

УДК 510.67

*В.Н. Волкова, Л.В. Черненкокая, В.Е. Магер*

## **КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ**

*V.N. Volkova, L.V. Chernenkaya, V.E. Mager*

### **CLASSIFICATION OF MODELS IN SYSTEM ANALYSIS**

Приведен краткий анализ существующих подходов к классификации моделей. Предложена концепция классификации моделей по методам моделирования. Дана характеристика направлений и методов моделирования, включенных в структуру предлагаемой классификации.

**СИСТЕМА. МОДЕЛЬ. КЛАССИФИКАЦИЯ. ПРИЗНАКИ КЛАССИФИКАЦИИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО МЕТОДАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ.**

Brief analysis of existing approaches on models' classification provided. The concept for classification of models is offered. Characteristics of orientations and methods of modelling, included in the proposed structure of classification, are submitted.

**SYSTEM. MODEL. CLASSIFICATION. CRITERIA OF CLASSIFICATION. MATHEMATICAL MODELLING. CLASSIFICATION ACCORDING TO METHODS OF MODELLING.**

Системы, процессы, устройства, явления могут быть представлены различными видами моделей. Необходимость в моделировании чаще всего обусловлена задачей прогнозирования поведения сложных систем, специфика которых не позволяет проводить их натурные исследования или испытания. Выбор методов моделирования является важной и сложной задачей. От грамотного выбора зависят сложность модели, ее адекватность, трудозатраты, связанные с ее реализацией. В данной статье мы ставим перед собой задачу упорядочения имеющейся в монографиях и учебных изданиях информации об укрупненных классах моделей, применяемых в теории и практике системного анализа, для упрощения процедуры выбора адекватной модели, максимально соответствующей конкретной задаче проектирования сложного техни-

ческого или социально-экономического комплекса.

Для выбора моделей разработаны их классификации. Классификацией в общем понимании называется разбиение объектов на классы по наиболее существенным признакам. Цель классификации:

ограничить выбор подходов к отображению системы;

сопоставить выделенным классам методы системного анализа;

сформировать общие рекомендации по выбору методов для соответствующего класса систем.

Обратимся к терминологии. Согласно определению Карла Людвиг фон Берталанфи (1901–1972), основоположника теории систем, «система — это совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой». При этом

система, в принципе, может быть одновременно охарактеризована несколькими признаками, т. е. ей может быть найдено место одновременно в разных классификациях, каждая из которых может оказаться полезной при выборе методов моделирования.

В свою очередь, модель также представляет собой некоторую систему, исследование которой служит средством для получения информации об объекте исследования (другой системе). В своей книге «Основы системного анализа» Ф.П. Тарасенко пишет: «Будучи системой, модель обладает всеми ... общесистемными свойствами. Отличительная особенность моделей от других систем — в их предназначенности отображать моделируемый оригинал, заменять его в определенном отношении, т. е. содержать и представлять информацию об оригинале. Модель является, следовательно, *формой существования знаний об объекте*». Таким образом, *модель* (фр. *module*, от лат. *modulus* — «мера, аналог, образец») — это описание системы (математическое, вербальное и т. д.), отображающее определенную группу компонентов системы, их свойств и отношений, существенных для управления системой.

Выбор типа модели зависит от целей моделирования, а также от объема и характера исходной информации о рассматриваемом объекте и возможностей исследователя. Для одного объекта (или исследуемой системы) могут быть построены несколько моделей, если решаются разные задачи, приводящие к разным целям моделирования. Выбор конкретного вида модели и ее дальнейшая реализация зависят от квалификации исследователя, но также связаны с его личностными предпочтениями, отражающими сферу научных интересов, глубину понимания и опыт моделирования. Для одного и того же объекта разные исследователи могут построить разные модели, даже если поставленная задача моделирования однотипна.

С другой стороны, для разных объектов могут быть построены модели одинакового вида, вне зависимости от личности исследователя или его предпочтений, которые он хочет воплотить в ходе моделирования. От-

сюда вытекает двойственный характер цели моделирования: цель объективна, поскольку определяется задачей исследования, но субъективна, т. к. ее корректирует «под себя» конкретный исследователь в зависимости от имеющего опыта и индивидуальной мотивации.

Связь между объектом и его моделью носит опосредованный характер, поскольку между ними располагается системное описание объекта. Моделирование всегда предполагает принятие допущений той или иной степени важности, поэтому уже на этапе формирования системного описания могут быть «отсечены» важные несущественные свойства объекта. Состав этих свойств определяется субъективной стороной процесса моделирования, например, они могут находиться вне интересов конкретного исследователя. Однако логично считать, что если системное описание объекта позволяет однозначно восстановить объект, то модель, построенная на базе такого системного описания, можно назвать системной моделью объекта.

В любой задаче моделирования существует некоторый порог сложности, переступить который можно только ценой отказа от требований точности решений. Например, при компьютерной реализации решения многоэкстремальных задач точные методы их решения могут оказаться экономически невыгодными по сравнению с более простыми приближенными методами. Эффект, полученный от уточнения решения, не окупит дополнительных затрат на его отыскание. К этому следует добавить стоимость получения результатов моделирования, включающую стоимость разработки модели и цену получения требуемой информации. Таким образом, необходимо определить оптимум между выполнением требований к адекватности модели, ее точности, целесообразности, обеспечением качества построенной модели, с одной стороны, и затратами, необходимыми для достижения этих требований, с другой.

Оценка и обеспечение качества модели может быть выполнена на уже построенной модели. Поэтому *качество модели* должно быть «заложено» в нее еще на этапе выбора

типа модели и базироваться на опыте исследователя, о котором сказано выше. Для структурированной аккумуляции такого опыта исследователь должен быть подготовлен к оценке параметров (показателей) качества, которыми он будет руководствоваться в будущем.

Важнейшим показателем качества модели, определяющим недопустимость «отсечения» некоторых свойств объекта, которые могут попасть в разряд несущественных, мы считаем *системную информативность модели*. В этом случае модель можно символически отобразить как носитель информации об оригинале (объекте):

$$J_{\text{def}} \equiv \langle Q, N, L, IS \rangle,$$

где  $Q$  – оригинал (объект, источник информации);  $N$  – субъект («наблюдатель» по Эшби), т. е. лицо, которому потребовалась информация об оригинале для достижения целей (исследования, принятия решения и др.);  $L$  – язык для исследования гносеологических аспектов отношения «модель – оригинал»;  $IS$  – инфраструктура, обеспечивающая моделирование, включающая технологии и условия моделирования [3].

Совокупность технологий в инфраструктуре представлена как

$$\text{TECH} = \{\text{METH}, \text{MEANS}, \text{ALG}, \dots\},$$

где METH – методы; MEANS – средства; ALG – алгоритмы, выбранные для реализации модели.

Условия существования модели определяются совокупностью факторов, влияющих на ее создание и функционирование, которые разделяются на внешние и внутренние:

$$\text{COND} = \{\varphi_{\text{ex}}, \varphi_{\text{in}}\}.$$

Приведенное выше символическое представление модели в формализованном виде не учитывает функционирования системы и ее взаимоотношения со средой. Чтобы учесть это взаимодействие, модель можно представить в виде множества величин, описывающих процесс функционирования реальной системы и образующих в общем случае следующие подмножества:

совокупность  $x_i \in X$ ,  $i = 1 \dots n_x$  – входных

воздействий  $X$  на  $S$ ;

совокупность воздействий внешней среды  $v_l \in V$ ,  $l = 1 \dots n_v$ ;

совокупность внутренних (собственных) параметров системы  $h_k \in H$ ,  $k = 1 \dots n_h$ ;

совокупность выходных характеристик системы  $y_j \in Y$ ,  $j = 1 \dots n_y$ .

Рассмотрим методы классификации моделей.

Исходно все модели делились на две группы: физические и абстрактные. *Физические* модели эквивалентны или подобны оригиналу, но имеют другую физическую природу. Их делят на натуральные, квазинатуральные, масштабные, аналоговые. *Физические* модели широко применяются при проектировании технических устройств и систем.

Абстрактное представление системы заключается в создании умозрительных образов или моделей материальных систем, которые подразделяются на описательные (логические) и символические (математические). *Логические* модели есть результат дедуктивного или индуктивного представления материальных систем. Это системы понятий и определений (совокупность представлений) о структуре, об основных закономерностях состояний и о динамике материальных систем.

*Символические* модели представляют собой формализацию логических и включают:

статические математические модели – описание материальных систем средствами математического аппарата (уравнениями состояния);

динамические математические модели, которые можно рассматривать как математическую формализацию процессов материальных (или абстрактных) систем.

К средствам абстрактного описания систем относятся также языки химических формул, схем, чертежей, карт, диаграмм и т. п.

В литературе описаны и другие классификации. Подходы к классификации определяются выбираемыми признаками. При этом признаки классификации также интерпретируют неодинаково. Так, С.В. Микони и В.А. Ходаковский [13] предлагают

следующий вариант классификации:

1) по степени абстрагирования (содержательные, формальные, формализованные);

2) по детальности отражения свойств объекта (концептуальные, конструктивные);

3) по форме представления (знаковые, графические, табличные или матричные);

4) по реализации (физические, компьютерные);

5) по степени определенности отношений между переменными (детерминированные, недетерминированные);

6) по структуре областей определения и значений функций (непрерывные, дискретные).

Другие авторы предлагают разнообразные признаки классификации по характеру моделей и моделируемых объектов; по сферам приложения (в технике, физических науках, кибернетике и т. д.); по способу отображения (эвристические, натурные и математические); по целям исследования; по особенностям представления (простые и сложные, однородные и неоднородные, открытые и закрытые, статические и динамические, вероятностные и детерминированные и т. п.); по методам моделирования и др. С учетом такого многообразия признаков можно разработать многоаспектную классификацию, однако создать универсальную классификацию – задача практически невыполнимая. Например, Ф.П. Тарасенко [17] считает, что все огромное разнообразие моделей достаточно разделить всего на три типа: модель состава (перечень существенных частей системы), модель структуры системы (перечень существенных связей между частями системы) и модель черного ящика (перечень существенных связей системы с окружающей средой). Любые модели являются либо одной из них, либо их целевой комбинацией.

Широчайшее распространение получили математические модели, которые представляют собой формализованное отображение системы с помощью абстрактного языка, с помощью математических соотношений, отражающих структуру или процесс функционирования системы. Для составления математических моделей используют любые

математические средства: алгебраическое, дифференциальное, интегральное исчисления, теорию множеств, теорию алгоритмов и т. д.

Математические модели первоначально классифицировали следующим образом: аналитические и численные, а аналитические модели, в свою очередь, на детерминированные и вероятностные.

К математическим моделям относят также программные комплексы (пакеты программ), а также формально-логические модели, созданные на формальном языке. Если изменения в системе носят случайный характер и данных о состоянии системы недостаточно для предсказания ее поведения в последующие моменты времени при случайных воздействиях, то систему не удастся отобразить детерминированными моделями; в таких случаях применяются стохастические и другие типы моделей.

Одним из важнейших признаков для классификации моделей систем является классификация по методам моделирования, призванная обеспечить оптимальный выбор типа модели, совпадающего со спецификой исследуемого объекта (системы), условиями поведения системы, задачами моделирования. Предлагаемая классификация моделей по методам моделирования показана на рисунке.

Среди известных методов особо выделяются методы математического моделирования. Однако формализованное отображение системы с помощью абстрактного языка не сводится только к детерминированным и вероятностным моделям. К математическим можно отнести теоретико-множественные модели, модели математической логики, теории графов. Если в основу классификации положить не математические методы, а методы формализованного представления систем, то к этому классу относятся также модели математической логики (обычно кратко называемые лингвистическими) и семиотические модели.

В поисках термина для выделения класса моделей, объектов и процессов, которые не могут быть сразу отображены аналитическими и другими формализованными моделями, предлагалось классифицировать



модели по степени абстрагирования, выделяя наряду с формальными и формализованными моделями *словесные* [14]. Однако словесное, точнее – вербальное (в терминах предметной области) отображение задачи моделирования обычно считают постановкой задачи, а не моделью, а в качестве этапа процесса моделирования рассматривают процесс перевода *вербального* описания в *формальное* (или формализованное).

Кроме формальных и формализованных моделей, основанных на математических методах и методах формализованного представления систем (МФПС), можно выделить особый класс моделей, основанных на методах активизации интуиции специалистов (МАИС). В этот класс моделей можно отнести модели выработки коллективных решений (например, в форме сценариев, которые можно считать словесными или вербальными моделями), модели структуризации, организации сложных экспертиз, морфологические модели.

Самостоятельными разделами теории моделирования можно также считать специальные методы или подходы, сочетающие средства МАИС и МФПС – *ситуационное, структурно-лингвистическое, когнитивное, логико-лингвистическое, лингвокомбинаторное* моделирование, а также моделирование, основанное на *информационном подходе к анализу систем*, моделирование путем организации процесса *постепенной формализации с переключением* МАИС и МФПС, обеспечивающее переход от менее формализованной модели к более формализованной.

На рисунке приведены укрупненные разделы классификации моделей по признаку «методы моделирования». Здесь математические модели классифицированы по методам формализованного представления систем (МФПС). Автор классификации – Ф.Е. Темников [1] – выделил следующие обобщенные группы (классы) методов:

- *аналитические* (методы классической математики, включая интегро-дифференциальное исчисление, методы поиска экстремумов функций, вариационное исчисление и т. п.; методы математического программирования – линейного, нелинейного,

целочисленного, динамического, широко применяющиеся в теории оптимизации; первые работы по теории игр и т. п.);

- *статистические* (включающие и теоретические разделы математики – теорию вероятностей, математическую статистику, и направления прикладной математики, использующие стохастические представления – теорию массового обслуживания, методы статистических испытаний (основанные на методе Монте-Карло), методы выдвижения и проверки статистических гипотез А. Вальда и другие методы статистического моделирования);

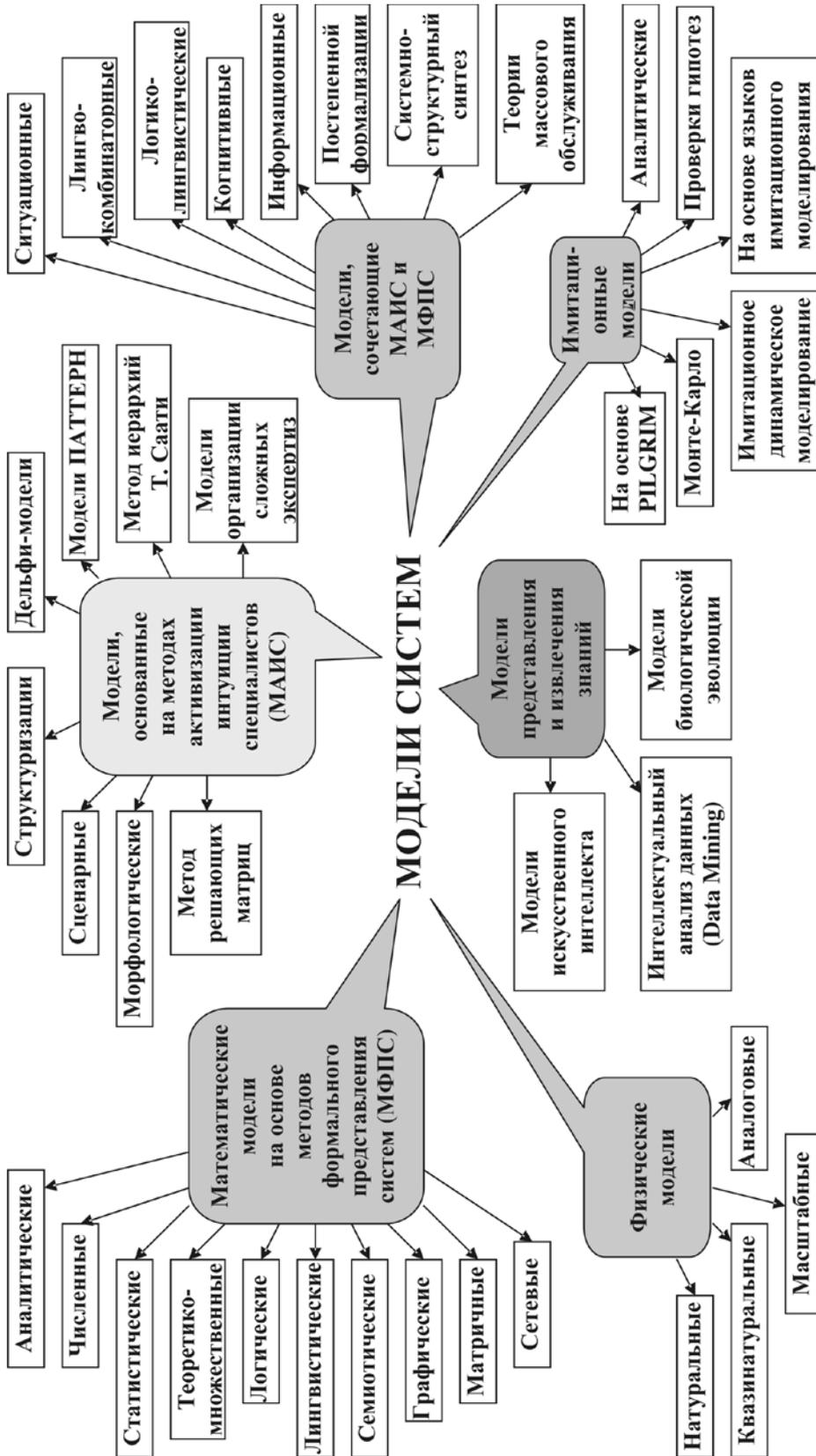
- *теоретико-множественные, логические, лингвистические, семиотические* представления (методы *дискретной математики*), составляющие теоретическую основу разработки языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков;

- *графические* (включающие теорию графов и разного рода графические представления информации типа диаграмм, гистограмм и других графиков).

В классификацию МАИС включены методы, которые активно исследовались в начальный период развития теории систем: «мозговая атака» (или коллективная генерация идей) и другие методы выработки коллективных решений; методы типа «сценариев», методы и методики структуризации, методы экспертных оценок, морфологического моделирования и т. д.

Разбиение методов на МАИС и МФПС соответствует основной идее системного анализа, состоящей в сочетании в моделях и методиках формальных и неформальных представлений, что помогает в разработке методик, выборе методов постепенной формализации отображения и анализа проблемной ситуации.

Предлагаемые названия групп методов более предпочтительны, чем используемые иногда термины – *качественные* и *количественные* методы, поскольку, например, методы, отнесенные к группе МАИС, могут использовать и формализованные представления. Так, при разработке *сценариев* могут применяться статистические данные, с которыми проводятся некоторые расчеты; с



Классификация моделей систем по признаку «методы моделирования»



формализацией связаны получение и обработка экспертных оценок, методы морфологического моделирования. Тем не менее согласно теореме К. Гёделя о неполноте [18], «в рамках любой формальной системы, сколь бы полной и непротиворечивой она не казалась, имеются положения (соотношения, высказывания), истинность или ложность которых нельзя доказать формальными средствами этой системы». Поэтому для преодоления неразрешимой проблемы нужно расширять формальную систему, опираясь на содержательный качественный анализ, например, используя показатель «системная информативность модели» (см. выше).

Результаты Гёделя были получены для арифметики, самого формального из направлений математики, и позволили предположить, что процесс логического, в т. ч. математического доказательства, не сводится к использованию только дедуктивного метода, что в нем всегда присутствуют неформальные элементы мышления. В дальнейшем исследования этой проблемы математиками и логиками показали, что «доказательства во все не обладают абсолютной, не зависящей от времени строгостью, и являются только культурно опосредованными средствами убеждения» [6].

Иными словами, *строгого разделения на формальные и неформальные методы не существует*. Можно говорить только о большей или меньшей степени формализованности или, напротив, большей или меньшей опоре на интуицию, здравый смысл.

Разумеется, на рисунке приведены лишь укрупненные группы-направления. Эти направления непрерывно развиваются, и в их рамках появляются методы с расширенными возможностями по сравнению с исходными.

Новые методы часто возникают на основе сочетания ранее существовавших. Так, методы, иногда называемые *комплексированными* (комбинаторика, топология), начинали развиваться параллельно в рамках линейной алгебры, теории множеств, теории графов, а затем оформились в самостоятельные направления. На пересечении аналитических и теоретико-множественных представлений возникла и развивается ал-

гебра групп; параллельно в рамках алгебры групп и теории множеств начала развиваться *комбинаторика*; теоретико-множественные и графические представления стали основой возникновения *топологии*; статистические и теоретико-множественные методы инициировали возникновение теории нечетких множеств Л. Заде, которая, в свою очередь, явилась началом развития нового направления — *нечетких формализаций*, и т. д.

Практически невозможно создать единую классификацию, включающую все разделы современной математики. В то же время приведенные направления помогают понять особенности конкретных методов, использующие средства того или иного направления или их сочетания, помогают выбирать методы для конкретных приложений.

В качестве самостоятельной на рисунке представлена группа *специальных методов* системного анализа, которые точнее было бы квалифицировать как подходы, базирующиеся на сочетании средств МАИС и МФПС. В то же время эти подходы в большинстве доведены до реализации в виде формальных алгоритмов, что позволяет их квалифицировать как методы.

Наибольшее распространение получили следующие специальные методы моделирования систем:

- *Имитационное динамическое моделирование (System Dynamics Simulation Modelling)*. Предложено Дж. Форрестером (США) в 1950-х гг. [19].

- *Ситуационное моделирование*. Идея предложена Д.А. Поспеловым [15] и реализована Ю.И. Клыковым и Л.С. Загадской (Болотовой) (см. ссылки в [16]).

- *Лингво-комбинаторное моделирование*. Предложено для моделирования плохо формализованных систем М.Б. Игнатьевым [7].

- *Логико-лингвистическое моделирование*. Является развитием *структурно-лингвистического* моделирования, широко распространенного в 1970-е гг. в инженерной практике и основанного на использовании для реализации идей комбинаторики структурных представлений разного рода, с одной стороны, и средств математической

лингвистики, с другой. В 2000-е гг. логико-лингвистическое моделирование применительно к анализу и развитию адаптивного управления социально-экономическими системами развивает Б.Л. Кукор [11], используя в качестве языковых (лингвистических) средств и другие методы дискретной математики (теоретико-множественные представления, средства математической логики и семиотики).

- *Теория информационного поля и информационных цепей (информационный подход к моделированию и анализу систем)*. Концепция информационного поля предложена А.А. Денисовым [5] и основана на использовании для активизации интуиции ЛПР законов диалектики, а в качестве средства формализованного отображения – применение аппарата математической теории поля и теории цепей.

- *Подход, базирующийся на идее постепенной формализации задач (проблемных ситуаций) с неопределенностью путем очередного использования средств МАИС и МФПС* [2].

- *Системно-структурный синтез*. Системно-структурные методы моделирования разрабатывались с самого начала развития теории систем на основе иерархических и сетевых структур как средства исследования объектов и процессов с неопределенностью, когда не могут быть сразу получены математические модели. Теория системно-структурного синтеза, основанная на многоуровневой модели, постепенно сужающей область допустимых решений, предложена Ю.И. Лыпарем (см. [16]).

- *Когнитивный подход* (от лат. *cognitio* – знание, познание). Базируется на идеях когнитивной психологии. Истоки когнитивного подхода прослеживаются, начиная с работ древнегреческих мыслителей («учение об универсалиях» Платона). Оформление когнитивного подхода как особой дисциплины связывают с именем У. Найссера [14]. В нашей стране это направление развивается в ИПУ РАН (В.И. Максимов [10], В.В. Кульба [12], Н.А. Абрамова [20] и др.) и в Южном федеральном университете школой Г.В. Гореловой [4] применительно к

системам управления муниципальными образованиями и социально-экономическими объектами.

Из математических моделей в ходе развития выделился самостоятельный класс имитационных моделей.

*Имитационная модель* – описание системы и внешних воздействий, алгоритмов функционирования системы или правил изменения состояния системы под влиянием внешних и внутренних возмущений в ситуациях, когда математические методы аналитического или численного решения неприменимы, но алгоритмы и правила позволяют имитировать процесс функционирования системы и вычислять ее характеристики.

В дальнейшем имитационные модели стали создавать для более широкого класса объектов и процессов, чем аналитические и численные. На базе статистических представлений разработаны:

- направление имитационного моделирования с целью определения функции распределения случайной величины;

- моделирование, основанное на методе Монте-Карло;

- имитационное моделирование в теории массового обслуживания.

Поскольку для реализации имитационных моделей применяются вычислительные системы, в качестве средств формализованного описания имитационной модели используют универсальные и специальные языки – языки имитационного моделирования (ЯИМ) и общего назначения (ЯОН).

Для исследования, разработки прогнозов и для решения других задач принятия решений разработаны специальные методы имитационного моделирования: имитационное динамическое моделирование Дж. Форрестера [19], имитационное моделирование с использованием автоматизированной системы Pilgrim, развиваемое А.А. Емельяновым [10].

В компьютерном моделировании выделяется самостоятельный класс *моделей представления и извлечения знаний*, в составе которых выделяют модели, развиваемые на базе теории искусственного интеллекта, мо-



дели, построенные на принципах, заимствованных у природы, модели интеллектуального анализа данных (ИАД) — *Data Mining*.

Классификация, подобная рассмотренной, помогает осознанно выбирать методы моделирования и должна входить в состав методического обеспечения работ по проектированию сложных технических комплексов, по управлению предприятиями и организациями. Она может развиваться, дополняться новыми методами, т. е. акку-

мулировать опыт, накапливаемый в процессе проектирования и управления.

Любая классификация условна и может быть подвергнута критике. Она — лишь средство, помогающее ориентироваться в огромном числе разнообразных методов и моделей. Однако, несмотря на условность классификации, она необходима для учета конкретных условий, особенностей моделируемых систем (процессов принятия решений) и предпочтений ЛПР, которым предлагается выбирать классификацию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Волкова, В.Н.** Методы формализованного представления систем: Учеб. пособие [Текст] / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, Ф.Е. Темников. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1993. — 107 с.
2. **Волкова, В.Н.** Постепенная формализация моделей принятия решений [Текст] / В.Н. Волкова. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. — 120 с.
3. **Волкова, В.Н.** Моделирование систем: Учеб. пособие [Текст] / В.Н. Волкова [и др.]; под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 440 с.
4. **Горелова, Г.В.** Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход [Текст] / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко. — Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2006. — 330 с.
5. **Денисов, А.А.** Современные проблемы системного анализа: Учебник [Текст] / А.А. Денисов. — 3-е изд. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 304 с.
6. **Ивин, А.А.** Строгий мир логики [Текст] / А.А. Ивин. — М.: Педагогика, 1988. — С. 125.
7. **Игнатьев, М.Б.** Кибернетическая картина мира. Теория сложных систем [Текст] / М.Б. Игнатьев. — СПб., 2011, 468 с.; Ignatyev M.B. Linguistic-Combinatorial Simulation of Complex Systems // J. of Mathematics and System Science. — USA, Jan. 2012. — Vol. 2. — № 1. — P. 58–66.
8. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций [Текст] / Тр. I Междунар. конф. CASC2001. — М.: ИПУ РАН, 2001. — № 1. — С. 4–18.
9. **Козлов, В.Н.** Вычислительная математика и теория управления [Текст] / В.Н. Козлов, В.Е. Куприянов, В.Н. Шашихин. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1996. — 198 с.
10. Компьютерная имитация экономических процессов [Текст] / Под ред. А.А. Емельянова. — М.: Маркет ДС, 2010. — 464 с.
11. **Кукор, Б.Л.** Семиотика системного анализа и семантическая система логико-лингвистической модели предметной области [Текст] / Б.Л. Кукор // Сб. науч. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. Системный анализ в проектировании и управлении: — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — Ч. 1. — С. 164–169.
12. **Кульба, В.В.** Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем / В.В. Кульба [и др.]. — М.: ИПУ РАН, 2002. — 122 с.
13. **Микони, С.В.** Основы системного анализа: Учеб. пособие / С.В. Микони, В.А. Ходаковский. — СПб.: СГУПС, 2011. — С. 47–48.
14. **Найссер, У.** Познание и реальность [Текст] / У. Найссер. — М., 1981.
15. **Поспелов, Д.А.** Ситуационное управление: Теория и практика [Текст] / Д.А. Поспелов. — М.: Наука, 1986. — 284 с.
16. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник [Текст] / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. — М.: Высш. школа, 2004. — 616 с.
17. **Тарасенко, Ф.П.** Прикладной системный анализ: Наука и искусство решения проблем: Учебник [Текст] / Ф.П. Тарасенко. — Томск.: Изд-во Томского ун-та, 2004. — 186 с.
18. **Успенский, В.А.** Теорема Гёделя о неполноте [Текст] / В.А. Успенский. — М.: Наука, 1982. — 112 с.
19. **Форрестер, Дж.** Мировая динамика [Текст] / Дж. Форрестер. — М.: Наука, 1978. — 167 с.
20. Человеческий фактор в управлении [Текст] / Под ред. Н.А. Абрамовой [и др.]. — М.: КомКнига, 2006. — 496 с.

## REFERENCES

1. **Volkova V.N., Denisov A.A., Temnikov F.E.** Metody formalizovannogo predstavleniia sistem: Ucheb. posobie. – St. Petersburg: Izd-vo SPbGTU, 1993. – 107 s. (rus)
2. **Volkova V.N.** Postepennaia formalizatsiia modelei priiniatii reshenii. – St. Petersburg: Izd-vo SPbGPU, 2006. – 120 s. (rus)
3. **Volkova V.N. i dr.** Modelirovanie sistem: Ucheb. posobie; Pod red. V.N. Volkovoi, V.N. Kozlova. – St. Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2012. – 440 s. (rus)
4. **Gorelova G.V., Zakharova E.N., Radchenko S.A.** Issledovanie slabostrukturirovannykh problem sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: kognitivnyi podkhod. – Rostov-na-Donu: Izd-vo RGU, 2006. – 330 s. (rus)
5. **Denisov A.A.** Sovremennye problemy sistemnogo analiza: Ucheb. posobie; 3-e izd. – St. Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2008. – 304 s. (rus)
6. **Ivin A.A.** Strogii mir logiki. – Moscow: Pedagogika, 1988. – 125 s. (rus)
7. **Ignat'ev M.B.** Kiberneticheskaia kartina mira. Teoriia slozhnykh sistem. – St. Petersburg, 2011. – 468 s. (rus); Ignatyev M.B. Lingual-Combinatorial Simulation of Complex Systems / J. of Mathematics and System Science. – USA, Jan. 2012. – Vol. 2. – № 1. – P. 58–66.
8. Kognitivnyi analiz i upravlenie razvitiem situatsii (CASC2001): tr. I Mezhdunar. konf. – Moscow: IPU RAN, 2001. – № 1. – С. 4–18. (rus)
9. **Kozlov V.N., Kupriianov V.E., Shashikhin V.N.** Vychislitel'naia matematika i teoriia upravleniia. – St. Petersburg: Izd-vo SPbGTU, 1996. – 198 s. (rus)
10. Komp'yuternaia imitatsiia ekonomicheskikh protsessov; Pod red. A.A. Emel'ianova. – Moscow: Market DS, 2010. – 464 s. (rus)
11. **Kukor B.L.** Semiotika sistemnogo analiza i semanticheskaia sistema logiko-lingvisticheskoi modeli predmetnoi oblasti / Sb. nauch. trudov XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sistemnyi analiz v proektirovanii i upravlenii. – St. Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2009. – Ch. 1. – S. 164–169. (rus)
12. **Kul'ba V.V. i dr.** Stsenarnyi analiz dinamiki povedeniia sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. – Moscow: IPU RAN, 2002. – 122 s. (rus)
13. **Mikoni S.V., Khodakovskii V.A.** Osnovy sistemnogo analiza: ucheb. posobie. – St. Petersburg: SGUPS, 2011. – S. 47–48. (rus)
14. **Naisser U.** Poznanie i real'nost'. – Moscow: 1981. (rus); Neisser U. Cognitive psychology. – N.Y., 1967.
15. **Pospelov D.A.** Situatsionnoe upravlenie: teoriia i praktika. – Moscow: Nauka, 1986. – 284 s. (rus)
16. Sistemnyi analiz i priiniatie reshenii: Slovar'-spravochnik; Pod red. V.N. Volkovoi, V.N. Kozlova. – Moscow: Vyssh. shkola, 2004. – 616 s. (rus)
17. **Tarassenko F.P.** Prikladnoi sistemnyi analiz: Nauka i iskusstvo resheniia problem: Ucheb. posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 2004. – 186 s. (rus)
18. **Uspenskii V.A.** Teorema Gedelia o nepolnote. – Moscow: Nauka, 1982. – 112 s. (rus)
19. **Forrester Dzh.** Mirovaia dinamika. – Moscow: Nauka, 1978. – 167 s. (rus)
20. Chelovecheskii faktor v upravlenii; Pod red. N.A. Abramovoi i dr. – Moscow: Komkniga, 2006. – 496 s. (rus)

---

**ВОЛКОВА Виолетта Николаевна** – профессор кафедры системного анализа и управления Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор экономических наук, заслуженный работник высшей школы РФ.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.  
Тел. 8 (812) 294-42-14; e-mail: violetta\_volkova@list.ru

**VOLKOVA, Violetta N.** St. Petersburg State Polytechnical University.  
195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.  
E-mail: violetta\_volkova@list.ru

**ЧЕРНЕНЬКАЯ Людмила Васильевна** – директор департамента менеджмента качества Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, профессор кафедры системного анализа и управления, доктор технических наук.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.  
Тел. 8 (812) 552-76-40; e-mail: Ludmila@qmd.spbstu.ru



**CHERNENKAYA, Liudmila V.** *St. Petersburg State Polytechnical University.*  
195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.  
E-mail: Ludmila@qmd.spbstu.ru

**МАГЕР Владимир Евстафьевич** – *начальник отдела департамента менеджмента качества Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доцент кафедры системного анализа и управления, кандидат технических наук.*

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.  
Тел. 8 (812) 552-76-40; e-mail: mv@qmd.spbstu.ru

**MAGER, Vladimir E.** *St. Petersburg State Polytechnical University.*  
195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.  
E-mail: : mv@qmd.spbstu.ru