

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-временного 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 Шумпетер¹. 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.

¹Шумпетер Й.А. Теория экономического развития / пер. с нем. В.С. Автономова и др. — Москва : Директ-Медиа Паблицинг, 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;
- истощением 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 попытожил 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.

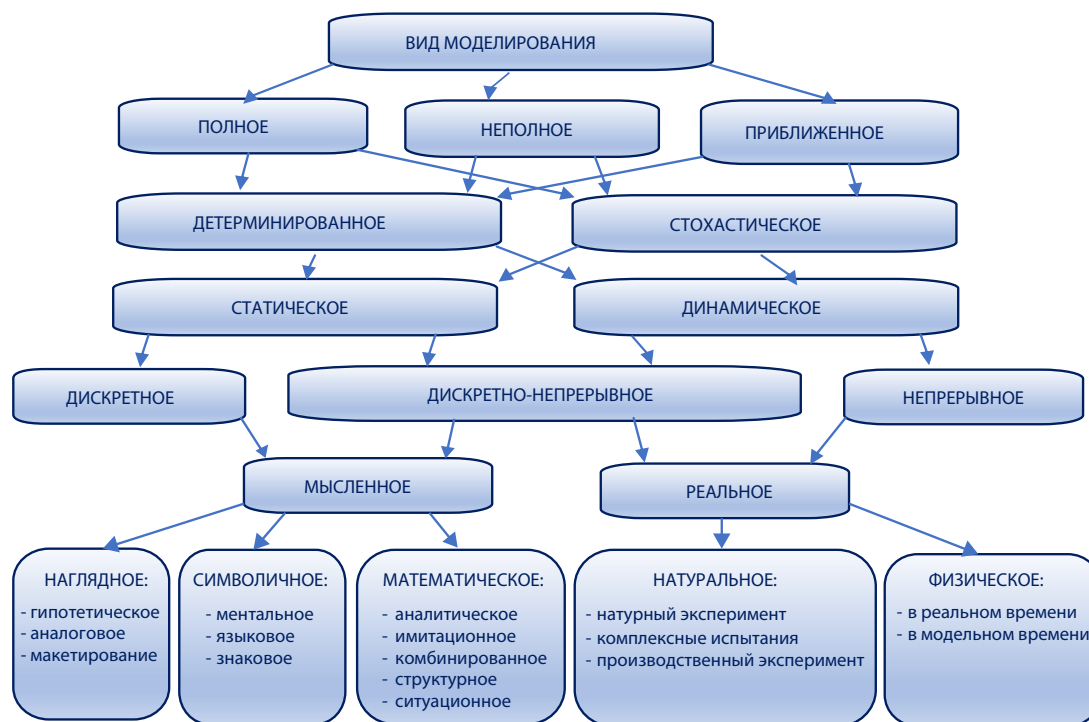


Рис. 1. Классификации видов моделирования

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]:

1) Computer-Aided Software Engineering — автоматизированное проектирование программного обеспечения. CASE-системы часто называют инструментальными средами быстрой разработки программного обеспечения (RAD — Rapid Application Development);

2) Computer-Aided System Engineering — направлено на поддержку концептуального моделирования сложных систем, в частности, менее структурированных, в основном BPR-систем (Business Process Reengineering).

В целом CASE-технология представляет собой совокупность методологий анализа, проектирования, разработки и сопровождения сложных автоматизированных систем, поддерживаемую комплексом взаимосвязанных средств автоматизации.

CASE — инструментарий для системных аналитиков, разработчиков и программистов, позволяющий автоматизировать процесс проектирования и разработки сложных систем, в том числе и программного обеспечения.

Имитационное моделирование позволяет описывать процессы так, как они проходили бы в действительности. Модель запускают и «проигрывают» во времени как для одного, так и для многократных испытаний. Результаты определяются случайным характером моделируемых процессов [72]. По данным эксперимента на модели можно получить достаточно устойчивую статистику. Экспериментирование с моделью называют имитацией (*имитация* — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте) [74].

Имитационная модель — логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта [73, 75, 76].

К имитационному моделированию обращаются в следующих случаях:

- дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте [77, 78];
- невозможно создать аналитическую модель, так как в моделируемой системе есть динамика, причинные связи, нелинейности, стохастические (случайные) переменные [79];
- необходимо симитировать поведение системы в динамике на промежутке времени.

