

А. А. Большаков, И. В. Вешнева,
Л. А. Мельников, Л. Г. Перова

**НОВЫЕ МЕТОДЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ
ФОРМИРОВАНИЕМ
КОМПЕТЕНЦИЙ
В ПРОЦЕССЕ
ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ**

Москва
Горячая линия – Телеком
2014

УДК 621.397:621.398:654.924

ББК 32.968

Н76

Рецензенты: директор ИПТМУ РАН, Заслуженный деятель науки РФ, чл.-корр. РАН *А. Ф. Резчиков*, проректор по инновациям СПбГТИ(ТУ), Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор техн. наук, профессор *Т. Б. Чистякова*

Авторы: А. А. Большаков, И. В. Вешнева, Л. А. Мельников, Л. Г. Перова

Н76 Новые методы математического моделирования динамики и управления формированием компетенций в процессе обучения в вузе / А. А. Большаков, И. В. Вешнева, Л. А. Мельников и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 250 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0334-0.

Рассмотрены результаты решения актуальной научно-технической проблемы создания динамических математических моделей сложных социальных и экономических систем, применимых для решения задач повышения эффективности управления. В рамках этой проблемы решалась фундаментальная задача разработки математической модели эволюционной динамики социальных систем, характеристики которых типичны для систем менеджмента качества вуза. В результате исследования разработана процедура генерации комбинированных моделей социально-экономических систем, предложен метод формирования многомерных ключевых показателей на основе теории нечетких множеств и сбалансированной системы показателей и целей. Разработаны модели эволюционного поля социально-экономических систем, а также комбинированные динамические модели принятия решений в социально-экономических системах. Созданы методы и комбинированные алгоритмы определения пространственно-временной корреляции. Разработаны методы и комбинированные алгоритмы анализа на основе теории катастроф. Проведено вычисление пространственно-временных корреляционных функций в форме мод Каруна-Лова и определены веса корреляций и структуры, оказывающие определяющее влияние на поведение образовательной организации. Разработан прототип информационно-аналитической системы поддержки системы менеджмента качества вуза. Предложены принципы и схема построения комбинированных моделей для исследования и управления сложными социально-экономическими системами.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области построения методов математического моделирования и управления сложными социально-экономическими системами.

ББК 32.968

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Научное издание

Большаков Александр Афанасьевич, **Вешнева** Ирина Владимировна
Мельников Леонид Аркадьевич, **Перова** Лариса Геннадьевна

Новые методы математического моделирования динамики и управления формированием компетенций в процессе обучения в вузе

Редактор Ю. Н. Чернышов
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова
Обложка художника О. Г. Карповой

Подписано в печать 15.04.2013. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 15,625. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-9912-0334-0

© Авторы, 2013

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2013

Введение

Увеличивающаяся трудность управления современными сложными социально-экономическими системами, их взаимная интеграция и ряд других факторов вызывают необходимость рассмотрения этого нового класса объектов. Наряду с ранее относительно хорошо изученными техническим и организационными системами появилась потребность в математическом моделировании и автоматизированном управлении этими системами. При формировании управляющих воздействий требуется учитывать наличие человека как активного звена в объекте и/или устройстве управления.

Создание классической теории автоматического управления в период с 70-х годов XIX века до середины XX века позволило автоматизировать широкий класс технических систем в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и т. д. Особенности этих технических (технологических) систем как объектов управления являются определенная детерминированность, линейность (линеаризуемость в малом), реализуемость, стационарность, относительная простота, сосредоточенность координат, достаточная изученность характеристик, возможность построения регулярных математических моделей.

Для синтеза систем управления техническими объектами классическая теория автоматического управления использует структурное математическое моделирование и формализованные методы, разработанные на основе теорий дифференциальных уравнений и оптимального управления, операционного исчисления, гармонического анализа.

