ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

1921-2021

Издательство МИСИ – МГСУ

М.Ю. Слесарев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И МЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-7264-2856-7

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021



Москва
2021

УДК 65.012.123
ББК 65.05
С47

Рецензенты:
доктор физико-математических наук *Н.Н. Шамаров*,
профессор кафедры высшей математики и строительной механики
Московского архитектурного института (государственной академии);
доктор физико-математических наук *Ф.Ф. Брюхань*,
профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии НИУ МГСУ

Слесарев, М.Ю.

С47 Математическое и ментальное моделирование [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / М.Ю. Слесарев ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра строительства объектов тепловой и атомной энергетики. — Электрон. дан. и прогр. (5,2 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: http://lib.mgsu.ru. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2856-7 (сетевое)
ISBN 978-5-7264-2857-4 (локальное)

В учебно-методическом пособии изложены основы реализации методологии решения задач планирования и оптимизации, предложены инструменты и методы постановки и планирования математического и ментального эксперимента, моделирования будущих процессов и защиты от негативных последствий, в том числе на объектах тепловой и атомной энергетики, а также инструменты и методы ментального моделирования и статистической обработки результатов математического эксперимента, вопросы имитации рисков и оценки безопасности строительства.

Для аспирантов, обучающихся по направлению подготовки 08.06.01 Техника и технологии строительства.

Учебное электронное издание

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

Редактор *Л.В. Себова*
Корректор *В.К. Чупрова*
Верстка и дизайн титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, Adobe InDesign CS6, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 27.04.2021. Объем данных 5,2 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Оглавление

Введение 5

Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ И МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И МЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 8
1.1. Ретроспектива моделирования имитационных задач и интерпретаций математических методов 8
1.2. Этапы моделирования для принятия решений в организационных и производственных структурах менеджмента строительства 13
1.3. Теория систем и методы оптимизации производственных структур менеджмента и технологических процессов строительства 16
1.4. Методы ментального моделирования информации менеджера 22
Контрольные вопросы и задания 36

Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 38
2.1. Информационные модели по стандартам CALS-технологии для коллективного использования 38
2.2. Имитационная модель материально-технического обеспечения строительных объектов 39
2.3. Методология ментального моделирования ключевых областей деятельности организации ... 48
Контрольные вопросы и задания 59

Глава 3. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 61
3.1. Моделирование сетевым методом прикладных производственных задач в строительстве ... 61
3.2. Моделирование задач с применением логистических систем для экологической реконструкции объектов строительства 65
3.3. Методика создания информационной модели проекта экологической реконструкции объекта 70
3.4. Логистическая модель утилизации отходов реконструкции в условиях крупного города 80
Задания 88

Глава 4. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ... 90
4.1. Имитационное моделирование «зеленых» решений строительных объектов на базе мехатронных систем 90
4.2. Методика пространственно-временно́го моделирования энергоснабжения зданий и сооружений 94
4.3. Аналоговое моделирование мостов как способ изучения работы реальных конструкций 98
Контрольные вопросы и задания 109
Заключение 110
Библиографический список 111

ВВЕДЕНИЕ

Умение формализовать проблему или интерпретировать известную математическую модель требует особой методологии рассмотрения проблемной ситуации, например в организационных производственных структурах менеджмента, в том числе экологического менеджмента, и/или в системах технологических процессов строительства технически сложных и уникальных объектов энергетики, в том числе в системах экологически безопасных процессов строительства тепловых и атомных электростанций.

Данное учебно-методическое пособие представляется весьма своевременным и актуальным, поскольку является практически первой попыткой алгоритмизировать по аналогии с искусственным интеллектом процессы ментального и математического моделирования для управления деятельностью менеджера, принимающего решения, и процессы принятия решений при размещении ментальной модели в сознательную деятельность менеджера, а математической модели — в его персональный гаджет для экологической реконструкции мысленных алгоритмов исследователя.

По словам президента Российской Федерации В.В. Путина, тот, кто станет лидером в сфере искусственного интеллекта, тот станет «властелином мира» (Москва, 2019 г., канал «Россия 24»). Россия должна занять лидирующие позиции в мире в сфере технологий искусственного интеллекта. Об этом заявил Владимир Путин на совещании, прошедшем в школе программирования, созданной по инициативе Сбербанка РФ.

Один, но универсальный математический прием не может заменить арсенал специализированных математических инструментов. Для простого случая достаточно устных вычислений или можно воспользоваться вербальной (ментальной) моделью, в более сложном случае потребуется лист бумаги для анализа проблемной задачи, а в еще более сложном варианте — компьютер для моделирования, и, наконец, можно использовать специальную оптимизационную вычислительную программу.

Любое моделирование имеет целью принятие адекватных управленческих решений. Моделирование с помощью компьютерных средств, в том числе мобильных гаджетов (айфонов, смартфонов, планшетов и пр.), становится общепринятым этапом в принятии решений во всех сферах деятельности, в управлении любым процессом и получении желаемого результата [52]. Поэтому освоение методов и приемов моделирования, принципов построения ментальных и математических моделей и выбор средств их реализации при использовании современных программных продуктов приобретают на сегодняшний день первостепенное значение для поддержки принятия решений руководителем, инженером, конструктором, проектировщиком, менеджером, бизнес-аналитиком и др. [10].

Проблема инновационного процесса в энергетическом строительстве не может быть решена без привлечения математического инструментария. Человеческий мозг не в состоянии своевременно спрогнозировать все возможные последствия внедрения инноваций, поэтому прогнозирование и моделирование будущего и последствий инновационного процесса требуют для своего решения имитации на основе математического и ментального моделирования [1].

Родоначальником инновационной теории считается Йозеф Шумпетер[1]. Впервые термин «инновация» появился в культурологии, где он означал перенос элементов и свойств одной культуры (системы, структуры) в другую. В понимании Й.А. Шумпетера инновация представляет собой возможное изменение, новую комбинацию факторов, например факторов безопасности, в первую очередь экологической безопасности основного и вспомогательного производства при строительстве объектов тепловой и атомной энергетики. По мере становления нового технологического уклада понятие «инновация» претерпело существенные изменения. Сегодня в соответствии с современным терминологическим кодом этот термин означает практическое внедрение новшества, а точнее, коммерциализированный процесс новшества, т.е. инвестицию в новшество, изменяющее структуру и системы среды жизнедеятельности.

[1]Шумпетер Й.А. Теория экономического развития / пер. с нем. В.С. Автономова и др. — Москва : Директ-Медиа Паблишинг, 2008. — 400 с.

«Зеленая инновация» означает введение на рынок среды жизнедеятельности инновационной, не существовавшей ранее, продукции (товаров, услуг) с новым повышением эффективности функционирования и управления в системах производства в среде жизнедеятельности. Речь идет о внедрении «зеленых», новых природоподобных технологий, которые не причиняют вреда окружающей среде [18].

Практическое воплощение имитирования работы мозга воплотил в жизнь один из родоначальников компьютера, создатель дешифровальной машины Алан Тьюринг. Дешифратор перебором устанавливал возможные варианты ключа шифра. Если была известна структура дешифруемого текста или часть незашифрованного текста, то дешифратор Тьюринга распознавал текст. Обучающимся по дисциплине «Математическое моделирование» предстоит научиться расшифровывать природоподобные коды безопасности при моделировании процессов и структур в первую очередь экологической безопасности основного и вспомогательного производства при строительстве объектов тепловой и атомной энергетики.

Структурные сдвиги нового технологического уклада в строительстве тепловых и атомных электростанций в организационных и производственных структурах менеджмента, в том числе экологического менеджмента, и/или в системах технологических процессов строительства технически сложных и уникальных объектов энергетики, в том числе в системах экологически безопасных процессов строительства тепловых и атомных электростанций связаны с глобальным интегрированным использованием природных ресурсов и человеческого потенциала на основе искусственного интеллекта.

Развитие потенциала строительного комплекса обусловлено:

• формированием среды жизнедеятельности мегаполисов;

• исчерпанием природных ресурсов региона расположения мегаполиса;

• подавлением естественных механизмов саморегулирования биосферы в результате антропогенной трансформации природной среды и дефицита природных ресурсов региона.

Мегаполисы, формирующие свою среду жизнедеятельности, могут устойчиво развиваться только под влиянием нового направления экологической науки — логистики природоподобия и экологической реконструкции среды жизнедеятельности. Одной из основных задач логистики природоподобия и экологической реконструкции среды жизнедеятельности является разработка методов математического моделирования процессов саморегуляции и естественного баланса природных и технических объектов.

С ростом антропогенного воздействия строительной деятельности на окружающую среду возрастает необходимость поиска путей его уменьшения на основе автоматизации процессов управления уровнем воздействия [9]. Одним из путей решения видится разработка программного обеспечения процессов управления экологической реконструкцией строительных объектов на основе системного многокритериального анализа воздействий на всех этапах жизненного цикла сооружения, начиная от этапа производства строительных материалов и конструкций, транспортирования, строительства, эксплуатации до ликвидации объекта, а в случае объектов энергетики, например АЭС, — вывод их из эксплуатации [6]. В настоящее время решение задачи оптимизации производственного процесса в различных отраслях деятельности определяется применением методов логистики и создаваемых на ее основе логистических систем [23]. Экологические проблемы актуализируют комплекс задач по разработке методологических основ управления проектами экологической реконструкции строительных объектов. Управление проектами реконструкции строительных объектов с учетом экологических требований как систематизирующая основа оптимизации принимаемых решений приобретает важнейшее значение. В строительстве еще не сформирована методология математического моделирования организационных производственных структур менеджмента и технологических процессов строительства технически сложных и уникальных объектов строительства, которая должна основываться на логистических принципах организации и природоподобия критериев управления экологической реконструкцией среды жизнедеятельности, а также информационно поддерживаться автоматизированным сбором и обработ-

кой данных окружающей среды [21]. В настоящем учебно-методическом пособии предложены логистические принципы координации и критерии управления материальными и информационными потоками экологической реконструкции среды жизнедеятельности, методы функционального моделирования и модели процесса реконструкции [5]. Приведены структура информационных логистических систем, среда разработки Delphi, синтаксическая отладка, семантическая отладка и тестирование программ с примером расчета.

XX в. стал веком становления теории оптимизационных управленческих решений, которые могут быть использованы в математическом моделировании организационных и производственных структур менеджмента и экологическом менеджменте систем технологических процессов строительства технически сложных и уникальных объектов. Российские ученые — основоположники математического моделирования известны своими работами начиная с первой половины XX в.

Цель учебно-методического пособия — познакомить обучающихся с основными принципами математического и ментального моделирования и типами моделей, применяемых при анализе безопасности структур и систем в инновационной сфере строительных процессов основного и вспомогательного производства, с принципами решения задач в области экологической безопасности строительства и городского хозяйства, а также в области организации строительства технически сложных и уникальных объектов [22].

Современные программные среды, такие как Delphi, AnyLogic, универсальная имитационная система Simplex 3, инструментальные среды BPWin, ARIS Toolset позволяют создавать модели, понятные любому пользователю.

В основу материала учебно-методического пособия положены постулаты из многих источников [89, 100–110].

Пособие соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и рекомендациям примерной основной образовательной программы по направлению подготовки 08.06.01 Техника и технологии строительства.

Глава 1
КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ И МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И МЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

1.1. Ретроспектива моделирования имитационных задач и интерпретаций математических методов

Моделирование — процесс замещения изучаемого объекта другим с целью получения информации о свойствах оригинала с помощью модели, т.е. моделирование — представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью.

При моделировании необходимо стремиться к тому, чтобы модель достаточно хорошо отображала исследуемую сторону функционирования объекта.

Научной основой моделирования служат теория подобия и понятие аналогии. Основные виды аналогии: химическая; физическая; кибернетическая [55].

В древности математика (от греч. *mathma* — знание) — наука, которая преподавалась как система навыков и умений. В «Диалогах» Архимеда (III в. до н.э.) особенно подчеркивается навык интерпретации нематематических следствий, т.е. имитации на математических моделях явлений окружающего мира или их интерпретации как «очередного шага», следующего после совершения математических выводов.

Применяют для нахождения рационального или оптимального решения как ментальные модели и методы (образные, вербальные, лингвистические), так и математические методы и модели в том или ином смысле (решения допустимого или недопустимого, максимального или минимального).

Оптимизационные задачи математического программирования появляются лишь при наличии множества допустимых решений. В случае допустимости одного единственного решения нет проблемы выбора решения и, следовательно, нет проблемы оптимизации [18].

Устойчивость инновационного развития систем и структур излагается в большом количестве монографий, международных и национальных стандартах, правовых актах, законах, указах и инструкциях [20, 37, 45–51]. Понять и научиться управлять процессом устойчивого развития может лишь тот, кто научился создавать ментальные и имитационные модели, понимать языки лингвистического и математического программирования, читать знаки и символы математики, т.е. умеет расшифровывать код безопасности, написанный на специальном языке, доступном для понимания вычислительной машиной, помогающей расшифровать этот код и показать оптимальное решение [18].

Франсуа Кенэ, врач по образованию, впервые применил имитационное моделирование движения финансов в стране по аналогии движения крови в организме. Он воспользовался моделью кровообращения для описания кругооборота в экономических отношениях [23].

Карл Маркс использовал разработки Ф. Кенэ и применил математику для описания закономерностей экономических кризисов [18].

Антуан Курно в 1838 г. издал книгу «Исследование математических принципов теории богатства», в которой предложил математическую модель коэффициента эластичности, учитывающего изменение спроса при изменении цены [18].

Леон Вальрас в 1874 г. предложил математическую модель системы экономического баланса, а в том же году итальянец Вильфредо Парето — модель нормального распределения доходов населения в соотношении 20/80 %, когда 20 % населения страны владеют 80 % богатства и 80 % населения владеют остальными 20 % богатства. Великий Карл Фридрих Гаусс позднее то же соотношение подтвердил, изучая магнитное поле Земли, выведя свой нормальный закон распределения ошибок, в соответствии с которым 80 % значений случайной величины укладываются на отрезке шкалы в 3σ (где σ — среднее отклонение случайной величины) [18].

Фредерик Тейлор в 1885 г. сформулировал и решил «задачу о землекопе» [18].

Работы 40-х гг. XX в. Н. Винера, Р. Беллмана, С. Джонсона, Л.В. Канторовича стали основой современного математического аппарата оптимизации. В 1939 г. Л.В. Канторович опубликовал работу «Математические методы организации и планирования производства», в которой представил алгоритмы оптимизации линейным программированием. В 1975 г. он получил Нобелевскую премию за свой вклад в теорию оптимизации распределения ресурсов [18].

Симплекс-метод — один из методов линейного программирования — появился в 1947 г. в департаменте ВВС США по предложению Дж. Данцига и М. Вуда. Проблема решения транспортной задачи впервые формализована французским математиком Г. Монжем в 1781 г., которая сейчас называется транспортной задачей Монжа — Канторовича. В 1952 г. в Национальном бюро стандартов США была решена задача линейного программирования на ЭВМ "Seac". В то же время появляются работы Р. Беллмана по нелинейному программированию [18].

В конце 50-х г. XX в. в СССР появляются аналогичные исследования в области математического моделирования — работа Л.В. Канторовича «Экономический расчет наилучшего исследования ресурсов» (1959 г.). В 1960 г. под руководством академика В.С. Немчинова создается лаборатория математического моделирования при Новосибирском отделении АН СССР, а также В.М. Глушковым организуется Институт кибернетики в Киеве [18].

В настоящее время математические модели применяют повсеместно к определенному классу задач, обусловленному сложностью организационных и производственных структур менеджмента и технологических процессов строительства технически сложных и уникальных объектов [18]. Наша потребность ставить и решать задачи исследования операций проявляется в формулировках: «с наименьшими затратами»; «с минимальными отходами»; «с минимальным негативным воздействием на окружающую среду»; «максимальная прибыль»; «максимальная производительность»; «полная безопасность»; «минимальный риск» и в формулировках с использованием минимума или максимума параметра имитируемого объекта исследования. Сюда относятся задачи устойчивого развития организационных и производственных структур менеджмента и технологических процессов строительства технически сложных и уникальных объектов и наиболее эффективного и безопасного управления процессами строительства объектов тепловой и атомной энергетики, а также воздействиями на окружающую среду [12]. Что касается создания оптимальных конструкций, то всегда существуют два варианта решений:

1) создать конструкцию по затратам всех ресурсов, обладающую минимальной стоимостью (или максимальной экологической чистотой производства и эксплуатации, точнее, отвечающую требованиям экологической безопасности на всех этапах ее жизненного цикла) и при этом заданными свойствами, параметрами и характеристиками;

2) создать конструкцию по затратам всех ресурсов, обладающую заданной стоимостью (заданным уровнем экологической безопасности) с максимально превышающими лучшие мировые образцы по своим свойствам, параметрам и характеристикам.

Решение этих двух задач произвольным образом, т.е. без оптимизации по затратам всех ресурсов, приводит к излишним затратам — финансовым, трудовым, сырья и времени, а также к нанесению неоправданного ущерба окружающей среде [2, 3].

Математическое моделирование является инструментом и средством создания и приспособления искусственного интеллекта для решения практических задач и методов организационных и производственных структур менеджмента и технологических процессов строительства технически сложных и уникальных объектов [4, 7, 8, 11], в том числе является инструментом решения типовых и специальных производственных задач моделирования организационных структур основного и вспомогательного производства в строительстве объектов тепловой и атомной энергетики.

Классификация моделей

Тип носителя и сигнатура модели классифицируют виды моделирования на следующие: детерминированное и стохастическое, статическое и динамическое, дискретное, непрерывное и дискретно-непрерывное. В детерминированном моделировании отсутствуют случайные воздействия — так предполагается исследователем [46]. В стохастическом моделировании, наоборот, исследователем учитываются вероятностные процессы и события [53]. В статическом моде-

лировании исследователем описывается состояние объекта в фиксированный момент времени, а в динамическом — состояние объекта во времени. При этом исследователь оперирует аналоговыми (непрерывными), дискретными и смешанными моделями. В зависимости от формы реализации носителя и сигнатуры моделирование подразделяется на реальное и мысленное.

Ментальные модели — основанные на предыдущем опыте идеи, стратегии, способы понимания, существующие в уме человека и направляющие его действия [89, 90, 100–110].

Качество нашего мышления напрямую связано с определенными моделями в голове, согласно которым распознается полезность какого-либо действия. Больше моделей — значит, многочисленней набор инструментов, а следовательно, больше шансов выбрать правильные модели для видения реальности, которые определяют восприятие и поведение. Изучение новой ментальной модели дает нам новый способ увидеть мир [58, 59].

Большинство из нас являются специалистами. Это способствует ограниченному набору действий. Например, типичный инженер будет думать системно, психолог — с точки зрения стимулов, а биолог — с точки зрения эволюции. Каждый специалист видит что-то свое. Но рассматривая проблему с одной стороны, мы рискуем упустить важные детали. Ботаник, изучая лес, сосредоточивается на экосистеме. Эколог видит воздействия изменения климата. Лесничий наблюдает за состоянием деревьев, а предприниматель видит ценность земли. Ни один из перечисленных специалистов не способен самостоятельно посчитать объем леса. Однако если сложить все эти дисциплины воедино, то можно решить проблемы трехмерным способом. Обмен знаниями или изучение основ других дисциплин способствует всестороннему пониманию, вследствие чего позволит лучше ориентироваться в вопросах управления лесом [60, 61].

В своей знаменитой речи в 1990 г. Чарльз Мангер подытожил подход к практической мудрости через понимание ментальных моделей, сказав: «Первое правило: вы не можете ничего знать, если вы просто помните отдельные факты. Если факты не связаны между собой теоретически, то становится сложным решением проблемы. Модели должны быть в голове. Вы должны сохранить свой опыт. Возможно, вы замечали студентов, которые пытаются вспомнить то, что узнали когда-то. Что ж, они терпят неудачу и в школе, и в жизни» [54, 69].

Одним из основных признаков классификации видов моделирования является степень полноты модели [127, 132, 133], по которой модели можно разделить на полные, неполные и приближенные. Пример классификации видов моделирования показан на рис. 1.

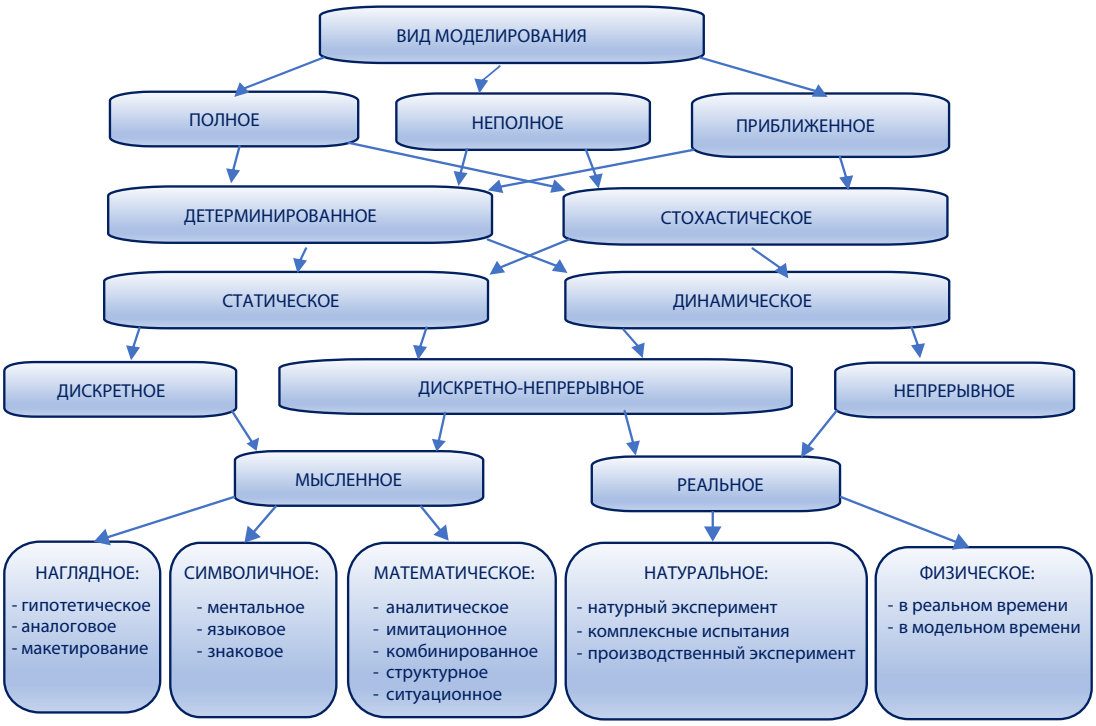


Рис. 1. Классификации видов моделирования

Аналоговая модель отражает уровень знаний исследователя об объекте и базируется на причинно-следственных связях между входом и выходом изучаемого объекта. Аналоговое моделирование базируется на использовании аналогий. Для простых объектов высшим уровнем является полная аналогия [131, 135].

Для описания сложной системы практикуются аналогии более высоких уровней, при этом аналоговая модель отображает одну или более сторон функционирования объекта [125, 126, 134].

Макетирование применяется для реальных объектов [11, 38, 57], в которых протекающие процессы не поддаются физическому моделированию. В основе построения мысленных макетов используются причинно-следственные связи между явлениями и процессами в объекте.

Символическая модель — это искусственный логический объект, который замещает реальный объект и отражает его основные свойства с помощью определенной системы образов, знаков и символов [89, 90, 100–110].

В основе **языковой модели** лежит некоторый тезаурус [36], который составлен из фиксированного набора понятий исследуемой предметной области. Тезаурус — это словарь, отражающий связи между словами или иными элементами данного языка, предназначенный для поиска слов по их смыслу; состоит из двух частей: 1) списка терминов, сгруппированных по смысловым (тематическим) рубрикам; 2) алфавитного словаря ключевых слов, задающего классы условной эквивалентности и указателя отношений между ключевыми словами, где для каждого термина указаны соответствующие рубрики. Двоичная структура тезауруса позволяет определять семантические (смысловые) отношения иерархического (род / вид) и неиерархического типа (синонимия, антонимия, ассоциации). Тезаурус и обычный словарь имеют принципиальные структурно-функциональные отличия. Тезаурус очищен от неоднозначности, так как в нем каждому термину соответствует единственное понятие, а в обычном словаре каждое слово имеет многократное соответствие множеству понятий. Введение знаков — условных обозначений понятий, а также обозначение операций между знаками позволяют реализовать знаковое моделирование и с помощью знаков моделировать (отображать) набор понятий — составлять лингвистические модели. Производя процедуры объединения, пересечения и дополнения теории множеств, моделируется описание в символах определенного реального объекта [35, 41–44].

Имитация как метод решения нетривиальных задач получила начальное развитие в связи с созданием ЭВМ в 1950–60-х гг. [18].

Имитационное моделирование получило развитие в методе статистических испытаний (Монте-Карло) и методе статистического моделирования.

Метод Монте-Карло — численный метод, который состоит в многократном воспроизведении процессов, являющихся реализациями случайных величин и функций, с последующей обработкой информации методами математической статистики; применяется для моделирования случайных величин и функций, вероятностные характеристики которых совпадают с решениями аналитических задач [18, 56].

Метод статистического моделирования применяется для машинной имитации в целях исследования характеристик процессов функционирования объектов, подверженных случайным воздействиям [63, 64].

Метод имитационного моделирования применяется для оценки вариантов структуры объекта, эффективности различных алгоритмов управления объектом, влияния на изменения различных параметров объекта. Имитационное моделирование служит основой структурного, алгоритмического и параметрического синтеза, когда требуется создать объект с заданными характеристиками при определенных ограничениях [65, 66].

В структурном моделировании в настоящее время сформировалась новая технология CASE, чья аббревиатура соответствует двум направлениям использования CASE-систем [70, 71]: