ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Дмитриенко Валерий Дмитриевич

ЭВОЛЮЦИОННО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

05.13.16 - Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях в отрасли технических наук

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Харьков - 1994

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Харьковском политехническом институте

Научный консультант - доктор технических наук, профессор
Корсунов Н.И.

Официальные оппоненты:

чл.-корр. Международной академии информатизации,
доктор физико-математических наук, с.н.с. Букатова И.Л.,

чл.-корр. Академии наук Украины, доктор технических
наук, профессор Евдокимов В.Ф.,

доктор технических наук, профессор Бузовский О.В.

Ведущая организация - Институт кибернетики имени
В.М.Глушкова АН Украины

Защита состоится 12 05 1994 г. в 14 часов 30 минут на заседании специализированного ученого совета Д 068.39.02 в Харьковском политехническом институте (310002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского политехнического института

Автореферат разослан "31" апреля 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета Кизилов В.У.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Перестройка экономики Украины невозможна без широкого внедрения средств вычислительной техники, новых информационных технологий и методов решения сложных задач. В теории автоматического управления, вычислительной технике, в распознавании и классификации образов, прогнозировании случайных процессов, в идентификации, поиске оптимальных решений разработано большое число строгих методов, предназначенных для точного решения различных задач синтеза, оптимизации и применения устройств вычислительной техники и систем управления. Однако решение практических задач часто затрудняется такими факторами как многоэкстремальность, нелинейность, высокая размерность, большое число уровней декомпозиции исходного описания объектов и отсутствие детерминированных процедур их получения, необходимость применения алгоритмов синтеза снизу - вверх и алгоритмов с экспоненциальным временем вычислений. Поэтому при решении многих задач даже на самых мощных вычислительных системах очень быстро обнаруживаются границы применимости строгих методов. В то же время человек, не обладая огромным быстродействием ЭВМ, указанные задачи, хотя и не оптимально, но с приемлемым для практики качеством, все же решает. Это связано с тем, что современные вычислительные машины, как правило, работают на детерминистическом подходе, основанном на детерминированном или корреляционном анализе входов и выходов объекта, или на анализе причин и следствий. Человек же многие свои решения принимает на основе эвристик, базирующихся на его опыте, на основе обучения на селекции удачных и неудачных решений, на основе тех миллиардов лет естественной эволюции, в результате которой из простейших живых организмов развился интеллект современного человека. Конечный результат длительного эволюционного процесса в природе дает основание считать, что в настоящее время при решении многих сложных задач весьма перспективно моделировать этот процесс. Введение эвристик и идей эволюционного развития в алгоритмы функционирования вычислительных машин привело к появлению эволюционного вычислительного подхода, при котором детерминированные или корреляционные связи между входами и выходами отходят на задний план или даже не рассматриваются. На передний план в эволюционном подходе выдвигаются в определенных алгебраических структурах (алгебрах, полугруп-

пах, кольцах и т. п.) идеи эволюционного развития и принципы переработки информации, осуществляемые человеком в условиях неполной информации, отсутствии сведений о характере решения и алгоритме поиска этого решения.

Эволюционный подход, а также комбинированный, включающий в себя как элементы детерминистического, так и эволюционного подходов, позволяют во многих случаях решить и другую проблему - применение элементов и устройств систем управления и вычислительной техники в сложных объектах, которое, как правило, немыслимо без всестороннего исследования на математических моделях. Они позволяют автоматизировать процесс создания математических моделей, а следовательно, во много раз сократить время создания моделей и повысить эффективность применения ЭВМ.

На идеях биологической эволюции и селекции лучших решений в алгебраических структурах основаны эвристическое программирование, эволюционное моделирование, метод самоорганизации математических моделей и генетические алгоритмы. Каждый из этих эволюционно-эвристико-алгебраических (эволюционно-алгебраических) методов позволил решить достаточно широкий круг задач.

Многочисленные публикации по эволюционно-алгебраическим методам показывают, что все эти методы, несмотря на их общность в применении идей развития, эвристик и алгебраических структур при поиске решений в многомерных и многоэкстремальных пространствах, развиваются обособленно. Основы теории каждого из методов далеки от завершения. Существует также широкий круг задач в теории управления и вычислительной технике, которые традиционными методами решаются неудовлетворительно, а эволюционно-алгебраические методы в них не применяются или применяются недостаточно.