Исследования по созданию автоматических систем для управления более широким классом технических объектов, обладающих одним или несколькими такими свойствами, как нелинейность, распределенность координат, недетерминированность, нестационарность, способствовали формированию современной теории управления. При этом были созданы формализованные регулярные методы синтеза систем управления этим расширенным классом технических объектов на основе представлений пространства состояний, векторно-матричного исчисления, теории оптимального управления

и систем. С помощью этих методов синтезированы различные типы систем управления: многомерные, нелинейные, с распределенными координатами, с переменными параметрами, дискретные, адаптивные, оптимальные и др.

Попытки создания систем управления объектами с неопределенностями, которые не могут быть описаны статистически, а также сложными нелинейными дискретными техническими объектами и т. п., которыми обычно весьма успешно управляет человек-оператор или лицо, принимающее решение (ЛПР), привели к идее использования методов искусственного интеллекта [1–7]. Работы в данном направлении составляют основу новейшей теории управления. Наибольших успехов при синтезе управления подобными техническими объектами добились при использовании аппарата искусственных нейронных сетей [8, 9], нечеткой (fuzzy) логики [10–13], эволюционных (генетических) алгоритмов [8]. Работа ЛПР в современных технических системах характеризуется существенным возрастанием масштабов производства и соответственно сложности задач контроля и управления. Поэтому поддержка принятия решения на основе методов искусственного интеллекта позволяет уменьшить последствия таких отрицательных явлений, связанных с «человеческим фактором», как снижение надежности, качества управления в реальном времени, точности из-за плохого прогноза, а также медленное освоение новых управляющих функций и др. Однако эти методы слабо приспособлены для применения в автоматизированных системах управления (АСУ) реального времени, а также требуют непрерывного или периодического извлечения знаний из ЛПР для управления нестационарными техническими системами.

Однако указанные методы искусственного интеллекта в основном используются как дополнительные, подчиненные основной схеме синтеза системы управления техническими объектами. При этом созданные устройства и алгоритмы (программы) часто выступают в роли своеобразного компенсатора таких особенностей технических систем, как неизмеряемость координат, качественный характер переменных и др.

Формирование современной теории управления другим классом объектов — организационными системами завершилось в середине XX века. К основным ее достижениям следует отнести разработанную классификацию организационных систем на базе системного подхода, принципы построения, реконструкции и функционирования этих систем.

Однако такие особенности организационных систем, как сложность, активность, открытость, самоорганизация, нестационарность, нелинейность, многомерность и другие, обусловили слабое использование в этой сфере формализованных регулярных методов синтеза управления. В основном здесь применяются эвристические способы, в которых отражается многолетний опыт человечества в создании, модернизации и эксплуатации организационных систем. Наличие человека как в объекте, так и в системе управления, обусловили существенное возрастание роли «человеческого фактора» как при проектировании организационных систем, так и при формировании специфических по сравнению с техническими системами управляющих воздействий на этапе функционирования. Несмотря на попытки формализации в этой области по-прежнему превалирует субъективность принимаемых управленческим персоналом решений. Следует, тем не менее, отметить пока немногочисленные попытки использования методов искусственного интеллекта для поддержки принятия управленческих решений в организационных системах на верхних уровнях иерархии. Они основаны на формализации знаний по выработке управляющих воздействий при типовых ситуациях функционирования организационных систем. Здесь следует отметить работы В.Н. Буркова по созданию теории активных систем [14–18]; Д.А. Новикова по использованию теории игр, принятия решений и механизмов управления в организационных системах [18–20]; А.В. Щепкина по механизмам внутрифирменного управления [21]; Л. Канторовича, Л. Лурье, В. Новожилова по теории математического моделирования и оптимального планирования [22, 23].

Стремление расширить класс объектов математического моделирования и автоматизации включением в него сложных социально-экономических систем привело к необходимости создания новых методов решения задач управления. Эта тенденция обосновывается требованиями экономического развития современного общества с учетом проблем применения регулярных математических методов, а также классической и современной теорий автоматического управления в задачах управления сложными социально-экономическими системами.

Новый класс — сложные социально-экономические системы (ССЭС) обладает чертами, в первую очередь, более широкого класса организационных систем. Наиболее важными характеристиками, которые требуется учитывать, являются многомерность, сложность и изменчивость структуры, наличие и смена многих целей, недетерминированность, активность и ряд других. Наличие ЛПР в систе-

мах управления ССЭС наряду с позитивным аспектом, связанным со свойством адаптивности, толерантности к изменению структуры, свойств системы и другим факторам, с субъективной оптимизацией принимаемых решений, обладает и отрицательной стороной. К ней следует отнести неспособность к переработке большого объема информации, снижение надежности из-за утомляемости, возможно недостаточно квалификации, запаздывание в принятии управленческих решений и т. д.

Гибридный характер сложных социально-экономических процессов объясняет тот факт, что применение только формализованных регулярных методов синтеза управления, хорошо зарекомендовавших себя для технических систем, или только эвристических способов, характерных для организационных объектов, не дает здесь желаемого результата.

Поэтому для создания эффективно функционирующих систем управления сложными социально-экономическими процессами предлагается использовать комбинированные подходы, сочетающие в себе достоинства как формализованных регулярных методов, так и интеллектуальных методов и эвристик. Более того, опыт использования этих методов при решении задач моделирования и синтеза управления сложными социально-экономическими процессами целесообразно автоматически накапливать, анализировать, систематизировать и использовать при решении вновь возникающих задач моделирования и управления.

Отметим также, что граница между формализованными регулярными методами и эвристическими способами достаточно условна. Так, при нарушении допущений, принимаемых при использовании формализованного метода, его применение может оказаться некорректными. Использование дополнительной априорной информации, выраженной в виде эвристик, может способствовать регуляризации задачи и ее успешному решению новым интеллектуальным методом. По мере накопления опыта использования регуляризованного эвристического способа и его последующего теоретического обоснования он может перейти в класс интеллектуальных и затем — формализованных регулярных методов.

Для моделирования и синтеза систем управления сложными социально-экономическими процессами на основе концепции комбинированного подхода созданы необходимые условия: существенно возросла мощность компьютеров и вычислительных сетей, имеются развитые базы данных, информационные технологии. На этом информационно-техническом фундаменте усилиями ученых достиг-

нуты определенные успехи в области искусственного интеллекта, под которым понимается область компьютерной науки, занимающейся автоматизацией разумного поведения [1]. С точки зрения решаемой проблемы под искусственным интеллектом понимаются формализованные методы, позволяющие решать с помощью компьютера задачи управления не хуже, чем естественный интеллект.

Направление искусственного интеллекта впитало в себя эвристики, способы, методы и подходы из различных научных областей. Это объясняет до сих пор существующую разрозненность исследователей, проектировщиков и конструкторов, предпочитающих при решении задач использовать только определенные, хорошо известные им методы.

Перспективными для моделирования и создания систем управления сложными социально-экономическими процессами являются нечеткая логика, экспертные системы, системы естественного языкового общения, распознавания образов, системы, основанные на знаниях, нейронные сети.

Нечеткие множества и нечеткая логика, которые возникли благодаря Л. Заде [10], послужили основой для создания огромного множества способов и алгоритмов, в том числе для решения таких задач, как моделирование и управление объектом, свойства которого описаны лишь качественно в нематематической форме. Эти методы решают задачи моделирования и управления объектами с выходными переменными, которые характеризуют качество продукции или условия ее производства, но не поддаются измерению (текстура, эластичность, вкусовые качества и т. п.). На основе теории нечетких множеств разработаны методы синтеза нечетких регуляторов, которые дополняют обычные одноконтурные системы регулирования вспомогательными контурами для компенсации возмущений, изменения структуры и адаптации основного контура. Кроме этого, нечеткий подход используется для перенастройки систем управления в нестационарных, в том числе аварийных производственных ситуациях. Наконец, отдельные нечеткие системы управления применяются для воспроизведения действий человека-оператора в системах организационного и организационно-технического управления верхнего уровня для контроля диагностики и оптимизации сложного технологического объекта управления.

Экспертные системы (ЭС) по достоинству являются одним из самых ярких примеров эффективного применения искусственного интеллекта. Их несомненным достоинством, подтвержденным опытом их успешного использования, является формализация знаний

экспертов в узкой предметной области для последующей поддержки принятия решений в различных отраслях хозяйства. За прошедшие десятилетия ЭС прошли несколько этапов в своей эволюции от несложных, статических до динамических систем, способных автоматически приобретать знания.

Эффективность применения ЭС, в первую очередь, определяется знаниями, содержащимися в базе. Поэтому при их создании большое внимание уделяется методам извлечения, обработки, представления знаний и манипуляции ими. Важнейшими характеристиками ЭС также являются «прозрачность» получаемых результатов, поэтому пользователь имеет возможность проследить всю цепочку вывода; удобный, «дружественный» интерфейс (обычно на ограниченном естественном языке).

При использовании ЭС для поддержки принятия решений в системах управления в них включают различные вычислительные модули для получения вспомогательной информации, например, для решения системы дифференциальных уравнений, при математическом моделировании некоторого объекта, поэтому ЭС становится гибридной (комбинированной).

Искусственные нейронные сети (ИНС), генетические алгоритмы создаются по принципам организации и функционирования их биологических аналогов. На основе примеров осуществляется обучение ИНС, которые способны решать широкий круг задач распознавания образов, идентификации, прогнозирования, оптимизации и управления сложными объектами.

Обоснованное применение вышеперечисленных методов искусственных интеллектов и их сочетаний требует знания задач, решаемых системами управления сложными социально-экономическими объектами, их особенностей.

Однако слабая изученность задач моделирования и автоматизации сложными социально-экономическими системами, отсутствие методов моделирования и синтеза интеллектуальных систем управления сложными социально-экономическими процессами обуславливают необходимость научных исследований в этом направлении.

В основе предлагаемой концепции синтеза математических моделей этого нового класса сложных социально-экономических процессов содержатся принципы совместного использования как регулярных, так и интеллектуальных методов и эвристических способов.

В связи с этим в данной монографии поставлена проблема комбинированного использования формализованных и интеллектуальных методов и эвристических способов при построении комбиниро-

ванных (гибридных) математических моделей сложных социально-экономических система (процессов) для повышения эффективности управления ими.

В первом разделе предлагается методология создания комбинированных математических моделей сложных социально-экономических систем на базе анализа этого нового класса объектов, приводятся принципы построения математических моделей, обобщенная интеллектуальная процедура синтеза сложных СЭС.

Во втором разделе впервые представлена математическая модель для количественной многоаспектной характеристики качества социального объекта, подобная моделям, используемым в естественнонаучных исследованиях. Модель, сформированная на принципах лингвистического моделирования, может быть использована как база экспертной системы мониторинга качества образования и как основа качественного анализа качества.

В третьем разделе представлен метод количественной оценки качества формирования компетенций преподавателей вуза, аналогичный используемым в естественнонаучных исследованиях. Метод, сформированный на принципах лингвистического подхода, может быть использован в качестве основы количественного анализа качества образования.

В четвертом разделе введены комплексные функции принадлежности при построении динамической модели управления формированием заданного набора компетенций студентов. Введены ортогонализированные знакопеременные базисные функции как функции принадлежности. Конструирование функций принадлежности проводится с учетом мотивационной части компетенции. Приведены квантово-механические аналогии. Апробация метода проведена при проведении оценки состояния компетенций в группе студентов 5-го курса специальности «Медицинская физика», изучающих спецкурс «Матричная оптика» перед изучением спецкурса и после.

В пятом разделе описывается проектирование эволюционных моделей на основе моделирования процесса формирования компетенций студентов вуза. Вводятся комплексные функции принадлежности, уравнение непрерывности, рассматриваются результаты эксперимента.

В шестом разделе представлен описание многомерных ключевых показателей на основе теории нечетких множеств и наиболее часто используемой стратегии сбалансированной системы показателей на примере такой социально-экономической системы, как кафедра вуза.

Последний, седьмой раздел содержит описание опыта использования в вузе в образовательном процессе различных комбинированных методов математического моделирования: при синтезе оптимальных тестов, при генерации тестов для отладки экспертных систем, а также при обучении решению сложных задач в дистанционной образовательной среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 12-07-00598-а).