

## Метод компьютерного моделирования в логической структуре научного познания

**А. В. Гулай,**

кандидат технических наук, доцент, лауреат  
Государственной премии,  
кафедра интеллектуальных систем БНТУ;

**А. И. Тесля,**

кандидат педагогических наук, доцент,  
кафедра социальной работы БГПУ

*Одним из актуальных и значимых научных направлений сегодня представляется исследование, создание и использование компьютерных систем поиска знаний [1]. На общем фоне данной проблемной ситуации выделяется изучение метода компьютерного моделирования как наиболее эффективной и динамично развивающейся технологии формирования новых знаний. В связи с этим появляется необходимость в рассмотрении комплекса методологических вопросов построения и анализа человеко-машинных поисковых систем [2]. Особый интерес представляет методологическое осмысление роли и места компьютерного моделирования в логической структуре научного познания.*

Развитие новейших тенденций в научном познании, в частности широкое использование компьютерного моделирования, накладывает определенный отпечаток на логическое представление структуры познавательного процесса. Достаточно высокий методологический уровень такой познавательной процедуры, как компьютерное моделирование позволяет встраивать его в логическую структуру познания в качестве отдельного, самостоятельного компонента процесса приобретения знаний. Речь идет не только о том, чтобы ввести разработку компьютерных моделей в схему инновационных, познавательных практик, но и об установлении роли и значения компьютерного моделирования в теоретических построениях, определении его места в процессе создания новых теорий в многомерной структуре знания.

В ряду методологических принципов создания компьютерных систем инновационного поиска выделено понятие симметрии как основание анализа закономерностей развития современного научного знания. При этом достаточно четкое трактование симметричных соотношений между логическими процедурами познания достигается при анализе симметрии ретроспективного и прогностического моделирования относительно момента исследования (момента «теперь»). Процессы прошлого (ретросказание), равно как и будущего (предсказание), моделируются на основе закономерностей развития изучаемого явления в определенном промежутке времени, который представляет собой указанный масштабированный «момент» исследования. По результатам моделирования выполняется описание

и производится объяснение с привлечением теории, воплощенной в использованной модели.

Потребность в углублении анализа данной проблемы повышается, когда теория не может обеспечить достаточно согласованное описание, объяснение, с одной стороны, и предсказание, ретросказание – с другой, т. е. когда описания какого-либо события, явления и достоверные сведения об этом факте оказываются несовместимыми. Это относится к тем случаям, когда ретросказание неадекватно отражены в существующих описаниях или когда возникающее событие не совпадает с его предсказанным описанием. При этом объяснение достигается построением новой теории, которая позволяет таким образом переформулировать описания, полученные с использованием существующей теории, и построить такие предсказания и ретросказания, чтобы в итоге получить не содержащую противоречий систему логических положений.

### Структура научного познания в координатах многомерного научно-исторического времени

Для определения места компьютерного моделирования в структуре научного познания обратимся к представлениям о двухмерном времени, которые впервые были введены в философии М. Хайдеггера [3]. В двухмерном отображении времени одной осью координат служит субъективное время, а другой – общественно-историческое. В субъективном времени возникают обычные человеческие представления о прошлом, настоящем и будущем, а общественно-историческое время отмечено сменой эпох, укладов, формаций. При этом все точки на оси субъективного времени соотносятся с определенными моментами общественно-исторического времени, а различным стадиям исторического процесса соответствует разное индивидуальное восприятие времени.

В анализе проблемы построения логической схемы познавательной ситуации речь идет не о практике общественного человека в общем смысле, а о конкретной форме деятельности – научной. Поэтому в качестве аналога общественно-исторического времени в случае научной деятельности рассматривается научно-историческое время [4]. На его координатную ось «наносятся» результаты научных объяснений, т. е. в этом времени протекают эволюционные процессы развития знания, совершаются переходы от одной теории к другой. В нем упорядочиваются факты, имеющие историко-научную ценность и значимость, те описания, которые приводят к объяснениям, сопровождающимся углублением научного знания.

