихле: y есть функция переменной x , определенная на отрезке $[a \leq x \leq b]$, если всякому значению переменной x , содержащемуся на этом отрезке, соответствует вполне определенная величина переменной y , причем совершенно неважно, каким именно способом установлено это соответствие. Современное определение функции в терминах множеств имеет вид: пусть каждому произвольному числу x из заданного множества E поставлено в соответствие число y , обозначаемое $y = f(x)$, тогда говорят, что на множестве E задана функция $y = f(x)$.

Если представить задание величины x как некоторое событие, то исходя из выделенных словосочетаний, в приведенных выше определениях: «произвольные значения», «всякому значению», «произвольному числу», данное событие можно рассматривать как *равновозможное*. Это говорит о том, что распределение величины x , как вероятностный принцип и исходная предпосылка при построении функциональной зависимости, будет соответствовать равномерному вероятностному закону распределения. Следовательно, *равновозможность* – это основное свойство динамической закономерности при ее общей исходной формулировке в рамках стохастической закономерности. Исходя из этого, в заданном пространстве переменных множество выработанных практикой моделей (тех или иных функциональных зависимостей) можно рассматривать как определенную среду моделирования стохастического процесса, который наблюдается в реальности. Основным свойством данной среды является равновозможный выбор значений исходных независимых переменных и задание множества самых различных функций для моделирования. Качество созданной модели определяется способностью данной среды при выбранном виде функциональной зависимости отображать реальный процесс или явление с заданной точностью. В подобной среде моделирования возможно представление как обычных функциональных зависимостей, так и статистических зависимостей, построенных по опытным данным. Однако, в последнем случае, принцип равновозможности выбора значений исходных переменных чаще всего нарушается, а сами переменные являются уже зависимыми между собой.

Таким образом, мы для систем самой разной природы приходим к идее вероятностного пространства для многих переменных, где элементарным равновозможным событиям выбора значений из исходного множества некоторых независимых величин ставятся в соответствие неравновозможные события для множества других зависимых величин и связь между этими величинами задается путем определения функции на исходном множестве. В этом случае вероятностное пространство представляет собой некоторую совокупность (Z, A, W) , состоящую из множества Z (равновозможных элементарных событий), класса A подмножеств множества Z (случайных сложных событий наблюдений или опыта) и вероятностной меры W , которая представляет собой действительную функцию и определяет связь между распределениями на множествах Z и A . При этом вероятностная мера W может быть определена в терминах статистических или динамических закономерностей, так как, исходя из определения функции, совершенно не важно каким образом установлено соответствие между величинами. Если это соответствие выражается в функциональном виде и детерминировано, то можно говорить о существовании динамических закономерностей. Если это соответствие выражается в виде распределений и отражает случайность явления, то следует говорить о статистической закономерности. В свою очередь, если установить соответствие невозможно, то будем говорить об отсутствии связей между величинами. Отсюда следует, что в терминах понятий вероятностного пространства и функции можно сформулировать общую стохастическую закономерность, которая в качестве частных случаев включает как динамическую, так и статистическую закономерности.

Если рассматривать вероятность как меру существования общей закономерности стохастического характера в процессе или явлении, то при отсутствии связей между значениями вероятности характерных событий из множеств Z и A , построение достоверных моделей любого вида становится невозможным. С другой стороны, если существует некоторая закономерность (что будет отражаться в наличии связей между вероятностями событий), то возможно построение как качественных, так и количественных моделей.

Из вышесказанного следует, что критерием сходства динамических и статистических закономерностей может выступать вероятность событий, наблюдаемых при возникновении различных процессов и явлений в природе и обществе, а также различные виды вероятностных распределений таких событий.

Следующим важным шагом при формулировке общих принципов является установление требований к математическому представлению среды моделирования для описания стохастических закономерностей. Здесь необходимо отметить, что среда моделирования должна позволять адаптировать формализованные модели под реальные опытные данные на множествах Z и A . События опыта чаще всего представляют собой дискретные множества некоторых наблюдаемых характеристических величин. Для того, чтобы строить модели процессов необходимо рассматривать эти множества как ограниченные выборки наблюдений из некоторых генеральных совокупностей всех гипотетически возможных наблюдений. Это позволяет сформировать непрерывное пространство состояний изучаемой системы в виде событий и их характеристических величин не только для множества Z , но и для множества A .

Попытаемся сформулировать вариант построения полевой теории систем применительно к общему случаю. Изложение материала будем вести применительно к многомерным сложным системам на основе развития аксиоматического подхода построения термодинамики, предложенного К. Каратеодори [11]. Принцип «адиабатической недостижимости» К. Каратеодори, используемый им при доказательстве существования энтропии, можно рассматривать как следствие существования скалярного поля некоторой физической величины. Из данной идеи формируется подход формализованного описания систем, который не зависит от природы анализируемых систем. В результате на основе логики термодинамики можно предложить феноменологические методы описания данных опыта для различных классов систем. При этом данные опыта должны быть структурированы в виде, удобном для представления вероятностного пространства совокупности (Z, A, W) .

Реляционно-полевой подход при создании формализованных теорий

Будем представлять некоторую систему определенной природы в виде совокупности объектов одного класса, например, веществ, изделий, особей, граждан, стран и т.д. Все объекты системы имеют определенное количество характерных свойств, которые количественно определяются измеряемыми или наблюдаемыми параметрами z_1, z_2, \dots, z_n . Каждый объект совершает некоторый естественный процесс, в связи с чем его параметры изменяются во времени $z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t)$. Периодически (с шагом,

например, год, месяц, час, секунда и т.д.) осуществляется наблюдение за всеми объектами системы. В результате формируется массив таблично-временных данных, в которых каждая таблица имеет структуру «объекты – параметры», а множество таблиц упорядочено во времени. Далее предполагаем существование для изучаемой системы обширных массивов таких данных, которые накоплены в процессе длительного наблюдения за поведением системы. Сегодня подобные структурированные количественные данные существуют для систем самой разной природы как в естественных, так и в гуманитарных науках.

Для формулировки общих подходов моделирования будем пользоваться материалами работ [10, 12], поэтому основные результаты изложим тезисно. Для того, чтобы показать возможности разработки формализованных теорий в предметных областях сделаем следующие достаточно общие предположения.

На первом этапе формулируем понятие состояния системы. Под *состоянием* любой системы подразумеваем совокупность ее наблюдаемых свойств в виде параметров z_1, z_2, \dots, z_n , которые формируются под действием условий окружающей среды в конкретный момент времени.

Образуем n -мерное пространство состояний $\Omega_n\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, тогда точки этого пространства соответствуют n -мерным наборам значений всех переменных (z_1, z_2, \dots, z_n) . Состояние объектов системы в n -мерном пространстве в каждый момент времени будет отображаться многомерной точкой $M = M(z_1, z_2, \dots, z_n)$, процесс изменения состояния системы – многомерной кривой, описываемой точкой M в этом пространстве.

Введем понятие эмпирической меры состояния системы W . Сегодня в философии согласно известного определения мера – это философская категория, отражающая единство качественных и количественных характеристик объекта или системы. Очень часто мера трактуется как диапазон или область количественных изменений, которые могут происходить при сохранении данного качества объекта. Будем рассматривать меру как некоторую функцию пространства состояний, отражающую единство качественной и количественной определенности системы. В общем случае будем также считать, что общая мера может количественно характеризоваться некоторой совокупностью эмпирических мер W_i , которые определяются в опыте на основе процедур измерений, оценок или расчетов и представляют собой комплексные величины.

условиях среда моделирования θ в пространстве Ω_n позволяет использовать квазилинейные многомерные уравнения в частных производных первого порядка, которые тесно связаны с уравнениями Пфаффа вида (2). Например, для случая среды моделирования следующего вида

$$\theta = \frac{z_1 \cdot z_2 \cdot \dots \cdot z_n}{z_{10} \cdot z_{20} \cdot \dots \cdot z_{n0}} \quad (3)$$

энтропия s и потенциал U состояния системы, определяются как:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + \dots + c_n \cdot \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right), \quad (4)$$

$$U - U_0 = \frac{(z_1 - z_{10})^2}{c_1} + \dots + \frac{(z_n - z_{n0})^2}{c_n}, \quad (5)$$

здесь $z_{10}, z_{20}, \dots, z_{n0}$ – параметры некоторого опорного состояния. В частном случае, для функций θ вида (3) получаем все результаты классической термодинамики, в том числе и известное уравнение второго закона термодинамики $ds = dW/\theta$, где величина θ является интегрирующим делителем [10].