Цель имитационного моделирования — воспроизведение поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами [81, 83].

Имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени [85, 86], причем временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами или ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью. Виды имитационного моделирования: агентное; дискретно-событийное; системная динамика.

Агентное моделирование — относительно новое (1990–2000-е гг.) направление в имитационном моделировании, используемое для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а, наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель агентных моделей — получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном, поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии таких объектов в системе [80, 82, 84].

Дискретно-событийное моделирование — подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие как: ожидание, обработка заказа, движение с грузом, разгрузка и др. Дискретно-событийное моделирование наиболее развито и имеет огромную сферу приложений — от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем; подходит для моделирования производственных процессов; основано Джеффри Гордоном в 1960-х гг. [87, 88].

Системная динамика — парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени. Созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компью-

тере [91, 92]. По сути, такой вид моделирования более всех других парадигм помогает понять суть происходящего выявления причинно-следственных связей между объектами и явлениями. С помощью системной динамики строят модели бизнес-процессов, развития города, модели производства, динамики популяции, экологии и развития эпидемии. Метод системной динамики основан Джейм Форрестером в 1950-х гг.

Области применения математических моделей и методов в инновационной сфере энергетического строительства и экологической безопасности строительства объектов тепловой и атомной энергетики представлены на рис. 2 [98–100, 111–113].



Рис. 2. Области применения математических моделей и методов в инновационной сфере энергетического строительства и экологической безопасности

1.2. ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТРУКТУРАХ МЕНЕДЖМЕНТА СТРОИТЕЛЬСТВА

Создание математической модели, по существу, состоит в упрощении представления реального объекта, его схематизации и описании с помощью того или иного математического аппарата [114].

Основные этапы построения математических моделей

Описание моделируемого объекта. Объекты моделирования обычно описываются с помощью системного подхода [115–118]. Цель исследования объекта определяет вопросы по установлению совокупности взаимосвязанных элементов объекта и взаимосвязи между элементами объекта, возможные состояния каждого элемента объекта, существенные характеристики состояний объекта и отношения между ними [119]. Формулируется исходная естественно-научная концепция исследуемого объекта [120–123]. Такое предварительное, приближенное представление объекта называют *концептуальной моделью*. Для того чтобы содержательное описание служило хорошей основой для последующей формализации, требуется обстоятельно изучить моделируемый объект. Иногда стремление ускорить разработку математической

модели объекта уводит исследователя от концептуального этапа непосредственно к решению вопросов формализации [62, 67, 68, 124]. В результате построенная без достаточной концептуальной проработки созданная математическая модель оказывается непригодной к использованию [24–29]. На концептуальном этапе математического моделирования широко применяются качественные методы описания объектов, знаковые и языковые модели (семиотические модели).

Формализация операций. Формализация описания объекта сводится к следующему. На основе концептуального описания определяется исходное множество характеристик объекта [30–34]. Выделение концептуальных характеристик необходимо хотя бы для приблизительного анализа каждой из них. При проведении анализа опираются на постановку задач исследования объекта, вытекающих из цели исследования для понимания природы исследуемого объекта. После исключения несущественных характеристик выделяют управляемые и неуправляемые параметры и производят символизацию характеристик объекта [39, 40]. Затем определяется система ограничений на значения управляемых параметров исследуемого объекта. Если ограничения не носят принципиальный характер, то ими пренебрегают.

Дальнейшие действия зависят от формирования целевой функции математической модели объекта. В соответствии с известными положениями выбираются показатели исхода операции и определяется примерный вид функции полезности на исходах [93–96]. Если функция полезности близка к пороговой (или монотонной), то оценка эффективности решений возможна непосредственно по показателям исхода операции. В этом случае необходимо выбрать способ свертки показателей (способ перехода от множества показателей к одному обобщенному показателю) и произвести саму свертку [97]. По свертке показателей исследуемого объекта формируются критерий эффективности и целевая функция.