При введении указанных временных координат анализируется восприятие мира не конкретным человеком «своего определенного времени», а «условным (виртуальным) исследователем», поэтому аналогом субъективного времени при рассмотрении процедур познания служит так называемое исследовательское время. Каждый период научно-исторического времени соот-

ветствует своему переживанию событий исследователем, т. е. соотносится с конкретными точками исследовательского времени. Разумеется, научно-историческое время определенным образом структурировано и характеризуется изменением господствующих научных представлений о мире, последовательной сменой научных эпох [5].

Понятие научной эпохи связано с определенным каноном, на основе которого строится мир науки на соответствующем этапе ее исторического развития. Этим каноном выступает конкретный тип научного объяснения действительности, который, будучи общим для данной эпохи, устойчиво проявляется в развитии основных научных направлений. Указанный тип научного объяснения обуславливает определенные стандартные представления в контекстах всех фундаментальных теорий своего времени. Одним из таких стандартных представлений считается, например, механический детерминизм XVIII в., который в XX в. сменился вероятностно-статистической, а затем синергетической (нелинейной) стилевой установкой в научном мышлении.

В целом тип научного объяснения определяется сложившейся структурой фундаментальных понятий естествознания, конкретизирующей систему диалектических категорий и принципы логического построения знаний. Он проявляется также в особом способе видения мира, в трансформации научного знания, т. е. выступает в качестве характерной черты процесса построения научной картины мира. Научное знание воплощается также в развитии доминирующих научных теорий, при этом в науке вырабатывается некоторая модель научного объяснения, в качестве которой выступает определенная фундаментальная теория. Эта модель научного объяснения канонизируется в стандартных представлениях господствующей теории, приобретает силу традиции, именуемой сегодня парадигмой.

Парадигма вводит критерий селекции возникающих в познании проблем, связывает выбор определенной проблемы с осмыслением процедур ее эффективного решения, поэтому каждая эпоха в истории науки выдвигает свои парадигмы. Типичной парадигмой для начальной фазы развития классического естествознания была модель явлений, воплощенная в образе часов. В эпоху Возрождения часы рассматривались как модель Вселенной, как образец мироустройства и принцип его объяснения. В XVII в. и первой половине XVIII в. статус парадигмы приобретает модель солнечной системы как образец демонстрации центральных сил, характеризующих взаимодействие не только небесных, но и других материальных объектов. В объеме указанной парадигмы почти все разделы физики этой эпохи в той или иной степени были основаны на имитации законов небесной механики.

Для высшей стадии развития классической картины мира (конец XVIII–XIX в.) характерна парадигма гидродинамических образов со свойственными ей чертами непрерывности, бесконечности, дифференцированности, динамичности. На основе этой парадиг-

мы, кроме гидродинамики, развивались термодинамика и электродинамика, механика волновых процессов, теория упругости, динамика сплошных сред и другие научные направления. Для современного периода научно-технического развития характерна парадигма, связанная с кибернетическим образом стохастического автомата. Этот кибернетический образ реализуется не как представление об определенных материальных объектах, конкретных технических устройствах – он касается прежде всего представлений об абстрактном стохастическом «автомате». В этом смысле парадигма современного научного знания определяется рамками принципиальных возможностей и способностей стохастического автомата создать продуктивную модель мышления, использование которой позволит адекватно описать наиболее существенные черты современной научной картины мира.

Одними из основных свойств научно-исторического времени являются его анизотропия, неоднородность. Они проявляются, например, в представлениях о росте энтропии с течением времени, о воздействии прошлого на будущее и об отсутствии обратного воздействия. Анизотропия времени обнаруживается также на уровне методологических принципов научного познания. В частности, согласно принципу соответствия формирующееся знание с течением времени образует такую систему, в которой предшествующие теории с появлением новых более общих теорий не устраняются, но сохраняют свое значение как предельная форма и частный случай новых теорий.

Наиболее значимым свойством научно-исторического времени в нашем рассмотрении выступает его нелинейность, обусловленная неравномерностью процесса развития научного знания. Данный нелинейный процесс можно представить как последовательность циклов постепенного изменения переменной состояния в процессе развития со скачкообразным переходом состояния в конце цикла на новый уровень, означающий начало нового цикла развития знания. Процесс развития научного знания, связанный со сменой теорий в результате их фальсификации в концепции эволюционной эпистемологии К. Поппера [6], или как смена парадигмы в результате научной революции в соответствии с гипотезой Т. Куна [7], складывается из следующих этапов. Вначале проявляется несоответствие между реальностью, требующей объяснения, и теоретическим знанием (проблемная ситуация по К. Попперу; накопление аномалий по Т. Куну). Затем следует выбор одной из множества конкурирующих гипотез: разрешение проблемы по К. Попперу; смена парадигмы по Т. Куну.

В свою очередь прогностическая практика приводит к ряду временных эффектов, влияющих на симметрию процесса познания. Модель предсказания обычно развивается быстрее прогнозируемого оригинала, что означает возможность существования разных масштабов времени. Наконец, в практике прогностического моделирования проявляется присущая сложным системам нелинейность времени. Наличие этого эффекта обусловлено динамикой развития, неодинаковой скоростью роста числа событий и объемов информации. Так, в случае

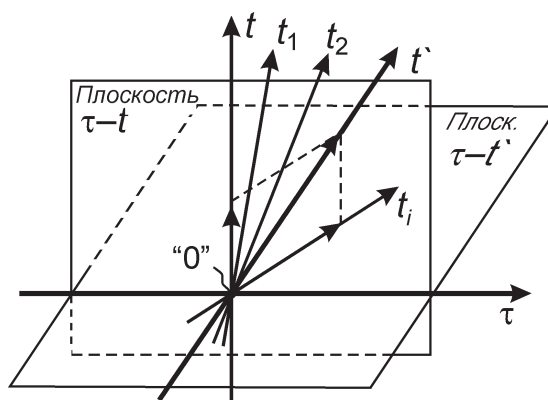


Рис. 1. Многомерность научно-исторического времени при экспликации логической структуры познания

линейного роста его временные темпы относительно любой точки, в том числе момента настоящего, симметричны. Однако в случае нелинейного развития темпоральная симметрия нарушается, и будущие события по своим темпам уже не похожи на события прошлого. Более того, реконструкция прошлых событий опирается на весьма надежные индикаторы достоверности моделирования (известные явления), которые отсутствуют при конструировании будущих моментов или могут быть представлены только как предполагаемые.

Осмысление многомерного представления о мире, т. е. представления в рамках разных познавательных практик [2], требует введения многомерного научно-исторического времени. Особое восприятие и понимание мира, формируемое в пределах каждого из многочисленных когнитивных направлений, отмечается соответствующей координатной осью исторического времени. Последняя переориентирует ось научно-исторического времени, тем самым характеризуя модификацию представлений исследователя о тех или иных событиях и явлениях.

Вышеизложенное можно пояснить с помощью графического изображения взаимно ортогональных координат научно-исторического  $t$  и исследовательского  $\tau$  времени (рисунок 1). В зависимости от результатов введения знаний определенных когнитивных областей в исследовательский процесс формируются дополнительные координатные оси исторического времени  $t_1, t_2, \dots, t_i$ . Результирующая временная ось  $t'$  представляет собой векторную сумму первоначальной оси научно-исторического времени  $t$  и тех или иных векторов времени  $t_1, t_2, \dots, t_i$  соответствующих определенным когнитивным направлениям. В итоге структура логических процедур научного поиска перемещается из плоскости  $\tau-t$  в плоскость  $\tau-t'$ . Здесь вполне уместно вести речь о многомерности научно-исторического времени как об одном из его основных свойств, проявляющихся в исследовательском движении, в том числе в процедурах компьютерного моделирования (рисунок 1).

#### Процедура компьютерного моделирования в структуре логических построений научного поиска

Современная идея моделирования, подсказанная математической логикой, заключается в том, чтобы рас-

сматривать модели как воплощение формальных теорий. При изучении природного или социального явления (объекта) существует теоретическая концепция этого объекта, и сам он рассматривается как представитель класса объектов, для которых справедлива эта концепция. В процессе моделирования проводится сопоставление объекта не только с математически подобным ему объектом – моделью, но и с теоретической концепцией, а также с другими объектами, соответствующими этой концепции. Введено достаточно строгое понятие модели в том смысле, в каком оно употребляется в математической логике, а также установлено соотношение между моделью и теорией [8]. Так, в математике модель – это некоторое множество с заданным на нем набором отношений. В эмпирических и технических науках рассматривается специальный класс моделей, в которых на исходном множестве заданы некоторые числовые функции, а отношения выражаются через значения этих функций. Например, замкнутая система рассматривается как модель, в которой исходным множеством являются состояния системы, числовые функции соответствуют наблюдаемым величинам, а отношения выражаются уравнениями движения системы.

Содержательно понятие теории, воплощением которой является модель, выражает некоторое качество, присущее определенному классу моделей. С учетом вышеизложенного представляется, что теория – это набор отношений и свойств этих отношений, а реализующая ее модель – множество, на котором заданы соответствующие отношения и реализованы требуемые свойства [8]. Роль моделей играют как реально существующие в природе, так и создаваемые искусственно (например, с помощью компьютерной техники) объекты, а также некоторые абстрактные множества с отношениями. Изложенные соображения подходят не только для анализа статических ситуаций, но могут быть развиты и для описания динамических систем, которые представляются как множества состояний элементов изучаемого объекта. При этом отношения определяются как между одновременными состояниями, так и между состояниями в смежные моменты времени. С этой точки зрения интерпретируются, в частности, процедуры ретроспективного и прогнозистического моделирования.

Использование философско-методологического подхода к рассмотрению методов ретроспективного и прогностического моделирования как равноправных элементов системы научного знания связано с осмыслением категорий прошлого, настоящего и будущего в пространстве формируемых моделей [9]. Анализ процедуры моделирования показывает, что между прошлым, настоящим и будущим в процессе развития знания не может быть никаких принципиальных разрывов. В данном случае применим системный принцип целостности: единая, целостная трактовка изучаемого объекта требует системного учета его прошлого, настоящего и будущего в их сложной взаимосвязи. При этом настоящее понимается не как кратчайший миг в истории моделируемого объекта, не как точка на оси времени, но скорее как некая временная протяженность, включающая в себя явные следы прошлого, а также фрагменты предвидимого будущего. При таком подходе метод моделирования обладает значительной объединяющей силой, влияющей на интеграцию наук, изучающих сегодняшние проблемы, и наук о прошлом и будущем.

Значимым этапом компьютерного моделирования является предварительный системно-качественный анализ изучаемой сложной системы [10]. Такая система характеризуется неоднородностью структуры, мультиразмерностью элементов, неопределенностью состояний, множественностью связей, сложностью формализации. Задача осложняется также тем, что исходная информация об изучаемом объекте может содержать включения в виде неформализуемых предпосылок и концептуальных элементов. На этом этапе упорядочивается исходная информация, выделяются существенные параметры системы в соответствии с ценностно-целевыми установками исследователя и его творческими способностями, а также обоснованный критерий, с помощью которого выполняется декомпозиция системы, т. е. вычлениваются имманентно присущие ей элементы и способы их связи.

Методы декомпозиции основаны на разложении исходной системы на подсистемы, для каждой из которых решается подзадача моделирования меньшей размерности. Поскольку подсистемы взаимосвязаны, то общее решение, как правило, невозможно получить путем изолированного решения таких подзадач. В результате формируется система, имеющая иерархическую структуру, а отсутствие единой модели сложного объекта исследования определяет необходимость мультимодельного подхода. Большое значение для реализации системного компьютерного моделирования приобретают вопросы определения структуры системной модели, т. е. установления критериев выделения системы в объекте и определения системообразующих факторов.

Следующим этапом в компьютерном эксперименте является построение модели путем формализации выделенной структуры объекта исследования, определения его связей и отношений. Существенную роль в постановке и решении проблемы формализации модели играет степень полноты исходной информации. Формализованная модель строится на неполной исходной информации,

которая, будучи получена заранее, теряет свою достоверность вследствие ее случайных изменений в реальных условиях. Моделирование сложных динамических объектов также требует последовательного усовершенствования формализованной модели реального сложного объекта в целях более полной характеристики его содержания. Итеративные процедуры выполняются на основе текущей информации, которая извлекается в результате наблюдений за развитием объекта исследования.

При компьютерном моделировании выполняется расчет нескольких вариантов развития объекта для различных значений его существенных параметров. Это позволяет проводить более полное исследование сложного объекта в рамках принятой формализованной модели, учитывающей дополнительные эффекты развития объекта и оценку границ применимости первоначальной модели. В процессе компьютерного эксперимента деформируется часть первоначальной информации, поэтому возможна содержательная интерпретация полученных результатов моделирования. Именно это обстоятельство делает возможным осуществление обратной связи между этапом качественного анализа имеющейся информации и компьютерным экспериментом. Более того, в результате обратной связи модифицируется теория, воплощением которой выступает компьютерная модель.

В методе компьютерного моделирования формализованное и неформализованное определенным образом сочетаются: они составляют органическое единство, при этом для них характерны процессы взаимопроникновения и взаимозамещения. Сначала выступает неформализованное знание, затем производится формализация модели, после чего следует неформализованная интерпретация результатов моделирования. Наличие неформализуемых элементов обуславливает включение в модель такого компонента, как «исследователь», который призван осуществлять взаимодействие формализованных и неформализованных элементов системной модели.

---

Активное участие исследователя в процессе компьютерного моделирования – принципиальная черта данного метода познания, а не временный недостаток, который может быть устранен с развитием компьютерной техники. Идея комплексного анализа взаимодействия человека и машины является одной из основных посылок системного компьютерного моделирования.

---

Эта концепция развилась в создание человеко-машинной интеллектуальной среды, привела к формулированию задач выявления и описания биотехнических и психофизических аналогий в компьютерном моделировании [1]. Такой подход соответствует современным представлениям о месте компьютерного моделирования в научном познании, когда объективная истина о реальности и ценностно-целевая установка исследователя выступают в неразрывном единстве.



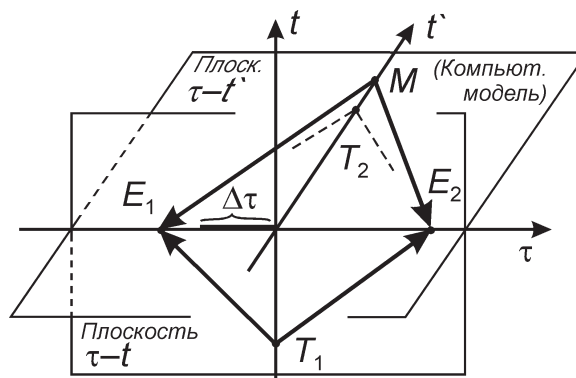


Рис. 2. Метод компьютерного моделирования в логической структуре научного познания

В соответствии с задачей нашего исследования в симметричную схему соотношения логических процедур познания (предсказания, ретросказания и описания, объяснения) вводится метод компьютерного моделирования (рисунок 2). В этой схеме  $\tau$ ,  $t$  ( $t'$ ) – соответственно исследовательское и научно-историческое время;  $E_1$ ,  $E_2$  – сведения о некоторых событиях  $E$ , полученные в результате ретросказания и предсказания соответственно;  $T_1$  – существующая теория, в рамках которой совершается ретросказание или предсказание;  $T_2$  – новая теория, обеспечивающая достоверное объяснение событий. На оси научно-исторического времени располагается также процедура компьютерного моделирования  $M$ , основанная на теоретических представлениях  $T_2$  и являющаяся воплощением данной теории. Стрелками, направленными от  $T_1$  и  $M$  к  $E_1$ ,  $E_2$ , обозначены отношения логического вывода. Вывод посредством теории  $T_1$  и на основе моделирования  $M$  положений  $E_1$ , а также вывод посредством  $T_1$  и  $M$  положений  $E_2$  представляет собой соответственно ретросказание и предсказание, причем вывод при построении модели  $M$  служит адекватным объяснением. Здесь  $\Delta\tau$  – длительность процесса компьютерного моделирования, который располагается на оси исследовательского времени (рисунок 2).

Как следует из анализа предложенной схемы, ретросказание и предсказание симметричны относительно оси научно-исторического времени  $t$ . Различие между этими процедурами заключается лишь в том, что в случае ретросказания моделирование  $M$  производится после того, как события  $E$  произошли, а в случае предсказания построение модели  $M$  предваряет наблюдение событий  $E$ . При этом вводится асимметрия рассматриваемой структуры научного познания относительно оси исследовательского времени  $\tau$ , поскольку исследование переносится из плоскости  $\tau-t$  в плоскость  $\tau-t'$ . Исследовательский процесс «создание теории – разработка модели – логический вывод» каждый раз повторяется при построении новой теории и модели и при переносе момента исследования (условной точки «0») вдоль оси научно-исторического времени.

Элементы асимметрии в предложенную схему познавательного процесса вносит то обстоятельство, что компьютерное моделирование выполняется на основе представления закономерностей развития изучаемого явления в течение определенного промежутка време-

ни, который условно назван моментом «теперь». Достаточно протяженный временной промежуток «теперь» располагается в прошлом времени относительно момента исследования, и условной точкой «0» на временной оси считается момент окончания данного промежутка. При этом в предсказании моделируемый процесс имеет началом уровни исследованных параметров в момент «теперь», а в ретросказании моделируемые зависимости заканчиваются известными для этого момента значениями.

#### Список литературы

1. Колешко, В. М. Эпистемология интеллектуальных систем научного поиска / В. М. Колешко, А. В. Гулай, В. А. Гулай // Вестник БНТУ. – 2009. – № 4. – С. 87–99.
2. Колешко, В. М. Когнитивная многомерность – основа синергизма интеллектуальной технологии поиска знаний / В. М. Колешко, А. В. Гулай, В. А. Гулай // Высшая школа. – 2010. – № 2. – С. 20–25.
3. Гайденок, П. П. Проблема времени в онтологии М. Хайдеггера / П. П. Гайденок // Вопросы философии. – 1965. – № 12. – С. 109–120.
4. Печенкин, А. А. Симметрия и структура познания / А. А. Печенкин // Принцип симметрии. – М.: Наука, 1978. – С. 89–121.
5. Крымский, С. Б. Научное знание и принципы его трансформации / С. Б. Крымский. – Киев: Наукова думка, 1974. – 208 с.
6. Поппер, К. Логика социальных наук / К. Поппер // Эволюционная эпистемология и логика социальных наук. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – С. 298–313.
7. Кун, Т. Структура научных революций / Т. Кун. – М.: Прогресс, 1977. – 300 с.
8. Шрейдер, Ю. А. Системы и модели / Ю. А. Шрейдер, А. А. Шаров. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
9. Кацура, А. В. Методологические особенности прогнозистического моделирования / А. В. Кацура // Философско-методологические основания системных исследований. – М.: Наука, 1983. – С. 198–221.
10. Новик, И. Б. Логика научного познания и метод моделирования / И. Б. Новик, Н. М. Мамедов, Н. А. Давтян // Философско-методологические основания системных исследований. – М.: Наука, 1983. – С. 156–179.