В качестве среды моделирования могут использоваться различные функциональные зависимости из класса однородных функций, например, многомерная геометрическая вероятность, степенная мультипликативная функция относительно параметров z_1, z_2, \dots, z_n ,

индекс $\theta = \sum_{k=1}^n z_k^2$, исходя из геометрических

представлений однородности пространства, и др.

Энтропия s и потенциал U являются функциями состояния системы при справедливости условия существования скалярного поля эмпирической меры W . Изменение данных функций зависит только от начального и конечного состояния и не зависит от пути перехода системы между этими состояниями. При справедливости предложенных выше гипотез, для любой системы может быть сформулирован закон, который по своей сущности является многомерным аналогом «закона сохранения энергии».

Отличительной особенностью данного подхода является то, что исходные гипотезы могут быть приняты или отвергнуты на основе обработки данных опыта, представленных в структурированном виде относительно параметров свойств системы. Для этого адекватность выбранных сред моделирования может оцениваться по точности приближения опытных данных теоретическими зависимостями и возможности определения величин c_l .

Дифференциальные уравнения для выбора сред моделирования

Проблема моделирования систем связана с опытными данными и средами моделирования, которые позволяют адекватно описать эти данные. Перебор различных видов функций θ , определение величин c_l и оценка качества полученных зависимостей приводит к значительному объему вычислительных работ, особенно когда имеется много опытных данных. Обработка таких данных для получения феноменологических моделей может проводиться с учетом различных гипотез, которые определяют закономерности формирования эмпирической меры в пространстве состояний. Это возможно путем применения методов теории сплошных сред.

Эмпирическая мера, также как и параметры свойств, изменяется с течением времени, т.е. справедливо соотношение $W(t) = W(z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t))$. Исходя из гипотезы скалярного представления эмпирической меры, в окрестности каждой точки M пространства Ω_n существует множество значений изменения величины W , зависящих от вектора направления процесса l .

Учитывая принятый ранее постулат о связи изменений величин W и θ вида $dW = c_l \cdot d\theta$, примем гипотезу, что для любого процесса l в произвольной точке M существует связь между скалярными полями этих величин вида:

$$dW = grad_l W(M) = c(M) \cdot grad_l \theta(M), \quad (6)$$

где $c(M) = c(z_1, z_2, \dots, z_n)$ – коэффициент пропорциональности как функция точки пространства Ω_n , который определяет феноменологическую связь между величинами.

Если рассмотреть замкнутую поверхность σ многомерного объема v , выделенного в области Ω_n , то за время dt через элемент поверхности $d\sigma$ поток вектора $grad W(M)$ будет равен:

$$dW = dt \cdot \iint_{(\sigma)} c \cdot grad \theta d\sigma. \quad (7)$$

Для величины W можно выдвинуть разные гипотезы об ее изменении во времени, которые будут связаны с сущностью этой величины. Например, предположим, что она подчиняется закону сохранения, тогда применяя балансировый метод в пространстве Ω_n , получим

$$dW = dt \cdot \iiint_{(v)} \beta \frac{\partial \theta}{\partial t} dv = dt \cdot \iint_{(\sigma)} c \cdot grad \theta d\sigma, \quad (8)$$

где $\beta(z_1, z_2, \dots, z_n)$ – некоторая функция пропорциональности.

Применяя к уравнению (8) формулу Остроградского, получим уравнение параболического типа для среды моделирования:

$$\beta \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} = \operatorname{div}(c \cdot \operatorname{grad} \theta) \quad \text{или} \quad (9)$$

$$\beta \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z_1} \left(c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z_1} \right) + \dots + \frac{\partial}{\partial z_n} \left(c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z_n} \right). \quad (10)$$

Данное дифференциальное уравнение аналогично нестационарному уравнению конвективной диффузии при его обобщении на n -мерный случай.

Дифференциальное уравнение (10) и данные опыта или наблюдения в виде таблично-временных данных позволят проверить исходные гипотезы и определить множественность феноменологических величин $c(M)$ и $\beta(M)$. Эта задача сводится к решению обратных краевых задач для уравнения параболического типа и восстановлению искомым величин по опытным данным, которые собраны при наблюдении за процессами изменения параметров системы во времени.

Аналогичным образом, используя различные гипотезы по отношению к процессу изменения эмпирической меры во времени, можно приходиться к различным краевым задачам математической физики и осуществлять проверку адекватности теоретических моделей по отношению к опытным данным для систем различной природы.

Выводы

Таким образом, предложенные принципы и методы моделирования систем позволяют применить объективный подход при создании формализованных теорий в области гуманитарного знания.

В современном понимании объективный подход предполагает использование методов, которые не зависят от воли и желаний субъекта, обеспечивают формализацию научной задачи в области предмета исследования и применяют адекватные (чаще всего количественные) модели для описания объективных закономерностей реальности. Важным является также формирование обширной эмпирической базы, существование феноменологических описаний явлений и процессов и использование инструментов и средств для опытной проверки научных фактов и апробации их на практике.

Не во всех науках и сферах человеческой деятельности удастся применить объективные методы, однако в научном сообществе растет понимание этой необходимости. Именно поэтому в целом ряде областей знаний последнее время много внимания уделяется созданию

универсальных методов моделирования. На повестке дня стоит разработка общей методологии моделирования процессов различной природы, т.е. создание единой системы теорий разных областей знаний.

В данной статье показано, что приняв гипотезу о существовании эмпирической меры, можно гипотетически построить феноменологическую теорию для системы любой природы, для которой имеются данные наблюдений или опыта, представленные в виде обширных массивов количественной информации. Однако, проверка справедливости сформулированной теории связана с необходимостью анализа опытных данных и подбором наиболее адекватных сред моделирования. Применяя различные гипотезы, характеризующие особенности изменения эмпирической меры во времени можно также свести исходную задачу к решению различных уравнений математической физики.

Поэтому, как видно из данной статьи, можно предложить различные формализованные модели и теории как для естественнонаучных, так и гуманитарных областей знаний. Особенностью подхода является переход к идее представления данных опыта в виде сплошной среды и использование гипотезы существования величин для комплексной оценки состояния систем.

Предложенные методы построения формализованных теорий имеют свою область применения. В первую очередь, применение данного подхода ограничивается системами разных классов, для которых существуют эмпирические меры для оценки состояний систем и могут быть сформулированы описания, отличающиеся полевым представлением пространства состояний.

Кроме этого, данные методы могут быть реализованы только по отношению к определенным массивам опытных данных. Такие данные чаще всего могут быть получены при наблюдении эволюционных процессов развития различных систем, которым свойственны более или менее медленные, постепенные изменения в состоянии систем. Следует отметить, что такие процессы очень часто наблюдаются во многих биологических, экологических и социальных системах.

Научная значимость предложенных методов связана с возможностью построения формализованных моделей для систем различной природы. В ряде опубликованных ранее статей, а также статей этого сборника показана возможность реализации предложенных методов при решении задач комплексной оценки развития стран мира и анализа загрязнения воздуха в городах, а также в других областях [10, 12 – 16].

Список литературы

1. Смолин Ли. Неприятности с физикой: взлет теории струн, упадок науки и что за этим следует / Перевод с англ. Penguin Book, London, 2007. – 226 с.
2. Ludwig von Bertalanffy. The Theory of Open Systems in Physics and Biology // Science 13 January, 1950, 111: 23 – 29 [DOI: 10.1126/science.111.2872.23].
3. Берталанфи Л. Общая теория систем. Критический обзор // General Systems, Vol. VIII, 1962. – С. 1 – 20.
4. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. – М: Наука, 1981. – 495 с.
5. Hanneman R. and Hollingsworth J.R. Modeling and Simulation in Historical Inquiry // Historical Methods. Summer 1984. Vol. 17, no 3.
6. Hanneman R. Computer-assisted theory building. Modeling dynamic social systems. – SAGE. N.Y., 1988.
7. Марк А. О случайных и детерминированных событиях. – Электр. ресурс. URL: http://samlib.ru/alesker_m/sluch_determ.Shtml#2n (24.05.14).
8. Кас М. & Logan J. Fluctuation Phenomena, eds. E.W. Montroll & J.L. Lebowitz, North-Holland, Amsterdam, 1976.
9. Nelson E. Quantum Fluctuations. – Princeton: Princeton University Press, 1985.
10. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. – Электр. ресурс. URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/rrules/item/sistemodinamika-2> (10.06.14).
11. Каратеодори К. Об основах термодинамики. – В кн.: Развитие современной физики: Пер. с нем. – М.: Наука, 1964. – С. 188 – 222.
12. Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. Донецк: Друк-инфо, 2013. – №1 (4) – 2 (5). – С. 46 – 55. – Электр. ресурс. URL: <http://sait.csm.donntu.org> (13.06.14).
13. Звягинцева А.В., Аверин Г.В. Применение методов интеллектуального анализа данных при оценке развития Украины // Геотехническая механика. Днепрпетровск. – 2013. – Выпуск 112. – С. 257 – 270. – Электр. ресурс. URL: <http://geotm.dp.ua/index.php/ru/2013-god/vypusk-112> (10.08.14).
14. Звягинцева А.В., Аверин Г.В. Построение уравнений состояний сложных токсикологических систем // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. Донецк: ДонНТУ, 2011. – № 1. – С. 46 – 55. – Электр. ресурс. URL: <http://sait.csm.donntu.org> (21.04.14).
15. Zviahintseva A.V. Multiparameter ranking of areas based on the analysis of data about the condition of natural and anthropogenic systems // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. Донецк: Друк-инфо, 2014. – № 1 (6) – 2 (7). – Электр. ресурс. URL: <http://sait.csm.donntu.org>.
16. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Модели данных для отдельных проблемно-ориентированных баз данных // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. Донецк: Друк-инфо, 2014. – № 1 (6) – 2 (7). – Электр. ресурс. URL: <http://sait.csm.donntu.org>.

References (transliteration)

1. Smolin Li. Neprijatnosti s fizikoj: vzlet teorii strun, upadok nauki i chto za jetim sleduet [Trouble with Physics: The Rise of string theory, the decadence in science and what it should be] / Perevod s angl. Penguin Book, London, 2007. – 226 p.
2. Ludwig von Bertalanffy. The Theory of Open Systems in Physics and Biology // Science 13 January, 1950, 111: 23 – 29 [DOI: 10.1126/science.111.2872.23].
3. Bertalanfi L. Obshhaja teorija sistem. Kriticheskij obzor [The general theory of systems. A critical review] // General Systems, Vol. VIII, 1962. – pp. 1 – 20.
4. Kapica P.L. Jeksperiment, teorija, praktika [Experiment, Theory, Practice]. – М: Nauka, 1981. – 495 p.
5. Hanneman R. and Hollingsworth J.R. Modeling and Simulation in Historical Inquiry // Historical Methods. Summer 1984. Vol. 17, no 3.
6. Hanneman R. Computer-assisted theory building. Modeling dynamic social systems. – SAGE. N.Y., 1988.
7. Mark A. O sluchajnyh i determinirovanyh sobytijah [Random and deterministic events]. – Elektr. resurs. URL: http://samlib.ru/alesker_m/sluch_determ.Shtml#2n (24.05.14).
8. Кас М. & Logan J. Fluctuation Phenomena, eds. E.W. Montroll & J.L. Lebowitz, North-Holland, Amsterdam, 1976.
9. Nelson E. Quantum Fluctuations. – Princeton: Princeton University Press, 1985.
10. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. – Doneck: Donbass, 2014. – 405 p. – Elektr. resurs. URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/rrules/item/sistemodinamika-2> (10.06.14).
11. Karateodori K. Ob osnovah termodinamiki [On the bases of thermodynamics]. – V kn.: Razvitie sovremennoj fiziki: Per. s nem. – М.: Nauka, 1964. – pp. 188 – 222.
12. Averin G.V., Zvjaginceva A.V., Vzaimosvjaz' termodinamicheskoi i informacionnoj jentropii pri opisani sostojanij ideal'nogo gaza [The relationship of the thermodynamic entropy and information in the description of the ideal gas] // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii

- v naukah o prirode i obshhestve. Doneck: Druk-info, 2013. – no. 1 (4) – 2 (5). – pp. 46 – 55. – Elektr. resurs. URL: <http://sait.csm.donntu.org>. (13.06.14).
13. Zvjaginceva A.V., Averin G.V. Primenenie metodov intellektual'nogo analiza dannyh pri ocenke razvitija Ukrainy [The use of data mining techniques in the evaluation of the development of Ukraine] // Geotekhnicheskaja mehanika. Dnepropetrovsk. – 2013. – Issue 112. – pp. 257 – 270. – Elektr. resurs. URL: <http://geotm.dp.ua/index.php/ru/2013-god/vypusk-112> (10.06.14).
14. Zvjaginceva A.V., Averin G.V. Postroenie uravnenij sostojanij slozhnyh toksikologicheskikh sistem [Construction of the complex equations of state poison control systems] // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve. Doneck: DonNTU, 2011. – no. 1. – pp. 46 – 55. – Elektr. resurs. URL: <http://sait.csm.donntu.org> (21.04.14).
15. Zviahintseva A.V. Multiparameter ranking of areas based on the analysis of data about the condition of natural and anthropogenic systems // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve. Doneck: Druk-info, 2014. – no. 1 (6) – 2 (7). – Elektr. resurs. URL: <http://sait.csm.donntu.org>.
16. Averin G.V., Zvjaginceva A.V. Modeli dannyh dlja otдел'nyh problemno-orientirovannyh baz dannyh // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve. Doneck: Druk-info, 2014. – no. 1 (6) – 2 (7). – Elektr. resurs. URL: <http://sait.csm.donntu.org>.

Аверін Г.В. «Загальна теорія систем: проблема створення формалізованих теорій в галузі гуманітарного знання». Виконано аналіз існуючих підходів до моделювання систем в природознавчому та гуманітарному знанні. Відмінність парадигм цих областей знань багато в чому визначена ступенем формалізації досліджуваних процесів і явищ. Сформульовано актуальні питання, які пов'язані з проблемою моделювання соціогуманітарних систем. Запропоновано принципи створення формалізованих теорій в гуманітарному знанні, а також реляційно-польовий підхід побудови таких теорій. Особливістю підходу є використання ідеї представлення даних досвіду у вигляді гіпотетичного суцільного середовища та застосування гіпотези існування емпіричних величин для комплексної оцінки стану систем. Показано також, що використовуючи гіпотези, які характеризують особливості зміни таких величин у часі, можна звести задачі моделювання до розв'язання деяких рівнянь матфізики. Отримані результати розвивають феноменологічні методи досліджень у теорії систем.

Ключові слова: загальна теорія систем, формалізовані теорії, гуманітарне знання, феноменологічні методи.

Averin G.V. “General systems theory: the problem of creating formalized theories in the domain of humanitarian knowledge”. The analyses of existing approaches for modeling systems in natural and humanitarian sciences was carried out. The differences of paradigms from these domains are largely defined by the formalization degree of the processes and events under investigation. The paper formulates urgent questions related to the problem of social and humanitarian systems modeling. It also proposes principles for creating formalized theories in humanitarian knowledge as well as relational-field approach to the building of those systems. The distinctive feature of the proposed approach is the use of idea of representing experimental data as hypothetically solid medium and applying the existence of empirical quantities hypothesis for complex system assessment. It is also shown that modeling tasks could be reduced to the solving of certain mathematical physics equations by using the hypothesis that characterize change peculiarities of those quantities in time. The obtained results develop phenomenological research methods in the theory of systems.

Keywords: general systems theory, formalized theories, humanitarian knowledge, phenomenological methods.

Статья поступила в редакцию 18.06.2014
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Каргиным А.А.