Если при качественном анализе вида функции полезности окажется, что ее нельзя считать пороговой (монотонной), прямая оценка эффективности решений через показатели исхода операции недостоверная. Для получения достоверного вывода из качественного анализа вида функции полезности необходимо определять функцию полезности и уже на ее основе вести формирование критерия эффективности и целевой функции. В целом, замена концептуального описания формализованным — это итеративный процесс [128–130].

Менеджер может принимать управленческие решения без использования компьютерных гаджетов без гарантии оптимальности (правильности, безопасности, устойчивости). Компьютер же не может принимать какие-либо управленческие решения, если он не обладает правами искусственного интеллекта.

На рис. 3 представлен алгоритм принятия обоснованных решений.

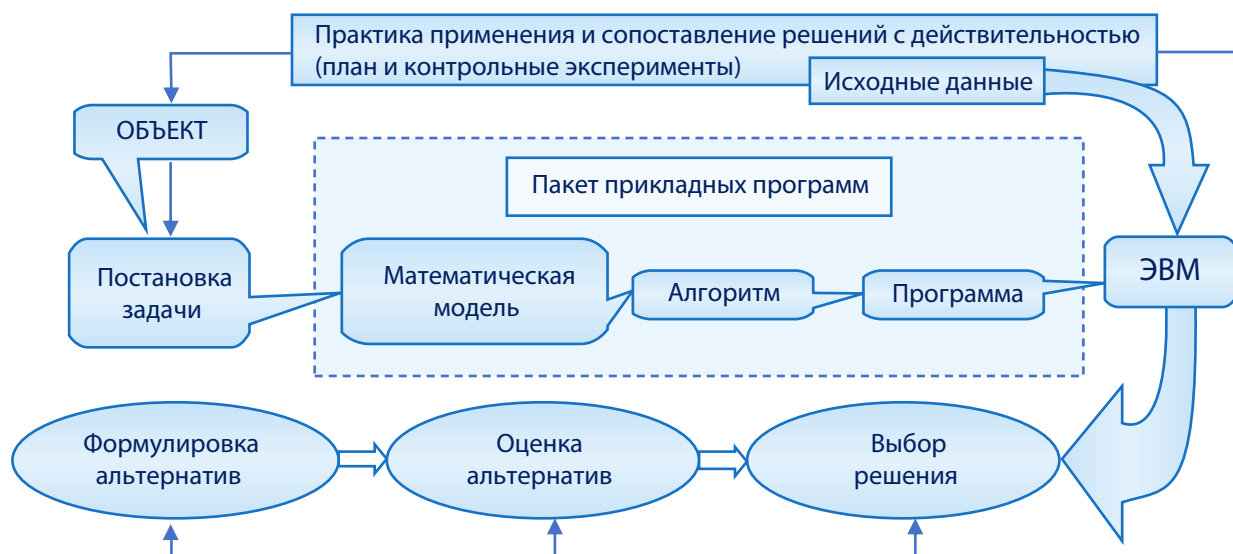


Рис. 3. Схема принятия обоснованных решений

Как правило, компьютер, или гаджет с искусственным интеллектом, подготавливает информацию для принятия решения менеджером. Формулируя задачу экологической безопасности в строительстве, необходимо установить определяемые переменные строительного проекта, ограничивающие ресурсы окружающей среды, оптимизационную оценку вариантов решения [136–138].

Для поиска вариантов оптимального решения необходимо разработать модель оптимизации, пройдя пять стадий:

- 1) формулирование исследовательской задачи, или задачи экологической безопасности строительства;
- 2) разработка математической модели исследуемой организационной структуры (системы процессов), или разработка математической модели изучаемой системы строительный объект — окружающая среда;
- 3) перебор допустимых решений и отыскание оптимального решения, или решения экологической безопасности строительства с помощью разработанной математической модели;
- 4) проверка достоверности модели и решения, или модели и решения экологической безопасности строительства;
- 5) уточнение решения на практике, или уточнение решения экологической безопасности строительства.

При постановке задачи обследуется объект моделирования, ставится цель моделирования, устанавливаются ограничения, разрабатываются формы входящей и выходящей информации [139–141]. При разработке модели определяется предположительное количество допустимых вариантов решения после формализации цели решения задачи оптимизации, с которой связываются ограничения и переменные величины [142–144].

В качестве алгоритма подбирается готовый программный продукт или разрабатывается своя программа решения задачи на компьютере, производится сравнение полученного решения с реальной действительностью для установления факта решения реальной задачи с учетом всех формализованных ограничений и переменных в модели.

Для построения математической модели, достоверно соответствующей реальному объекту, необходимо выполнить одно правило, состоящее из трех частей:

- 1) выделить и разграничить главные свойства (характеристики, параметры, показатели) от второстепенных;
- 2) учесть в модели только главные свойства;
- 3) пренебречь в модели второстепенными свойствами.

Для решения оптимизационных задач соблюдают четыре правила:

- 1) задачи ставятся и решаются в цифрах;
- 2) задача выбора рассматривается как экстремальная;
- 3) структура или система оценивается по определенному критерию;
- 4) оптимальный вариант выбирается в условиях ограниченных ресурсов.

Комбинации различных элементов математической модели приводят к существованию различных классов задач оптимизации, каждый из которых требует свой метод решения, а следовательно, требуются в каждом конкретном случае разные программные средства для моделирования [145, 146].

Проверка адекватности математической модели объекта. Требование адекватности находится в противоречии с требованием простоты, и это нужно помнить при проверке математической модели объекта на адекватность [147, 148]. Начальный вариант математической модели объекта первоначально проверяется по следующим вопросам:

- Все ли параметры включены в модель?
- Нет ли в модели несущественных параметров?
- Правильно ли отражены функциональные связи между параметрами?
- Правильно ли определены ограничения на значения параметров?

Для проверки рекомендуется привлекать сторонних экспертов. Разработчики не могут объективно рассмотреть свою математическую модель объекта и заметить ее слабые стороны. Предварительная проверка математической модели объекта позволяет выявить грубые промахи и ошибки. Затем приступают к реализации модели и проведению исследований. Полученные результаты моделирования сопоставляются с известными свойствами исследуемого объекта моделирования. Для установления соответствия создаваемой математической модели объекта оригиналу используются следующие схемы:

- сравнение результатов математического моделирования объекта с экспериментальными результатами по объекту, полученными для одинаковых условий;
- использование проверенных на достоверность близких математических моделей аналогичных объектов.

По результатам проверки математической модели объекта на адекватность принимается решение о возможности ее практического использования или о проведении корректировки.

Корректировка математической модели объекта. При корректировке математической модели объекта уточняются параметры, ограничения на значения управляемых параметров, показатели исхода операции, связи показателей исхода операции с существенными параметрами, критерий эффективности. После внесения изменений в модель вновь выполняется оценка адекватности [149, 150].

1.3. ТЕОРИЯ СИСТЕМ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР МЕНЕДЖМЕНТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Сложная система — интегрированный из частей объект, части которого можно рассматривать как самостоятельные системы, объединенные в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями [151].

Основные понятия теории систем

Термины *теория систем*, *системный анализ* и *системный подход* используются уже на протяжении 30 с лишним лет.

Более 100 лет назад про системный анализ в науке даже не было и речи, однако уже тогда Д.И. Менделеев, используя свое системное мышление, разработал таблицу химических элементов.

При системном подходе объект исследования представляется термином *система*. Существует несколько определений этого термина:

- система — комплекс элементов, находящихся во взаимодействии;
- система — множество элементов, находящихся в отношениях или связях друг с другом, образующих целостность или органическое единство;
- система — это полный, целостный набор элементов (компонентов), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться функция системы.

Исследование объекта предполагает использование систем представлений (категорий), например [47–50, 152]:

- структурное представление системы связано с идентификацией элементов и связей между ними;
- функциональное представление системы связано с выделением совокупности функций (целенаправленных действий) системы и ее компонентов, направленное на достижение определенной цели;
- макроскопическое представление системы связано с пониманием системы как нерасчленимого целого, взаимодействующего с внешней средой;
- микроскопическое представление основано на рассмотрении системы как совокупности взаимосвязанных элементов;

- иерархическое представление системы связано с понятием подсистемы, получаемым при разложении (декомпозиции) системы, обладающей системными свойствами, которые следует отличать от ее элемента, неделимого на более мелкие части (с точки зрения решаемой задачи или по логическому заключению). Система может быть представлена в виде совокупностей подсистем различных уровней;
- процессное представление системного объекта как динамического объекта, характеризующегося последовательностью его состояний во времени.

Внешняя среда

Понятие *система* возникает там и тогда, где и когда мы материально или умозрительно проводим замкнутую границу между неограниченным или некоторым ограниченным множеством элементов. Те элементы с их соответствующей взаимной обусловленностью, которые попадают внутрь, образуют систему. Элементы, которые остались за пределами границы, образуют множество, называемое в теории систем *системным окружением*, или просто *окружением*, или *внешней средой* [64, 66, 67]. Отсюда вытекает, что рассматривать систему без ее внешней среды невозможно.

Система проявляет свойства в процессе взаимодействия с окружением, являясь при этом ведущим компонентом этого взаимодействия.

Во взаимозависимости с окружающей средой и характером взаимодействий с другими системами функции систем можно расположить по возрастающему рангу следующим образом:

- пассивное сосуществование;
- материал для других систем;
- обслуживание систем более высокого порядка;
- противостояние другим системам (выживание);
- поглощение других систем (экспансия);
- преобразование других систем и сред (активная роль).

Система какая-либо может рассматриваться, с одной стороны, как подсистема более низкого порядка (подсистема), а с другой — как надсистема системы более низкого порядка (надсистема). Например, система «производственный цех» входит как подсистема в систему более высокого ранга — «строительная фирма». В свою очередь, надсистема «строительная фирма» может являться подсистемой корпорации, например «Росатом». Обычно в качестве подсистем фигурируют более или менее самостоятельные части систем, выделяемые по определенным признакам и обладающие относительной самостоятельностью и определенной степенью свободы [67, 73, 80, 81].

Компонент системы — любая часть системы, вступающая во взаимодействие с другими частями системы (подсистемами, элементами) [65, 76, 98, 99].

Элемент системы — часть системы с однозначно определенными свойствами, выполняющими конкретные функции и неподлежащие дальнейшему разбиению в рамках решаемой задачи (с точки зрения исследователя).

Понятия *элемент*, *подсистема*, *система* рассматриваются как элементы системы более высокого порядка (метасистема), а элементы при углубленном анализе — как система. При изучении процессов и явлений на макроуровне основное внимание уделяется взаимодействию системы с окружающей средой. Причем системы более высокого уровня можно рассматривать как часть окружающей среды [73].

Состоянием системы называется совокупность существенных свойств, которыми система обладает в каждый момент времени.

Свойство объекта обуславливает его отличие от других объектов или сходство с ними и проявляется при взаимодействии с другими объектами [77].

Характеристика — отражение свойств системы. Главными свойствами системы являются целостность и единство, достигаемые посредством определенных взаимосвязей и взаимодей-

ствий элементов системы и проявляющиеся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы не обладают [74, 78].

Эмерджентность системы (от англ. *emerge* — возникать, появляться) — это степень несводимости свойств системы к свойствам элементов, из которых она состоит [69, 75].

Целостность системы означает, что каждый элемент системы вносит вклад в реализацию целевой функции системы [79]. Целостность и эмерджентность — интегративные свойства системы. Наличие интегративных свойств является одной из важнейших черт системы. Целостность проявляется в том, что система обладает собственной целью [65, 76].

Организованность — сложное свойство систем, заключающееся в наличии структуры и функционирования (поведения). Непременной принадлежностью систем являются их компоненты, именно те структурные образования, из которых состоит целое и без чего оно невозможно [7, 9, 10].

Функциональность — это проявление определенных свойств (функций) при взаимодействии с внешней средой. Здесь же определяется цель (назначение системы) как желаемый конечный результат [6, 9, 10].

Структурность — упорядоченность системы, определенный набор и расположение элементов со связями между ними. Между функцией и структурой системы существует взаимосвязь [8–10]. Изменение содержания (функций) влечет за собой изменение формы (структуры) и наоборот.

Важным свойством системы является наличие поведения — действия, изменений, функционирования и т.д. [8–10].

Поведение системы — это процесс целенаправленного изменения во времени состояния системы. В отличие от управления, когда изменение состояния системы достигается за счет внешних воздействий, поведение реализуется исключительно самой системой, исходя из собственных целей.

Считается, что поведение системы связано с окружающей средой, т.е. с другими системами, с которыми она входит в контакт или вступает в определенные взаимоотношения [80, 81]. Поведение каждой системы объясняется структурой систем низшего порядка, из которых состоит данная система, и наличием признаков равновесия (гомеостаза). В соответствии с признаком равновесия система имеет определенное состояние, которое является для нее предпочтительным. Поэтому поведение систем описывается в терминах восстановления этих состояний, когда они нарушаются в результате изменения окружающей среды.

Развитие системы — это свойство можно рассматривать как важнейшую составляющую часть поведения [82].

Надежность системы — свойство сохранения структуры систем, несмотря на гибель отдельных ее элементов с помощью их замены или дублирования, а живучесть системы — как активное подавление вредных качеств.

Адаптируемость системы — свойство изменять поведение или структуру с целью сохранения, улучшения или приобретения новых качеств в условиях изменения внешней среды. Обязательным условием возможности адаптации является наличие обратных связей [82].

Можно выделить два аспекта взаимодействия системы и окружающей среды:

- 1) во многих случаях принимается характер обмена между системой и средой (веществом, энергией, информацией);
- 2) среда обычно является источником неопределенности для систем.

Воздействие среды может быть пассивным либо активным (антагонистическим, целенаправленно противодействующим системе). Поэтому в общем случае среду следует рассматривать не только безразличную, но и антагонистическую по отношению к исследуемой системе [83, 84].

За рубежом термины *экономико-математическое моделирование* и *эколого-математическое моделирование* не применяют, а идут в ход такие, как *исследование операций* и/или *экономическая (экологическая) кибернетика* и др., однако суть этих терминов не меняется [83, 84].

В общем виде постановка экстремальной задачи состоит в нахождении наибольшего или наименьшего значения целевой функции $f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ при условиях

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \leq b_i (i = 1 \dots m),$$

где f, g_i — заданные функции; $x_j (j = 1 \dots n)$ — искомые переменные; $b_i (i = 1 \dots m)$ — некоторые действительные числа [64, 71].

В зависимости от свойств функций f и g_i эколого-математические методы можно рассматривать как ряд самостоятельных методов решения определенных классов экологических задач. Прежде всего, эколого-математические методы подразделяют на методы решения задач линейного и нелинейного программирования [64, 71]. При этом если все функции f и g_i линейные или не содержат произведения искомых переменных, то соответствующая задача — задача линейного программирования [64, 71].

Выпуклое программирование относится к классу задач нелинейного программирования, где находят \max выпуклой (или \min вогнутой) функции, заданной на выпуклом или вогнутом замкнутом множестве [64, 71].

Квадратичное программирование определяет \max или \min квадратичной функции при условии, что ее переменные удовлетворяют некоторой системе линейных неравенств и/или уравнений [64, 71].

Целочисленное программирование имеет дело исключительно с целочисленными значениями переменных [64, 71].

Параметрическое программирование имеет целевую функцию или функции, определяющие область возможных изменений переменных (ограничения и граничные условия), либо любую комбинацию указанных функций с целевой функцией, которые зависят от некоторых параметров [64, 71].

Дробно-линейное программирование имеет целевую функцию, которая является отношением двух линейных функций; функции, определяющие область возможных изменений переменных, также линейны [64, 71].

Динамическое программирование — задача, в которой процесс нахождения решения является многоэтапным [46].

Стохастическое программирование — задача, в которой целевая функция (или функции), определяющая область возможных изменений переменных, содержит случайные величины [64, 71].

Перечисление некоторых основных задач оптимизации, реализуемых системами управления экологической безопасностью строительства (СУЭБС) [64, 71], можно классифицировать по таким признакам, как: функция управления; состав оптимизационных задач; класс эколого-математических моделей (табл. 1). Задача принятия решения — это задача выбора из нескольких вариантов. Для постановки задачи принятия решения нужны два условия: 1) чтобы было из чего выбирать; 2) должен быть принцип, по которому выбирают вариант.

Известны два принципа выбора: волевой и критериальный. Если нет формализованной модели выбора, применяют волевой принцип выбора как единственно возможный [64, 71]. Критериальный выбор осуществляется, когда имеется формализованная модель, позволяющая генерировать возможные варианты решений, а также имеется критерий для сравнения вариантов. Вариант, по которому критерий имеет наилучшее значение, называют оптимальным (от лат. *optimus*), а критериальную задачу — задачей оптимизации.

**Перечень оптимизационных задач,
в том числе систем управления экологической безопасностью строительства (СУЭБС)**

Функция управления	Задача оптимизации	Класс математической модели
Оперативное управление производством	Оптимизация плановых нормативов (календарные задачи); оптимизация стандарт-планов; оптимизация краткосрочных планов	Нелинейное программирование Имитационное моделирование
Оперативное управление экологической безопасностью строительства	Оптимизация календарно-плановых экологических нормативов; календарные экологические задачи; оптимизация экологических эталонных планов; оптимизация краткосрочных экологических планов	Линейное программирование Целочисленное программирование
Технико-экономическое планирование	Построение сводного плана и прогнозирование развития предприятия (план и прогноз экологической реконструкции); оптимизация портфеля заказов и производственной программы (оптимизация плановых экологических показателей); оптимизация распределения производственной программы по периодам	Балансовые (матричные) модели затраты – выпуск Корреляционно-регрессионный анализ
Технико-экологическое планирование	Построение программы и прогнозирование экологических показателей развития территории; оптимизация портфеля экологических заказов и производственно-экологической программы; оптимизация распределения производственной программы по плановым экологическим периодам	Экстраполяция тенденций Линейное программирование
Подготовка производства (техническая и организационная)	Моделирование номенклатуры изделий; оптимизация состава смесей; оптимизация арматуры, проката; оптимизация планировок генпланов, производств, оборудования; оптимизация маршрута изготовления, плана захваток; оптимизация технологий и технологических режимов	Теория графов Дискретное (целочисленное) программирование Линейное программирование
Организационная подготовка экологической реконструкции объекта и/или территории	Моделирование состава экосистем на территории (виртуальные заповедники); оптимизация состава продукционных систем на территории; оптимизация генеральных планов строительных объектов и/или территории; оптимизация распределения ресурсов в сетевых моделях комплексов продукционных систем и экосистем; оптимизация экологических планировок предприятий, производств и оборудования; оптимизация маршрутов (экологическая логистика); оптимизация технологий и технологических режимов	Сетевое планирование и управление Имитационное моделирование Динамическое программирование Нелинейное программирование

Найденное решение считается оптимальным только в одном единственном смысле, определяемом критерием [140].

Критерий оптимизации — целевая функция, функция цели, функционал.

Задача оптимизации — задача, решение которой сводится к поиску max или min функции цели [64, 71].

При постановке вероятностные (стохастические) задачи содержат параметры в виде случайных величин, для которых установлены вероятности достижения определенных значений [64, 71]. Эти задачи называют задачами с риском, решения которых формулируются как векторы конкретных результатов с оценкой вероятности каждого из них. Классификация математических моделей по элементам представлена на рис. 4, классификация математических методов оптимизации — на рис. 5.

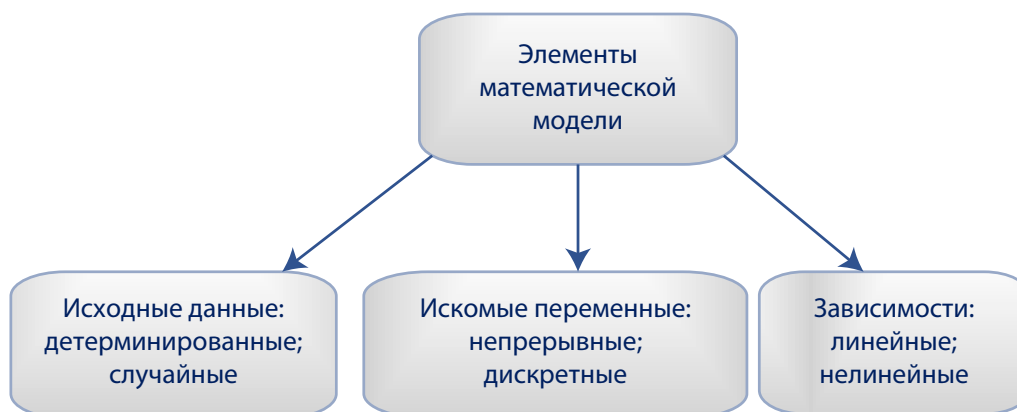


Рис. 4. Классификация математических моделей по элементам

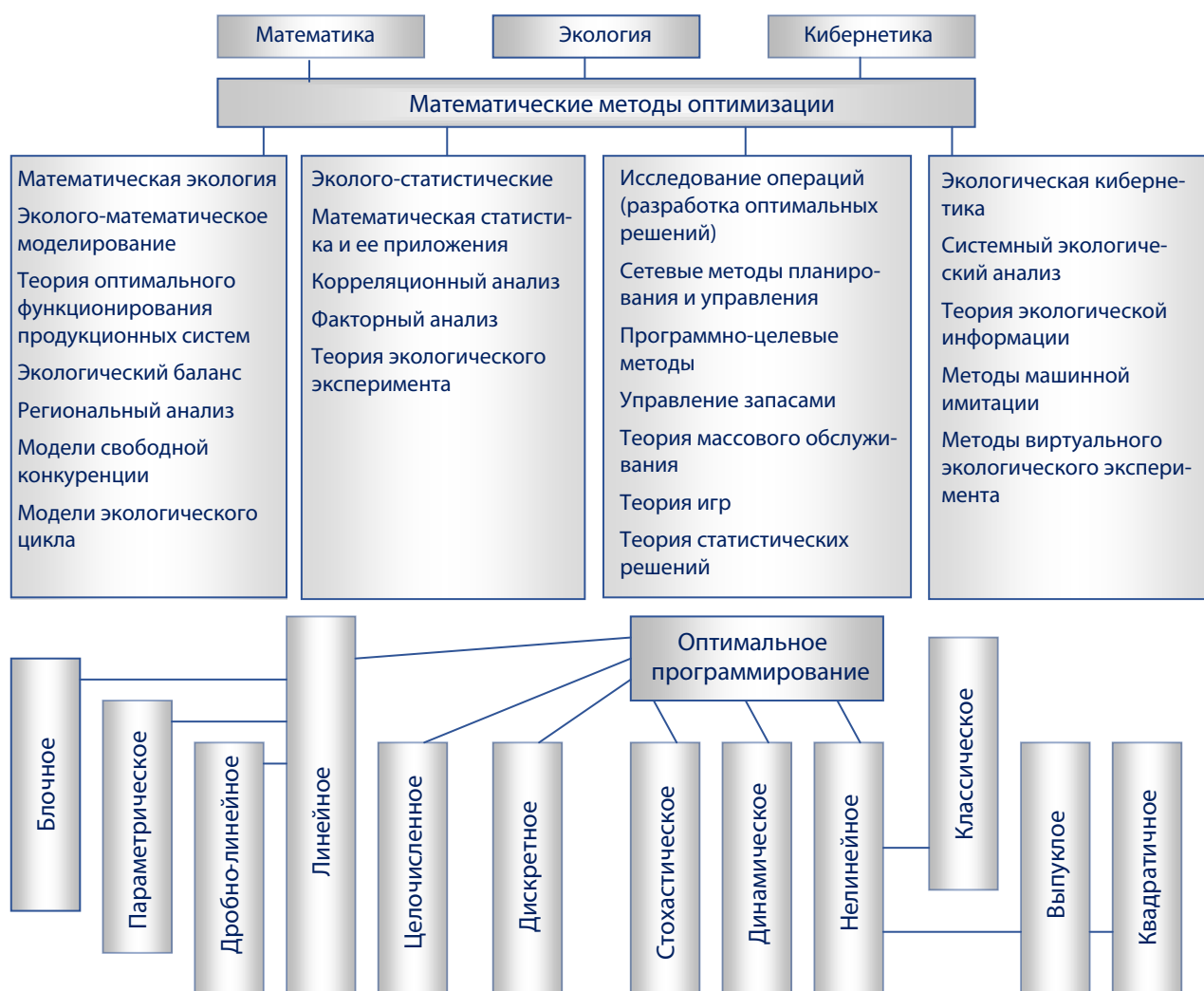


Рис. 5. Классификация математических методов оптимизации

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru