

**Философская мысль***Правильная ссылка на статью:*

Грибков А.А., Зеленский А.А. Система знаний: иерархия аксиоматик, модели и их верификация // Философская мысль. 2025. № 7. DOI: 10.25136/2409-8728.2025.7.75243 EDN: AZUZFR URL:  
[https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=75243](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75243)

**Система знаний: иерархия аксиоматик, модели и их верификация****Грибков Андрей Армович**

ORCID: 0000-0002-9734-105X

доктор технических наук

ведущий научный сотрудник; Научно-производственный комплекс "Технологический центр"

124498, Россия, г. Москва, пл. Шокина, 1, строение 7

[✉ andarmo@yandex.ru](mailto:andarmo@yandex.ru)**Зеленский Александр Александрович**

ORCID: 0000-0002-3464-538X

кандидат технических наук

ведущий научный сотрудник; Научно-производственный комплекс "Технологический центр"

124498, Россия, г. Москва, пл. Шокина, 1, строение 7

[✉ zelenskyaa@gmail.com](mailto:zelenskyaa@gmail.com)[Статья из рубрики "Философия познания"](#)**DOI:**

10.25136/2409-8728.2025.7.75243

**EDN:**

AZUZFR

**Дата направления статьи в редакцию:**

16-07-2025

**Дата публикации:**

23-07-2025

**Аннотация:** В статье исследуются возможности совершенствованию системы знаний, которая в настоящее время не обладает необходимой целостностью, существует

одновременно в нескольких противоречащих друг другу парадигмах, описывается на альтернативных, взаимно-непереводимых языках различных наук и областей знания. Возможности совершенствования системы знаний могут быть реализованы при систематизации и обобщении знаний в виде иерархической структуры, основанной на действовании нескольких методологических уровней, к числу которых относятся: формирование иерархии аксиоматик; генерация формальных теорий предметных областей на основе выбранной аксиоматики и принятых в рамках современной научной парадигмы единообразных правил; определение методологических подходов к синтезу формальных моделей; топологическая верификация знаний на предмет обеспечения непрерывности отображений и сохранения преемственности при развитии и трансформации всей системы знаний и локальных систем знаний, относящихся к ее фрагментам или ипостасям. В основу методологии исследования положен эволюционный подход к познанию, исходя из которого относительно крупным предметным областям соответствуют эволюционные уровни мироздания, для которых определяется аксиоматика. Построение формальной модели осуществляется посредством специальной методологии синтеза. Для обоснованного выбора формальной модели предлагается оригинальная классификация моделей по широкому набору критериев. Научная новизна исследования заключается: в определении методологии построения иерархии аксиоматик; определении трех критериев выбора наилучших аксиом (эволюционности, очевидности и парадигмальности); в определении механизма возникновения неполноты и противоречивости систем знаний, возникающих вследствие инкапсуляции обобщенных знаний предшествующих эволюционных уровней, сопровождающейся потерей информации, а также определении подходов к устранению неполноты и противоречивости; в формализации специальной методологии синтеза формальных моделей, включающей в себя накопленный опыт синтеза, консолидированный в виде вторичных законов объектов, относящихся к моделированию, и инструментарий описания последовательности синтеза на основе ее языковой интерпретации; в формировании комплексного подхода к решению проблеме формальных моделей при их изменении за пределы системной определенности. На долгосрочную перспективу развитие системы знаний сформулирована цель определения методологических подходов к задаче конструирования языковых форм для трансляции смыслов между различными предметными областями с сохранением преемственности или с переопределением смыслов знания.

### **Ключевые слова:**

система знаний, иерархия, аксиомы, эволюция, предметная область, мироздание, формальная система, теория, модель, верификация

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда по гранту № 24-19-00692, <http://rscf.ru/project/24-19-00692/>*

### **Введение**

Образ мироздания, как модели реальности, сформировавшейся в коллективном сознании человечества, несмотря на существенные достижения науки и философии, накопленные к настоящему времени, не обладает необходимой целостностью, существует одновременно в нескольких противоречащих друг другу парадигмах, описывается на альтернативных, взаимно-непереводимых языках различных наук и областей знания.

Определение логики построения системы знаний, в которой указанные недостатки были бы нивелированы или хотя бы редуцированы до уровня, когда они не будут препятствовать качественному представлению мироздания, – задача первостепенной значимости. Для ее решения необходимо последовательно выстроить несколько методологических уровней, формализующих процесс систематизации и обобщения знания в непротиворечивую и доступную для понимания иерархическую структуру. Можно выделить следующие необходимые методологические уровни.

Во-первых, формирование иерархии аксиоматик, связывающей предметные области, соответствующие последовательным эволюционным уровням (структурообразования материи). Проведенные ранее исследования [1] позволили сформулировать пятнадцать эволюционных уровней: метафизический, классически-механический, квантово-механический, статистически-физический, молекулярный, кристаллографический, макромолекулярный, супрамолекулярный, физиологический, эволюционно-биологический, биотический, информационно-когнитивный, социальный, интеллектуально-духовный и технический. Каждому из эволюционных уровней соответствует предметная область, характеризующаяся специфической научной парадигмой, в основе которой лежит принятая для данной предметной области аксиоматика, задающая ключевые понятия, категории и методы познания.

Во-вторых, построение формальных теорий (систем) предметных областей. Методологические подходы к созданию формальных теорий известны. Формальная теория необходимо включает аксиомы (утверждения, принимаемые без доказательства, на основе которых выстраивается формальная теория), алфавит – совокупность символов, посредством которых выполняется описание, а также построенные из них формулы, теоремы и правила вывода [2, с. 67-80]. Описание в рамках формальной теории осуществляется на основе принятой для данной предметной области аксиоматики. Поскольку для формальной теории не требуется доказательство (или аргументация) аксиом, то знания, формирующиеся в ее рамках, могут быть недетерминированными – внутренние механизмы, устройство объектов познания и причины их того или иного поведения в большинстве случаев неизвестны.

В-третьих, формирование локальных моделей (семантическое определение) знаний, представленных на языках формальных теорий. Необходимым условием формирования локальных моделей является определение методологии их синтеза, а также классификация формальных моделей по исчерпывающему набору критериев.

В-четвертых, топологическая [3] верификация знаний, включающая задачу обеспечения непрерывности отображений множеств параметров при описании развития и трансформации системы знаний или ее составляющих, и задачу сохранения семантической преемственности при переопределении системы знаний.

### **Иерархия аксиоматик**

Важным преимуществом эволюционного метода познания [4, с. 157-166] является возможность описания мироздания посредством соотнесения с последовательностью эволюционных этапов в структурообразовании реального мира. При этом естественным образом от этапа к этапу дополняется и расширяется аксиоматика, инкапсулирующая эмпирические и метафизические знания предыдущих этапов в аксиомы для последующих этапов. Если расширение, дополнение и выстраивание иерархии аксиоматик происходит именно такименным образом, то обеспечивается целостность представления

мироздания: каждая составляющая знания в виде локальной модели, интегрированной в систему знаний, получает свое определенное место, роль и однозначную связь с другими локальными моделями.

Узким местом в построении иерархии аксиоматик является определение ее оптимального выбора. Мироздание, как модель реального мира, сформированная в коллективном сознании человечества, не является единственно возможным. Другой набор аксиом, другое разбиение эволюции на этапы формирует для той же реальности иную версию мироздания, которая может как хуже, так и лучше соответствовать реальности. Более того, допущение волюнтаризма в формировании аксиоматики, то есть волевой выбор аксиом или их интерпретации (исходя из простоты формулировки или предпочтений конкретного ученого – основоположника в определенной области знаний), может стать причиной появления разрывов, неопределенностей или искажений системы знаний, последующее исправление которых (после того, как поврежденная система знаний продолжит расти) будет становиться все более затруднительным. Как можно избежать таких последствий?

Система знаний – динамическое построение, находящееся в состоянии постоянного изменения и развития. Возникновение ошибок, развитие отдельных ее составляющих в продолжении ограниченного периода времени в неверном направлении не является патологией, а соответствует нормальному состоянию системы знаний. Корректирование или даже пересмотр аксиом мироздания – это естественный и необходимый процесс, результатом которого должно стать приближение системы знаний к описываемой ею реальности. При этом в каждый исторический момент (а система знаний исторична, т.е. соответствует текущему уровню знаний) все аксиомы должны быть наилучшим выбором из всех возможных.

Критерии выбора наилучших аксиом до настоящего времени никогда не были formalизованы. По нашему мнению, таких критериев три: эволюционность, очевидность (или представимость) и парадигмальность (изоморфизм).

Критерий эволюционности отражает наличие у аксиомы эмпирического или метафизического подкрепления, т.е. ее соответствие эволюционному методу познания. Формулирование аксиом, соответствующих критерию эволюционности, носит формальный характер свертки знаний предшествующих эволюционных уровней для их использования (в виде аксиом) на последующих уровнях.

Критерий очевидности на первый взгляд представляется наиболее понятным. Аксиома должна быть очевидной, то есть не вызывать сомнений, полностью соответствовать требованию представимости. Напомним, что «в основе представимости тех или иных процессов или структур лежит их согласие с системой наших представлений. Практически представимым для нас является лишь то, что имеет какой-либо аналог, т.е. соответствует известной нам форме или известному закону, а также может быть логически построено на их основе» [\[4, с. 153\]](#).

Критерий парадигмальности связан с универсальностью изоморфизма мироздания. Изоморфизм присущ не только формам и законам различных предметных областей, разных эволюционных уровней, но и мыслительным конструкциям, используемым для познания, в том числе аксиомам. Формы, структуры и логика образования аксиом должны проявлять свойство подобия на всех уровнях мироздания. Другими словами, логика иерархии аксиоматик должна быть общей на всех ее уровнях. В результате, степень соответствия аксиомы критерию парадигмальности верифицируется ее

сопоставлением с другими аксиомами на предмет выявления общности в принципах построения и формах.

Рассмотрим в качестве иллюстрации применения сформулированных выше критериев выбора наилучших аксиом принятые в настоящее время аксиомы метафизического, классически-механического и квантово-механического уровней.

В рамках логики механического детерминизма аксиомы метафизического уровня представляют собой констатацию первичных свойств бытия: материя и пустота имеют протяженность в трех геометрических измерениях (первая аксиома); материя дискретна и состоит из первичных частиц, имеющих конечно малую протяженность, разделенных пустотой (вторая аксиома); материя обладает телесной непроницаемостью, т.е. первичные частицы не могут проходить друг сквозь друга (третья аксиома); материя обладает движением, т.е. первичные частицы могут изменять свою взаимное положение (четвертая аксиома); материя обладает инертностью, проявляющейся при взаимодействии образованных из нее тел: чем больше количество первичных частиц в теле, тем обратно пропорционально меньше изменяется скорость тела при взаимодействии с другими телами (пятая аксиома).

Аксиомы классической механики – это три закона Ньютона. Первая аксиома – закон инерции: если на тело не действуют силы, то оно сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Вторая аксиома – основной закон механики: если на тело действует сила, то оно приобретает ускорение, обратно пропорциональное массе тела. Третья аксиома – закон о равенстве сил действия и противодействия, закон независимого действия сил.

Аксиомы классической механики по отношению к аксиомам метафизики, очевидно, демонстрируют соответствие критериям эволюционности и очевидности (представимости). Эволюционность аксиом классической механики заключается в наличии прямой логической связи между ее аксиомами и метафизикой. Другими словами, аксиомы классической механики детерминированы на метафизическем уровне. При этом для задания аксиом классической механики необходимы все аксиомы метафизики. Представимость аксиом классической механики не требует доказательства, поскольку естественным образом следует из представимости аксиом метафизики: насколько представимы аксиомы метафизики, настолько же представимы аксиомы классической механики. Парадигмальность (изоморфизм) аксиом классической механики, по нашему мнению, не требует рассмотрения, поскольку знания на метафизическем и классически-механическом уровне мироздания детерминированы. Дополнительное выявление изоморфизма между этими двумя эволюционными уровнями представляется излишним.

Некоторая неопределенность в аксиомах классической механики возникает вследствие введение понятия «время» через использование ускорения и силы вместо импульса (количества движения), непосредственно следующего из аксиом метафизики. Можно ли было построить классическую механику без использования понятия времени? Да, возможно, однако описание механических систем было бы существенно более сложным.

Время – это математическое понятие, служащее для количественного сопоставления сопутствующих (то же, что одновременных; одновременность – понятие, не связанное со временем [\[5, т. 3, с. 145\]](#)) движений материальных тел. Это определение согласуется с определением Аристотеля [\[5, т. 3, с. 147, 152\]](#): «Изменение и движение каждого [тела] происходят только в нем самом или там, где случится быть самому движущемуся и изменяющемуся; время же равномерно везде и при всем. Далее, изменение может идти

быстрее и медленнее, время же не может, так как медленное и быстрое определяются временем... Так как время – мера движения, то оно будет и мерой покоя, ибо всякий покой во времени». Итак, можно констатировать, что время не является частью аксиоматики классической механики, а представляет собой лишь абстрактное математическое понятие, (эволюционно) следующее из аксиом метафизического уровня.

Рассмотрим теперь аксиомы квантово-механического уровня. Необходимо сразу оговориться, что удовлетворительное философское осмысление аксиоматики квантовой механики до настоящего времени не достигнуто. В рамках квантовой механики признаются несколько вариантов интерпретации квантовых явлений, описываемых в рамках того же формализма (теми же формулами), но с различающимся смысловым наполнением.

Попробуем сформулировать аксиомы квантовой механики таким образом, чтобы они не противоречили классической механике (допускали альтернативные интерпретации, включая совместимые с классической механикой). Можно выделить три основных аксиомы: постулат о волновой функции, согласно которому описание поведения частицы носит вероятностный характер; принцип дополнительности, согласно которому некоторые квантовые свойства, такие как положение и импульс, не могут быть определены одновременно с высокой точностью; постулат о суперпозиции, утверждающий, что если квантово-механическая система может находиться в нескольких состояниях, то она также может находиться в состоянии, являющемся линейной комбинацией этих состояний. Следствиями постулата о суперпозиции являются (рассматриваемые как самостоятельные) постулат о нелокальности квантово-механических взаимодействий, допускающий существование квантовой запутанности, когда два или более объекта могут быть связаны друг с другом независимо от расстояния между ними, и постулат о наблюдаемых величинах, согласно которому измерение влияет на состояние системы, что приводит к коллапсу волновой функции (переходу системы в одно определенное состояние).

Является ли постулат о суперпозиции и следующие из него постулат о нелокальности и наблюдаемых величинах объективными свойствами реальности или лишь интерпретацией принятой в квантовой механике теоретической модели? – вопрос, на который в рамках самой квантовой механики нет ответа. С другой стороны, в случае отказа от детерминизма (посредством придания случайности онтологического содержания), отказа от локальности взаимодействий и отказа от существования объективной реальности, не выполняются требования к наилучшей аксиоматике по всем трем установленным нами критериям. Не обеспечиваются эволюционность аксиом (аксиомы квантовой механики не следуют из классической механики, а ей противоречат), а также их представимость и парадигмальность (ничего подобного мы с окружающим миром не встречаем). Следовательно, некоторые аксиомы квантовой механики следует понимать как некорректную интерпретацию ее теоретической модели. При этом следует отметить, что все основные квантово-механические явления (волновые свойства частиц, квантование их энергии и др.) могут быть объяснены [\[4, с. 113\]](#) в рамках механического детерминизма, удовлетворяющего критериям эволюционности, очевидности и парадигмальности.

### **Формальные теории предметных областей**

Определение аксиом для предметной области является основой для создания формальной системы и теории, необходимой для последующего построения теоретической модели (или моделей) предметной области. Наряду с аксиомами, обязательными составляющими формальной теории являются: алфавит – счетный набор

символов и операторов отношений; выражения, составляемые из символов; формулы – выражения, представляющие собой законченные утверждения или правила; теоремы – формулы, выводимые их аксиом формальной теории. С формальными теориями тесно связаны формальные языки, которые могут служить средством представления формул и выражений формальной теории, либо для описания правил и структуры формальной системы.

Практика анализа системы знаний показывает, что определения иерархии аксиом, определяющих эволюционную последовательность предметных областей, недостаточно для представления полной картины мироздания, образованной из множества локальных моделей, каждая из которых построена на базе определенных (универсальных или специальных) формальных теорий. Необходимым условием более полного представления системы знаний является системный анализ формальных теорий и связанных с ними формальных языков. Этот анализ должен служить выявлению их надсистем (в рамках которых определяются формальные системы анализируемых теорий) и подсистем (локальных формальных систем, представляющих собой частные случаи формальных систем, к которым принадлежат рассматриваемые).

Что является надсистемой для формальной теории, созданной для какой-либо предметной области? Очевидно, что таких надсистем множество (например, формальная теория, охватывающая более широкую предметную область, частью которой является рассматриваемая), но не все они представляют интерес для анализа. Выделение какой-либо предметной области в качестве самостоятельного предмета анализа происходит обычно в случае реализации ее понятийной свертки, т.е. инкапсуляции детерминированных или эмпирически подтвержденных знаний в виде аксиом для последующего оперирования ими безотносительно внутреннего содержания. Иными словами, аксиоматика формальной системы задается на уровне (какой-то) ее надсистемы.

Инкапсуляция обобщенных знаний – необходимая составляющая построения системы знаний. Вся система знаний строится подобным иерархическим образом, на основе обобщений. Эта практика, однако, имеет негативные последствия в виде потери данных. Всякая инкапсуляция знания (как и любое обобщение) сопровождается разрывом связей с другими элементами знания и частичной потерей смыслового наполнения знания. В результате, системный анализ любой формальной теории выявит ее неполноту, либо противоречивость, передаваемую в наследство от надсистемы, часть смыслов которой на уровне системы оказывается потеряна.

Для преодоления неполноты и противоречивости необходимо рассмотрение формальной теории в рамках надсистемы для ее формальной системы, т.е. без инкапсуляции обобщенных знаний при задании аксиом рассматриваемой формальной теории, либо в рамках надсистемы для надсистемы без инкапсуляции обобщенных знаний в аксиомы надсистемы и т.д.

Возможным альтернативным подходом к изучению методов и свойств формальной теории является ее рассмотрение в рамках специально созданной (для анализа одной или нескольких формальных теорий) метатеории. Метатеория служит установлению области определения параметров изучаемой теории, ее полноты, непротиворечивости, позволяет оценить необходимость и возможность расширения ее аксиоматики или введения новых понятий. Применительно к формальным языкам предметом анализа являются иерархии метаязыков различного уровня, в рамках которых определяются языки более низкого уровня. В результате наряду с объектной иерархией систем

(подсистема/система/надсистема) также происходит выстраивание параллельной иерархии методологических систем – метатеорий, служащих для анализа формальных систем. Уровнями этой методологической иерархии являются теория систем, теория моделей и теория категорий.

### **Методология синтеза формальных моделей**

Наличие формальной теории для анализируемой предметной области открывает возможность построения в ее рамках формальных моделей объектов и систем. Практическая реализация этой возможности требует определения методологии перехода от постановки задачи построения модели до ее практической реализации.

Методология синтеза формальных моделей складывается из двух необходимых составляющих: определения вторичных законов объектов, относящихся к задаче моделирования; интерпретации последовательности синтеза формальных моделей в виде языковой конструкции для формулирования и использования концепции «широкого места» в синтезе формальных моделей, а также определения семантических ограничений вариативности синтаксиса.

Вторичные законы объектов для моделирования [4, с. 275-278]: закон устойчивого моделирования объектов; закон сохранения паттернов; закон расхождения модели и познаваемого объекта; правила описания и синтеза моделей объектов.

Закон устойчивого моделирования объектов устанавливает, что по мере повышения полноты описания объекта для сохранения устойчивости описания методы моделирования должны упрощаться. Этот закон является расширением известного принципа несовместимости [6, с. 10], согласно которому сложность системы и точность, с которой она может анализироваться, находятся в обратной зависимости.

Закон сохранения паттернов при снижении полноты описания объектов устанавливает, что по мере снижения полноты описания объектов, определяющие их паттерны могут частично сохраняться. Использование этих паттернов делает модель более устойчивой и качественно достоверной.

Закон расхождения модели и познаваемого объекта устанавливает, что модель познаваемого объекта, рассматриваемая как самостоятельный объект, сходится с познаваемым объектом только по ограниченному набору параметров, определенных задачей познания; все остальные параметры модели и познаваемого объекта различны. Попытки уподобить модель объекту или системе обычно приводят к обратному результату: соответствие модели ухудшается, а ее устойчивость (к флюктуациям входных параметров) снижается.

Три основополагающих принципа системологии, которые можно квалифицировать как правила описания и синтеза моделей объектов [7, с. 20-22]: принцип формирования законов, смысл которого заключается в том, что законы (сложных) объектов определяются дедуктивно исходя из принятых параметров модели системы; принцип рекурентного объяснения, смысл которого заключается в объяснении свойств объектов данного уровня исходя из постулируемых свойств объектов (элементов) нижестоящего уровня и связей между ними; принцип минимаксного построения моделей, смысл которого заключается в том, что формальная сложность модели не должна соответствовать неформальной сложности объекта; по мере роста числа уровней иерархии соотношение неформальной и формальной сложностей должно неуклонно повышаться, т.е. объяснение должно становиться относительно более простым.

Последовательность синтеза формальной модели включает в себя несколько необходимых стадий: постановка задачи, которая должна решаться моделью (точнее, моделируемым объектом или системой); программно-математическое задание функциональных свойств модели; архитектура модели; реализация модели. В рамках языковой интерпретации синтеза формальной модели указанной последовательности стадий соответствует семантически-синтаксическая вертикаль от постановки задачи (общее определение смысла – семантики модели) через программно-математическое задание функциональных свойств (детализация смыслового наполнения) и определение архитектуры (выбор оптимального синтаксиса) до ее технической реализации в виде математических абстракций, логических элементов, элементов электронной компонентной базы и т.д. (синтаксическое описание модели).

«Широким местом» в синтезе формальной модели является стадия определения архитектуры (выбора оптимального синтаксиса). Именно эта стадия вносит наибольший вклад в вариативность модели. На стадии постановки задачи (определения семантики модели) вариативность отсутствует: необходимо решать поставленную задачу с минимальными корректировками ее исходной формулировки (если такие корректировки необходимы). Детализация смыслового наполнения определяется заданной семантикой, детализированной под конкретную реализацию модели с учетом заданной специфики, ограничений и т.д., поэтому вариативность формальной модели за счет изменения параметров детализации смыслового наполнения в большинстве случаев крайне ограничена.

Реализация модели (синтаксическое описание) вариативна, хотя число возможных вариантов обычно невелико. Ключевую роль в ограничении синтактической вариативности играют экономические факторы (различные варианты реализации могут радикально различаться по стоимости в зависимости от их функциональных возможностей), а также наличие семантических ограничений. Семантические ограничения вариативности синтаксиса связаны с тем, что семантическое наполнение формальной модели может быть задано лишь посредством синтаксиса, имеющего для этого достаточную мощность. С другой стороны, имеется и верхнее ограничение мощности синтаксиса: мощность не должна быть избыточной для заданной семантики. Набор соответствующих вариантов синтаксиса в результате ограничивается несколькими или даже единственным вариантами.

Кроме того, существуют сематические ограничения для трансформации синтаксического представления знаний. Достоверность такого представления (на языке формальной теории) ограничивает вариативность синтаксиса условием сохранения сематического наполнения (смысла). Например, замена символов при задании биективности отображений исходного и конечного множеств символов обеспечивает сохранение смысла. С другой стороны, представление формул (и других выражений) через нумерацию Геделя полный смысл формул не сохраняет. В этом случае от изначального сематического наполнения остается только возможность идентификации формул.

## **Формальные модели**

В зависимости от заданного функционала формальной теории могут быть построены модели, представляющие различные совокупности параметров описываемых предметных областей, их обобщенных свойств и характеристик. В этой связи возникает необходимость максимально полной классификации возможных моделей знания.

Обзорный анализ сложившихся в рамках философии, частных наук и сфер деятельности предметных областей позволяет выделить следующие основные критерии классификации формальных моделей знания.

Во-первых, модели знания могут быть классифицированы по размеру моделируемого объекта познания. Наиболее масштабной является мироздание – интегрированная модель, обобщающая все существующие знания, образованная из множества локальных моделей различного масштаба, функционала и принципов построения. Основным методологическим подходом к построению и интерпретации этой модели является общая теория систем, оперирующая универсальными категориями, лишенными специфики предметных областей или эволюционных уровней. Вторыми по размеру моделями являются модели, описывающие предметные области. Такие модели обычно требуют собственных формальных теорий, в том числе собственной аксиоматики. Для каждой предметной области может быть создано несколько моделей знаний, отражающих различные ипостаси этой области. В рамках моделей предметных областей выстраиваются необходимые для их представления накладывающиеся друг на друга локальные модели меньшего масштаба с различными наборами параметров (существенных признаков), описывающие отдельные свойства или совокупности свойств ограниченных подобластей предметных областей с большей или меньшей детализацией.

Во-вторых, модели знания могут быть классифицированы по назначению на структурные, функциональные и целевые модели. К числу последних относятся: модели устойчивости, модели развития, модели трансформации (с сохранением или без сохранения преемственности) и т.д. Модели устойчивости, развития или трансформации выстраиваются под достижение ключевой интегральной цели: обеспечение устойчивости моделируемого объекта или системы, его развитие или трансформация (например, реконфигурации). В структурных моделях предметом анализа являются структурные элементы, из которых состоит моделируемый объект или система, их отношения и претерпеваемые ими процессы. В функциональных моделях предметом анализа являются элементарные и композиционные функции моделируемого объекта или системы, реализуемые в результате взаимодействия структурных элементов.

В-третьих, модели знания могут быть классифицированы по отношению ко времени на статические и динамические. Модель называется статической, если среди параметров, участвующих в описании модели, нет временного параметра. Соответственно, модель называется динамической, если она описывает изменение состояний объекта или системы во времени. Динамические модели описывают изменение состояния под воздействием различных внутренних и внешних факторов.

В-четвертых, модели классифицируются по характеру обеспечения устойчивости на равновесные и неравновесные. Описание объектов и систем с равновесной устойчивостью осуществляется посредством параметров, характеризующих элементы модели и их связи. Для описания неравновесных объектов и систем (к числу которых относятся наиболее сложные динамические системы, в том числе «живые» [\[4, с. 236\]](#)) используют параметры, характеризующие процессы в системе. В результате устойчивому состоянию объекта и системы соответствует стабильность и упорядоченность протекающих в них процессов.

В-пятых, модели классифицируются по степени детерминированности на детерминированные и недетерминированные. Детерминированные модели включают в себя параметры, характеризующие множество элементов, связей и процессов объекта или системы, недетерминированные (модель «черного ящика») – множество входных и

выходных параметров объекта или системы.

В-шестых, модели классифицируются по стадии формирования модели на концептуальные (содержательные), аналитические, конструктивные и инструментальные. Концептуальная модель [8] служит для абстрактного представления типовой группы объектов или систем, не зависящее от их конкретной реализации. Аналитическая модель — это математическое представление реального процесса или системы, которое используется для анализа данных и прогнозирования. Конструктивная модель строится на основе аналитической модели путем более детального описания структуры системы и способов ее реализации. Инструментальная модель — это представление объекта или системы, которое служит инструментом для ее анализа, проектирования, управления или понимания поведения.

В-седьмых, модели классифицируются по методам моделирования на описательные, имитационные и аналоговые. К числу описательных относятся: топологические модели [9], представляющие собой описание связей и отношений между элементами системы или данных, независимо от их точных геометрических размеров и метрических характеристик; теоретико-множественные модели, представляющие собой частный случай топологических моделей, используемые для описания и анализа различных явлений и систем посредством понятий общей топологии (множества и др.) [3]; категориальные модели, основанные на понятиях теории категорий (тотосы, функторы и др. [10,11]); модели математической логики [12] — математические представления логических систем, используемые для изучения их свойств и отношений (пропозициональная логика, логика предикатов, теория моделей [13], теория доказательств); формальные онтологии [14] и др.

Имитационные модели [15] обычно строятся на базе компьютерных систем, «имитирующих» поведение реальных объектов и систем. Для адекватного представления сложных децентрализованных систем используются специальные имитационные модели, получившие название агент-ориентированных моделей (agent-based model, ABM) [16]. Элементами таких моделей являются агенты — уникальные и автономные сущности, которые локально взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой [17, с. 10]. Наиболее проработанными являются две программно-математические реализации агент-ориентированной модели: акторная модель [18,19] и реакторная модель (модель реляционных акторов) [20].

Наряду с описательными и имитационными, также существуют аналоговые модели, однако они не являются в полной мере формальными. В аналоговых моделях соответствие аксиоматике, правилам вывода и теоремам используемой для задания модели формальной системы — предположительное, оно не верифицируется для реализации с конкретными аналоговыми элементами.

В-восьмых, модели классифицируются по структуре областей определения и значений функций на непрерывные, дискретные и непрерывно-дискретные. Дискретные модели оперируют отдельными, различимыми значениями, в то время как непрерывные модели описывают явления, которые могут принимать любые значения в определенном диапазоне. Непрерывно-дискретные системы — это параллельные и распределенные динамические системы, состоящие из элементов, поведение которых описывается непрерывными процессами, имеющими конечную длительность, и элементов, поведение которых описывается дискретными процессами [21]. Построение достоверных

непрерывных моделей для сколько-нибудь сложных объектов и систем – задача крайне сложная. С другой стороны, например, использование дискретных моделей с малым шагом дискретизации по времени фактически обеспечивает переход от динамической модели к статической, открывает возможности использования наиболее простых и универсальных инструментов линейной (или иной полиномиальной) интерполяции и т.д. Модели в некоторых предметных областях исключительно дискретные. К числу таких областей, в частности, относятся вычислительные системы реального времени, служащие для управления сложным технологическим оборудованием, технологическими процессами и производствами.

В- девятых, модели классифицируются по полноте меры описания на полные, качественные и количественные. Полные модели отражают качественные и количественные свойства объектов и систем, качественные соответствуют объекту или системе только качественно, а количественные – только количественно. Абсолютное большинство используемых моделей являются количественными, ограниченными по диапазону изменения определяющих их параметров. Это обусловлено неполной детерминированностью (или недетерминированностью) большей части моделей, описывающих поведение объектов и систем, но не включающих в себя данных об их внутренних механизмах. Качественные модели носят преимущественно вспомогательный характер, позволяя судить о структурной организации объектов и систем, их генезисе, прогнозировать (на качественном уровне) их поведение.

Проведенные ранее исследования классификации объектов позволили сформулировать достаточно жестокие требования к методологически корректной классификации. К числу установленных требований относятся [4, с. 263-264]: достаточность совокупности критериев классификации», т.е. охват (с большей или меньшей детализацией) классификацией всех определяющих объект параметров; отсутствие избыточности или неоднозначности критериев классификации; общесистемность критериев классификации. Предлагаемые критерии классификации не вполне соответствуют этим требованиям и, вероятно, такое несоответствие является неизбежным. Требования были сформулированы по отношению к объектам познания, а не к моделям, а потому не требуют обеспечения онтологичности классификационных групп (т.е. биективности отображения классификационной группы на реальность). Классификация моделей по различным критериям служит определению доступного аналитического инструментария, позволяющего сделать модели более достоверными и соответствующими цели и задачам конкретного моделирования.

### **Топологическая верификация формальных моделей**

Процесс познания реального мира, итогом которого является построение системы знаний, заключается: в формировании моделей больших или меньших фрагментов бытия; в преобразовании этих моделей за пределы их количественной (по диапазону и дискретности изменений, по времени, точности и т.д.) и системной (по взаимосвязи параметров, принимаемых значимыми) определенности; в сопоставлении моделей, различающихся наборами параметров, структурой и критериями оценки модели.

Почему оптимальным форматом представления знаний о мире являются модели? Причина заключается в том, что результатом познания является построение в коллективном сознании человечества альтернативного, отличного от реальности мира, целостного, но управляемого законами теории познания и наук (а не законами бытия!). Такой альтернативный мир может быть представлен только посредством моделей.

Наиболее сложной и трудоемкой составляющей познания оказывается задача преобразования моделей, особенно, за пределы их системной определенности. При преобразовании моделей возникают резонные вопросы: «Какие ограничения необходимо устанавливать для такого преобразования, если мы хотим сохранить преемственность с предыдущим вариантом модели?», «В каком виде следует представлять модель в контексте ее преобразования за пределы системной определенности?».

На практике эти вопросы сводятся к топологической верификации формальных моделей, основанной на использовании методов топологии: в первую очередь, теоретико-множественной, а также алгебраической, геометрической, дифференциальной и др.

Предметом изучения общей (теоретико-множественной) топологии является обеспечение непрерывности при отображениях из одних множеств (топологических пространств) в другие. Эти отображения должны быть однозначными, при которых элемент первого множества отражается в единственный элемент второго множества: взаимно-однозначным (биективными), одно-однозначными (инъективными) или сюръективными. В противном случае непрерывность множества не обеспечивается, а значит разрываются связи между образующими его открытыми подмножествами.

При представлении в рамках общей топологии теоретической модели какого-либо объекта или процесса, она задается в виде множества связанных параметров. Преобразованию модели соответствует отображение одного множества в другое. Если это отображение взаимно-однозначное, то предшествующая и последующая модели будут тождественными по содержанию (но не обязательно по состоянию). Если отображение инъективное, то последующая модель может отличаться от предшествующей, но должна определяться теми же параметрами. Если отображение сюръективное, то последующая модель определяется меньшим числом параметров при сохранении всех связей исходной модели, но (возможно) с потерей детализации.

Развитие наук реализуется через преобразование формирующих их теоретических моделей. При этом необходимо обеспечить соответствие между моделями. Если множество параметров, определяющих модель, сохраняется или редуцируется, то обеспечение непрерывности в отображении соответствующих им множеств обеспечивается однозначностью отображения. Более сложной является задача обеспечения соответствия при усложнении модели, в частности, увеличении числа характеризующих ее параметров. В этом случае должна решаться обратная задача: отображение множества параметров последующей модели на множество параметров предшествующей модели. Возможность такого отображения означает, что последующая (более сложная, полная, детальная и т.д.) модель включает в себя предыдущую. Если отображение невозможно, следовательно, последующая модель является альтернативной и ее следует рассматривать вне связи с предшествующей.

Наглядной иллюстрацией описанного выше подхода является практика обновления программного обеспечения или замещения языка программирования его более поздней версией: функционал предшествующей реализации включается в последующую. При этом если какие-то функции утрачиваются, то обновление или замещение становятся невозможными – преемственность разрывается.

Каким критериям должно соответствовать преобразование модели для того, чтобы отображение множества параметров, соответствующего предшествующей ее реализации, однозначно отображалось в множество параметров, соответствующее последующей

реализации (или наоборот, что также допустимо)?

Любая модель объекта реального мира определяется параметрами, имеющими размерность, выраженную в принятых единицах измерения, обычно соответствующих какому-либо свойству реального мира: протяженности или длине (выражается в метрах, милях, парсеках и т.д.), инертности или массе (выражается в килограммах, фунтах, атомных единицах масс, массах Солнца и т.д.), скорости движения (выражается в метрах в секунду, скорости света в вакууме и т.д.). Иногда в качестве единиц измерения используют математические величины, не имеющие соответствия в реальном мире, например, время.

Одним из критериев, которым должно соответствовать преобразование модели для сохранения преемственности, является сохранение размерности параметров, определяющих модель. Более того, необходимо не только соответствие размерностей между предшествующей и последующей реализациями модели, но и непрерывность размерности в процессе преобразования. В случае использования для описания преобразования модели интегральных показателей, объединяющих определяющие ее параметры, их последующее однозначно определенное обратное разделение не всегда возможно, а если даже возможно и безальтернативно, все равно не является достоверным, поскольку имел место разрыв непрерывности, а модель не должна преобразовываться скачком, когда не определены промежуточные ее состояния.

Проблема разрывов при преобразовании моделей обычно возникает в случае ее высокой сложности. Исследования показали, что устойчивость модели расчет по мере снижения ее сложности. Наиболее высокой устойчивостью (и точностью) обладают линейные численные модели (предполагающие инерционное изменение параметров модели в интервале между ее фиксируемыми состояниями). В рамках общей топологии преобразование линейной численной модели представляет собой последовательность биективных отображений предшествующих множеств в мало отличающиеся от них последующие. При этом обеспечивается непрерывность отображений, а полученный после осуществления последовательности отображений (даже весьма длительной) результат является достоверным.

Построение более сложных моделей, чем линейные численные, предполагает наличие определенной структуры, построенной из элементов, связанных между собой, т.е. требует представления модели в рамках некоторого заданного формализма. Инструментом, обеспечивающим непрерывное преобразование теоретических моделей, являются функторы – отображения категорий, сохраняющие структуру. Теоретико-множественная топология напрямую функторы не использует, однако функторы активно используют совместно с алгебраической топологией [22]: для сопоставления топологическим пространствам алгебраических объектов, либо для представления непрерывных отображений посредством гомоморфизма между объектами.

Характер отображений объектов зависит от категории, к которой предлежит класс объектов. В различных категориях отображениям соответствуют разные морфизмы: в категории множеств – отображения множеств, в категории групп – гомоморфные (сохраняющие групповую структуру) отображения, в категории векторных пространств – линейные отображения, в категории топологических пространств – непрерывные отображения, в категории метрических пространств – короткие отображения и т.д.

На долгосрочную перспективу, наряду с проблематикой обеспечения преемственности при развитии и трансформации моделей знания, актуальной также является задача

конструирования языковых (или иных абстрактных) форм для трансляции смыслов между различными предметными областями (с сохранением преемственности или с переопределением смыслов). Данная задача имеет метаматематическую составляющую, связанную с представлением знаний в рамках теории категорий [23], и общесистемную составляющую, связанную с представлением знаний в рамках общей теории систем [24] посредством паттернов форм и отношений.

## **Выводы**

Резюмируем проведенное в статье исследование:

1. Сложившаяся к настоящему времени система знаний существует одновременно в нескольких альтернативных парадигмах, противоречива и в разных предметных областях описывается на взаимно-непереводимых языках.
2. Для приведения системы знаний в состояние, не препятствующее качественно адекватному представлению мироздания, необходимо выстроить несколько методологических уровней, призванных систематизировать и обобщить знания в виде иерархической структуры.
3. По мнению авторов, необходимы следующие методологические уровни: формирование иерархии аксиоматик; построение формальных теорий предметных областей на основе принятых в рамках современной научной парадигмы единообразных правил; определение методологических подходов к синтезу формальных моделей; топологическая верификация знаний на предмет обеспечения непрерывности отображений и сохранения преемственности (между ее последовательными версиями) при развитии и трансформации.
4. В основу иерархии аксиоматик должен быть положен эволюционный метод познания, исходя из которого уровни иерархии предметных областей с собственной аксиоматикой определяются соответствующими эволюционным уровням, сложившимся в мироздании. Авторы выделяют пятнадцать эволюционных уровней: метафизический, классически-механический, квантово-механический, статистически-физический, молекулярный, кристаллографический, макромолекулярный, супрамолекулярный, физиологический, эволюционно-биологический, биотический, информационно-когнитивный, социальный, интеллектуально-духовный и технический.
5. Ключевым условием построения достоверной системы знания является наилучший выбор аксиом для каждой из предметных областей. Можно выделить три критерия наилучшего выбора аксиом: эволюционность, очевидность (представимость) и парадигмальность (изоморфизм). Основным критерием является эволюционный, заключающаяся в том, что формулирование аксиом носит формальный характер свертки (инкапсуляции) знаний предшествующих эволюционных уровней для их использования в виде аксиом на последующих уровнях.
6. Инкапсуляция знаний в виде аксиом при построении системы знаний неизбежно сопровождается разрывом связей в системе знаний и частичной потерей смыслового наполнения знания. В результате в формальной системе возникает неполнота, либо противоречивость, передаваемая в наследство от ее надсистемы, часть смыслов которой на уровне системы оказывается потеряна.
7. Методология синтеза формальных моделей складывается из нескольких необходимых составляющих: определения вторичных законов объектов, относящихся к задаче

моделирования; интерпретации последовательности синтеза формальных моделей в виде языковой конструкции для определения «широкого места» в синтезе и определения семантических ограничений вариативности синтаксиса. Вторичные законы объектов для моделирования – это закон устойчивого моделирования объектов, закон сохранения паттернов, закон расхождения модели и познаваемого объекта, а также правила описания и синтеза моделей объектов.

8. Для определения наличного инструментария для построения формальных моделей большое значение имеет построение развернутой классификации формальных моделей по максимально широкому набору критериев. Авторами сформулированы следующие критерии классификации формальных моделей: по размеру моделируемого объекта или системы, по назначению (структурные, функциональные и целевые), по отношению ко времени (статические и динамические), по характеру обеспечения устойчивости (равновесные и неравновесные), по степени детерминированности (детерминированные и недетерминированные), по стадии формирования модели (концептуальные или содержательные, аналитические, конструктивные и инструментальные), по методам моделирования (описательные, имитационные и аналоговые), по структуре областей определения и значений функций (непрерывные, дискретные и непрерывно-дискретные), по полноте меры описания (полные, качественные и количественные).

9. Развитие и трансформация анализируемых моделей актуализирует проблему их верификации, на практике осуществляющую в рамках общей, алгебраической и др. разделов топологии.

10. Построение более сложных моделей, чем линейные численные, предполагает наличие определенной структуры, построенной из элементов, связанных между собой, т.е. требует представления модели в рамках некоторого заданного математического формализма. Инструментом, обеспечивающим непрерывное преобразование теоретических моделей, являются функторы – отображения категорий, сохраняющие структуру.

## **Библиография**

1. Грибков А.А. Вторичные паттерны форм и отношений: постановка задачи и определение методологических подходов // Философия и культура. 2025. № 6. С. 15-29. DOI: 10.7256/2454-0757.2025.6.74932 EDN: RBVHCT URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=74932](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=74932)
2. Клини С.К. Введение в метаматематику. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. 526 с.
3. Келли Дж. Общая топология. Пер. с англ. М.: Наука, 1981. 432 с.
4. Грибков А.А. Эмпирико-метафизическая общая теория систем: монография. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2024. 360 с. DOI: 10.17513/np.607. EDN: QTOCDS.
5. Аристотель. Сочинения в четырех томах. М.: "Мысль", 1976–1983.
6. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: "Мир", 1976. 165 с.
7. Флейшман Б.С. Основы системологии. М.: "Радио и связь", 1982. 368 с.
8. Кириллов Н.П. Концептуальные модели технических систем с управляемыми состояниями: обзор и анализ // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. Т. 4. С. 81-91. EDN: PXGUWD.
9. Новиков С.П. Топология. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 336 с.

10. Букур И., Деляну А. Введение в теорию категорий и функторов. Пер. с англ. М.: Мир, 1972. 259 с.
11. Голдблatt R. Топосы. Категорный анализ логики. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 488 с.
12. Математическая логика и основания математики: Сборник переводов / Под ред. А.В. Идельсона и Г.Е. Минца. М.: Наука, 1967. 351 с.
13. Кейслер Г., Чэн Ч.Ч. Теория моделей. Пер. с англ. М.: Мир, 1977. 615 с.
14. Смирнов С.В. Онтологии как смысловые модели // "Онтология проектирования". 2013. № 2. С. 12-19. EDN: QICWND.
15. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Имитационное моделирование: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 280 с. EDN: QMSBGL.
16. Бурилина М.А., Ахмадеев Б.А. Анализ многообразия архитектур и методов моделирования децентрализованных систем на основе агент-ориентированного подхода // Креативная экономика. 2016. Т. 10. № 7. С. 829-848. DOI: 10.18334/ce.10.7.35364. EDN: WFIUCH.
17. Railsback S.F., Grimm V. Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction. 2nd ed. Princeton University Press, 2019. 360 p.
18. Burgin M. Systems, Actors and Agents: Operation in a multicomponent environment. 2017. 28 p. URL: arXiv:1711.08319.
19. Зеленский А.А., Грибков А.А. Акторное моделирование когнитивных систем реального времени: онтологическое обоснование и программно-математическая реализация // Философская мысль. 2024. № 1. С. 1-12. DOI: 10.25136/2409-8728.2024.1.69254 EDN: LVEGUM URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=69254](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=69254)
20. Shah V., Vaz Salles M.A. Reactors: A case for predictable, virtualized actor database systems // International Conference on Management of Data. 2018. С. 259-274.
21. Парижская Е.Ю. Сравнительный анализ математических моделей и подходов к моделированию и анализу непрерывно-дискретных систем // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 1997. № 1. С. 91-120. EDN: VEGEAJ.
22. Спенъер Э. Алгебраическая топология. Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 680 с.
23. Маклейн С. Категории для работающего математика. Пер. с англ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 352 с. EDN: QJMIXL.
24. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. М.: "Мысль", 1978. 272 с.

## **Результаты процедуры рецензирования статьи**

*В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.*

*Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).*

Рецензуемая статья представляет собой очень сложное исследование, посвящённое проблемам систематизации научного знания, связанным с выстраиванием моделей различной степени общности и поиску путей их координации. Знакомство с содержанием статьи требует от читателя не только базовой эрудиции в области истории науки и методологии современного научного познания, но и внимания и усердия в освоении исключительно сложных построений, нашедших отражение в тексте. В некоторых отношениях статья может рассматриваться как обобщающая, поскольку авторы ссылаются на уже опубликованные работы и стремятся согласовать их результаты. У рецензента нет оснований сомневаться в основательности представленного подхода и возможностях его дальнейшего развития; думается, полученные результаты могли бы стать предметом заинтересованной дискуссии специалистов в области философии и методологии научного познания, истории науки, методологии современного естествознания. Возможно, имеет смысл подготовить тематический выпуск журнала, в

котором можно было бы собрать отзывы ведущих специалистов на работы авторов статьи. Что же касается представленной работы, хотелось бы пожелать авторам ещё раз проверить текст и устраниТЬ некоторые неточности и ошибки, а также постараться в некоторых случаях переформулировать положения, поскольку, на взгляд рецензента, в их сегодняшней формулировке трудно усмотреть какой-то смысл, причиной чего, предположим, являются упущения стилистического характера. Приведём лишь несколько примеров, чтобы проиллюстрировать, какие поправки необходимо внести в текст. Так, авторы пишут: «Система знаний – динамическое построение, находящееся в состоянии постоянного изменения и развития», и с это, безусловно, верно, однако, тут же они утверждают, что их исследования нацелены на то, чтобы обеспечить «целостность представления мироздания: каждая составляющая знания в виде локальной модели, интегрированной в систему знаний, получает свое определенное место, роль и однозначную связь с другими локальными моделями». Нет, давайте всё же согласимся, что «целостность представления мироздания» – недостижимый идеал, и поиск связей между «локальными моделями» подобной «целостности» не обеспечивает, тем более, что система знания постоянно находится в процессе преобразования, – сами же авторы говорят о «динамическом построении»! О чём здесь можно говорить? О том, что авторы выдают идеал научного познания за достижимое состояние в процессе развития науки? Или о том, что они переоценивают свои силы, претендуя, в действительности, лишь на создание некоего алгоритма построения знания как целого? Или имеет место неудачная формулировка? К сожалению, подобные случаи встречаются в тексте не единожды. Далее, выше было сказано, что в некоторых случаях вообще невозможно понять смысл предлагаемых авторами формулировок, и вот такой пример: «...возможность описания мироздания посредством соотнесения с последовательностью эволюционных этапов в структурообразовании реального мира». А разве «мироздание» есть нечто иное, чем «последовательность эволюционных этапов в структурообразовании реального мира»? «Соотносить» можно только то, в чём имеются сущностные различия... Вот если бы речь шла о том, чтобы представить «мироздание» в качестве «последовательности эволюционных этапов в структурообразовании реального мира», то такая формулировка была бы понятна, хотя она и не несла бы никакой «революционности», всякий читатель с этим положением согласится. Одним словом, следует заново проверить весь текст на наличие подобных выражений, препятствующих пониманию смысла, который, может быть, предполагалось в них внести. Наконец, следует проверить стилистику и пунктуацию, особенно часто встречаются лишние запятые («образ мироздания, как модели реальности...», «мироздание, как модель...» и т.п.). Несмотря на то, что текст нуждается в уточнениях, статью можно рекомендовать к публикации.