Цель диссертационной работы. Разработка эффективных методов анализа и синтеза непрерывных и дискретных математических моделей, устройств вычислительной техники и систем управления на основе формирования и исследования нового эволюционно-алгебраического направления в методах компьютерного моделирования и оптимизации на базе анализа алгоритмов поиска в многомерных и многоэкстремальных пространствах решений.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- формированием на основе анализа пространств решений в задачах моделирования и оптимизации устройств вычислительной техники

и систем управления единого теоретического подхода к известным эволюционно-алгебраическим методам;

- формализованным представлением алгоритмов эволюционно-алгебраических методов на основе теории категорий и последующей разработкой на этом базисе общего алгебраического метода переноса эффективных алгоритмов моделирования и оптимизации из одного метода в другой;

- теоретическим исследованием с помощью теории равновесий для конфликтно взаимодействующих систем основных типов решений, даваемых формализованными алгоритмами эволюционно-алгебраических методов при поиске в многомерных и многоэкстремальных пространствах решений;

- разработкой с использованием предложенного подхода алгебраического аппарата эволюционного моделирования и дальнейшим развитием теории метода самоорганизации математических моделей как наиболее перспективных эволюционно-алгебраических методов поиска решений;

- разработкой и применением новых эволюционно-алгебраических алгоритмов для решения задач моделирования и оптимизации систем управления объектами в условиях существенной априорной неопределенности;

- применением эволюционно-алгебраических алгоритмов для минимизации аппаратурных затрат в устройствах вычислительной техники и системах управления;

- разработкой специальных алгебр и алгоритмов для оптимизации микропрограммируемых устройств вычислительной техники;

- практической реализацией теоретических результатов работы.

Методы исследований базируются на теоретической и методологической основе математического моделирования, теории категорий, теории равновесий для конфликтно взаимодействующих систем, теории катастроф, математической теории аналогий, теории глобального поиска, теории конечных детерминированных автоматов, теории цифровых и аналоговых машин.

Научная новизна. Разработка на основе теории категорий и теории равновесий для конфликтно взаимодействующих систем общего математического аппарата эволюционных методов компьютерного моделирования и оптимизации, позволяющего объединить их в рамках единого научного направления - поиск решений в многомерных и многоэкстре-

мальных пространствах в отсутствии их моделей средствами эволюционно-алгебраических методов. Это направление включает в себя:

- формализованное алгебраическое представление алгоритмов решения проблем поиска в многомерных и многоэкстремальных пространствах решений в отсутствии их моделей и основанный на этом общий метод переноса эффективных алгоритмов моделирования и оптимизации из метода в метод;

- исследование типов решений, получаемых эволюционно-алгебраическими методами, с помощью теории равновесий для конфликтно взаимодействующих систем;

- алгебраический аппарат эволюционного моделирования;

- математический аппарат К-значного дифференциального и интегрального исчислений для синтеза и исследования конечных автоматов;

- развитие теории итерационных алгоритмов самоорганизации на основе теории катастроф и математической теории аналогий;

- синтез новых алгоритмов эволюционного моделирования и метода самоорганизации математических моделей и их приложение для решения актуальных задач: синтеза систем управления; минимизации аппаратурных затрат в различных классах устройств вычислительной техники и системах управления; эффективного распознавания и классификации одномерных и двумерных объектов конечными автоматами.

Основные защищаемые положения.

1. Разработанный математический аппарат и новые алгоритмы эволюционно-алгебраических методов поиска решений.

2. Метод синтеза алгоритмов эволюционно-алгебраических методов моделирования и оптимизации в условиях отсутствия моделей многомерных и многоэкстремальных пространств решений, состоящий в построении категорий пространств решений задач, представлении алгоритмов решения как последовательностей морфизмов в этих категориях и отображении в эти категории последовательностей морфизмов, генерируемых эволюционно-алгебраическими алгоритмами при решении других задач в подобных пространствах.

3. Решение с помощью проблемно-ориентированных средств эволюционно-алгебраических методов актуальных задач моделирования и оптимизации устройств вычислительной техники и систем управления.

4. Разработанные проблемно-ориентированные средства эволюци-

онно-алгебраических методов для моделирования и оптимизации устройств вычислительной техники и систем управления являются инструментом получения качественно новых научных результатов, существенно ускоряют синтез и уточнение математических моделей и законов управления, минимизируют аппаратурные затраты при разработке реальной аппаратуры.

Достоверность полученных результатов обоснована теоретически, математическим моделированием на ЭВМ, результатами практического использования. Эффективность предложенных алгоритмов подтверждается также их преимуществом при сопоставлении результатов решения типовых задач ими и известными алгоритмами.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Практическая ценность диссертационной работы состоит:

- в получении с помощью разработанных эволюционно-алгебраических алгоритмов синтеза математических моделей, устройств вычислительной техники и систем управления, качественно новых способов решения важных технических задач: синтез оптимальных регуляторов по критерию обобщенной работы для объектов с линейно и нелинейно входящими управлениями, с непрерывными и кусочно-полиномиальными характеристиками; синтез и уточнение математических моделей и законов управления с помощью эволюционных методов; минимизации аппаратурных затрат при моделировании и вычислении функций, разбиении схем, при создании микропрограммируемых устройств вычислительной техники и т. д.

- в разработке математического и программного обеспечения для моделирования цифровых устройств с помощью аппарата К-значного дифференциального исчисления;

- в эффективности использования новых эволюционно-алгебраических алгоритмов в любой области науки и техники при выполнении математического моделирования и оптимизации объектов в условиях существенной априорной неопределенности.

Результаты научных исследований нашли практическое применение в разработках, проведенных НИИ НПО "Электротяжмаш" по созданию электропередач тепловозов переменного тока; предприятием п/я А-1495 по разработке математических моделей и исследованию дизель-генераторных установок, и по созданию системы диагностирования и прогнозирования технического состояния тепловозных дизель-генераторов; НПО "Электроприбор" по разработке средств эволюционной вы-

числительной технологии для прогнозирования аварийных ситуаций контрольных стендов энергетических установок; Кишиневским заводом счетных машин при разработке программных средств автоматизации настройки функциональных преобразователей АЦВК и АВК. Отдельные научные результаты используются в Харьковском политехническом институте в курсах лекций: "Системы искусственного интеллекта", "Автоматизация проектирования ЭВМ", "Диагностика и надежность ЭВМ".

Суммарный экономический эффект от использования разработок составляет 808,5 тыс. рублей в ценах 1983 - 1991 гг.

Работа над диссертацией выполнялась в соответствии с тематикой:

- Научного совета по комплексной проблеме "Кибернетика" АН СССР (подкомиссия эволюционного моделирования) в 1980 - 1991 гг.;

- общесоюзной научно-технической программы 0.54.01 "Создать и освоить в эксплуатации высокоэффективные технические средства и технологические процессы на железнодорожном транспорте", утвержденной Постановлением Государственного комитета СССР по науке и технике № 535 от 31 декабря 1986 года;

- координационного плана АН УССР по комплексной проблеме "Теоретическая электротехника, электроника и моделирование" на 1986 - 1990 гг.;

- проектом 1/141 "Стек" Государственного фонда фундаментальных исследований Украины по научному направлению "Математика, информатика и механика".

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на трех международных и 39 Всесоюзных и республиканских конференциях и семинарах, в частности: на школе-семинаре "Структурная адаптация сложных систем управления" Научного совета по комплексной проблеме "Кибернетика" АН СССР (Воронеж, 1977), I и III Всесоюзных научно-технических конференциях "Проблемы нелинейной электротехники" (Киев, 1981; Черкасы, 1988), I - III Всесоюзных семинарах "Перспективы развития вычислительных систем (Применение идей адаптации и эволюции)" (Рига, 1983, 1985, 1989), Всесоюзном семинаре "Эволюционное моделирование и обработка данных радиофизического эксперимента" (Звенигород, 1984), III школе-семинаре "Моделирование и оптимизация сложных систем" (Киев, 1985), X Всесоюзном совещании "Проблемы управления - 86" (Алма-Ата, 1986), Всесоюзной конференции "Моделирование - 88. Проблемы

моделирования динамических систем (Кишинев, 1988), школе-семинаре "Статистические методы распознавания образов и компьютерной кластеризации" (пос. Жукин Киевской обл., 1989), Всесоюзной научно-технической конференции "Математическое моделирование в энергетике" (Киев, 1990), международной конференции IMACS-MCTS Symposium (Франция, 1991), международном симпозиуме "Инженерная экология - 91" (Звенигород, 1991), Всесоюзной научно-технической конференции "Идентификация, измерение характеристик и имитация случайных сигналов" (Новосибирск, 1991), международной научно-технической конференции "MicroCAD-SYSTEM'93" (Харьков, 1993).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 88 работ, в том числе одна монография. Получено четыре авторских свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, двенадцати глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа содержит 489 страниц, включая 298 страниц основного текста, 84 страницы иллюстраций (таблиц и рисунков), 77 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, указываются цель и задачи исследований, приводятся основные защищаемые положения, дается общая характеристика работы.

В первой главе работы выполнен анализ актуальных проблем поиска решений в задачах моделирования и оптимизации устройств вычислительной техники и систем управления. Создание суперЭВМ и вычислительных сетей, казалось бы, дает возможность без особых трудностей решить любые проблемы создания этих устройств. Однако оказывается, что большинство проблем синтеза, оптимизации и применения устройств вычислительной техники и систем управления далеки от окончательного решения не только сейчас, но и в обозримом будущем, поскольку их пространства решений имеют сложную многомерную и многоэкстремальную структуру с числом решений, которое невозможно просчитать современными вычислительными средствами не только за годы, но, порой, и за все время существования планеты или Вселенной.

Аналогичные множества решений, требующие трансвычислений или близких к ним, возникают при решении задач управления сложными

объектами, описываемыми системами нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка, а также при решении проблем математического моделирования разнообразных объектов, использующих те или иные устройства вычислительной техники или систем управления.

Решение перечисленных задач предполагает поиск в многомерных и многоэкстремальных пространствах решений. Обзор работ по явным или неявным методам поиска глобальных экстремумов в различных многомерных и многоэкстремальных пространствах показал, что наиболее перспективными алгоритмами поиска в отсутствии моделей пространств поиска являются эвристические алгоритмы, использующие идеи эволюционного развития живой природы. Универсальность алгоритмов этого типа, позволяющих решать самые разнообразные задачи, убедительно показана в работах многих авторов.

Идеологические основы этого направления заложены работами Л. Фогеля, А. Оуэнса, М. Уолша, А. Г. Ивахненко, И. Л. Букатовой, Л.А. Растригина, Я.З. Цыпкина. Исключительная сложность и поразительное многообразие форм проявления природных эволюционных процессов вызвали появление огромного числа моделей этих процессов и привлекли к их разработке значительное число различных специалистов, большая часть из которых в той или иной степени примыкает к одной из трех школ: школе А.Г. Ивахненко по методам самоорганизации математических моделей, школе эволюционного моделирования И.Л. Букатовой и школе случайного поиска Л.А. Растригина.

Отмечая определенную идейную близость этих школ и их взаимное влияние друг на друга, необходимо отметить и их существенную автономность, связанную как с различным применяемым математическим аппаратом, так и несовпадающими областями применения методов.

Стремительное расширение области применения эволюционно-эвристических методов, необозримо большое число различных используемых алгоритмов и эволюционизирующих объектов потребовали рассмотрения всех эволюционно-эвристических методов с единых теоретических позиций. Отмечая целый ряд значительных результатов по созданию общей теории этих методов, в то же время следует отметить, что все эволюционно-эвристические методы развиваются, практически, обособленно, отсутствуют конструктивные механизмы переноса идей лучших алгоритмов глобального эволюционного и случайного поисков в метод самоорганизации математических моделей, а также быстросходящихся алгоритмов из метода самоорганизации в эволюционное модели-

рование. Теория глобального поиска с помощью эволюционных алгоритмов также далека от завершения, так как вопросы сходимости и устойчивости рассмотрены только для отдельных классов структурированных моделей и алгоритмов, а о пространствах возможных решений в большинстве случаев известно лишь то, что они многомерны и многоэкстремальны и что это часто приводит к неудовлетворительной работе многих алгоритмов при решении конкретных практических задач. Свойства алгебраических структур, в которых в явной или неявной форме ведется поиск решений эволюционно-эвристическими методами и которые делают эти методы по глубинной сути алгебраическими (эволюционно-алгебраическими) практически не рассматриваются.

Отсутствие как достаточно полного теоретического обоснования каждого из эволюционно-алгебраических методов, так и конструктивных теоретических работ, рассматривающих все эволюционные методы с единых алгебраических позиций и позволяющих переносить лучшие идеи и алгоритмы из одного метода в другой, сдерживает развитие и самих методов, и расширение области их эффективного применения.

Анализ принципиальных схем получения результатов с помощью эволюционно-алгебраических методов показал, что все они могут рассматриваться как методы поиска решений на деревьях. Это позволило предложить использование общего математического аппарата: теории категорий - для анализа общих свойств алгоритмов и переноса их из метода в метод, а теорию равновесий при несовпадающих интересах участников - для анализа пространств решений в задачах синтеза и оптимизации устройств вычислительной техники и систем управления.

В конце главы приведены основные научные задачи диссертационной работы.

В главе 2 "Теория категорий и теория равновесий при несовпадающих интересах участников как средства общей теории эволюционно-алгебраических методов" обоснована эффективность использования теории категорий в качестве математического аппарата эволюционно-алгебраических методов. Впервые получено, что с помощью теории категорий, используя последовательность морфизмов категории деревьев (или лесов), любой алгоритм, который в общем случае можно представить в виде некоторого правила обхода узлов дерева (или леса), на произвольном дереве (в произвольном лесу) в любом эволюционно-алгебраическом методе может быть отображен в алгоритм на другом дереве (в другом лесу). Это открывает возможность применения в эво-

люционно-алгебраических методах произвольных алгоритмов из любых других методов, использующих деревья или леса.

Впервые показано, что задачи поиска на деревьях (или в лесах) в условиях ограничений затрат на поиск лучших решений могут быть сформулированы в рамках теории равновесий как конфликт при несовпадающих интересах участвующих сторон. Этот конфликт связан с тем, что пространства возможных решений в большинстве задач, решаемых эволюционно-алгебраическими методами, многомерны, многоэкстремальны, имеют бесконечное или практически бесконечное число решений, поэтому ставить задачу определения единственного оптимального решения во многих случаях практически бессмысленно. В таких случаях необходим специальный математический аппарат, который бы открывал возможности поиска приемлемых решений в задачах, где классические методы бессильны. Таким математическим аппаратом и является теория равновесий при несовпадающих интересах участников (теория равновесий (решений) для конфликтно взаимодействующих систем), разработанная Э.Р. Смольяковым.

С помощью теории равновесий получены и проанализированы различные типы возможных решений задач поиска на деревьях. Показано, что глобальное решение или равновесие по Нэшу на независимых множествах содержится во всех более слабых равновесиях. Однако только одно более слабое решение - решение по Нэшу с одним зависимым множеством - гарантирует, что будет получено глобальное, а не локальное решение.

Полученные типы возможных решений задач поиска на деревьях открывают возможности получения наиболее предпочтительных результатов при решении практических задач оптимизации, особенно при решении множества однотипных задач. В этом случае необходимо выделить одну из них и для нее определить рациональное решение из спектра возможных, а затем использовать этот тип решения на всем рассматриваемом множестве задач.

После выбора приемлемого решения для выделенной задачи целесообразно выявить оптимальную стратегию (или несколько стратегий) поиска решений, а затем использовать эту стратегию на всем множестве решаемых задач. При бесконечном или конечном, но большом множестве допустимых стратегий поиска выделение лучшей стратегии рационально проводить с помощью метода самоорганизации, на основе которого предложен алгоритм получения эффективных оценочных функ-

ций для поиска на деревьях.

В третьей главе "Исследование особенностей пространств решений в задачах метода самоорганизации математических моделей" в терминах теории равновесных состояний сформулирован ряд основных задач, решаемых алгоритмами метода группового учета аргументов (МГУА) и исследованы особенности их пространств решений.

Исследование различных типов равновесий ведется на примере типовой задачи, что позволяет, используя применяемую методику, легко перейти к анализу других задач. Поиск решения рассматриваемой задачи представлен в виде поиска в лесу, где число деревьев определяется числом всевозможных разбиений множества Y_0 исходных данных на подмножества точек обучающей и проверочной последовательностей, а число вершин на каждом дереве - числом всех возможных моделей.

Глобальное решение (или равновесие по Нэшу) этой задачи может быть получено путем определения лучшего листа на каждом дереве и выделения из них с помощью заданного критерия K^* лучшего листа в лесу. Таким образом, глобальное решение задачи предполагает перебор всех моделей (листьев) в лесу, что при решении реальных задач практически не осуществимо. В связи с этим рассмотрен спектр различных более слабых решений исходной задачи, которые введены таким образом, что глобальные решения на независимых множествах содержатся во всех более слабых равновесиях.

Проведенное исследование типов решений, получаемых многорядными алгоритмами МГУА, в которых не устраняется ошибка многорядности, показало, что такие алгоритмы не гарантируют получения не только глобальных, но и самых слабых из введенных типов решений. Для повышения эффективности работы итерационных алгоритмов МГУА необходимо, в первую очередь, устранять или, хотя бы, уменьшать ошибку многорядности и использовать более объективные (в частности, индивидуальные) оценки частных описаний, учитывающие, что получаемые на любом ряду селекции частные модели могут принадлежать склонам различных "холмов" и "пиков" в многоэкстремальном пространстве решений.

Глава 4 посвящена разработке итерационных алгоритмов самоорганизации с идеями глобального поиска в многоэкстремальных пространствах решений.

Анализ типов решений, выполненный в третьей главе, показал,

что в настоящее время в алгоритмах МГУА в той или иной степени используются решения на множестве всех слабо экстремальных состояний, решения на множестве всех слабых активных равновесий, решения по Нэшу на зависимых множествах (с одним зависимым множеством и на независимых множествах). Решения по Нэшу обеспечиваются с помощью переборных алгоритмов МГУА, а слабые решения часто получаются при использовании многорядных алгоритмов, позволяющих работать с числом моделей на многие порядки большем, чем переборные алгоритмы. Попытки усилить слабые решения в многорядных алгоритмах приводят к увеличению объема и сложности вычислений при определении частных моделей, а следовательно, и к сокращению числа возможных синтезируемых моделей в многорядных алгоритмах. В связи с этим актуальны многорядные алгоритмы, которые, с одной стороны, давали бы более сильные решения, чем известные алгоритмы, а с другой, - не приводили бы к резкому возрастанию объема вычислений, необходимых для получения одной модели.

Анализ с помощью теории катастроф многорядных алгоритмов МГУА с передачей в следующие ряды селекции частных описаний показал, что большие ошибки многорядности конечных синтезируемых моделей вызваны тем, что в итерационных алгоритмах часто не обеспечиваются необходимые условия для расщепления неморсовских критических точек. Выяснение причин неудовлетворительной работы рассмотренных алгоритмов позволило предложить ряд новых алгоритмов МГУА, обеспечивающих более благоприятные условия для расщепления неморсовских критических точек, а следовательно, и более точные конечные модели. Однако новые алгоритмы МГУА потребовали более подходящего упорядочения моделей, поскольку оценка всех получаемых в многомерных и многоэкстремальных пространствах математических моделей одним числовым критерием некорректна и часто ведет к потере лучших решений.

Для решения проблем сравнения математических моделей по многим параметрам, выделения различных видов сходных и отличающихся моделей, обеспечения процедур поиска локальных экстремумов в многоэкстремальных пространствах предложено использовать математический аппарат теории аналогий, с помощью которого в разработанных алгоритмах МГУА осуществляется классификация текущего множества частных описаний, а затем - целенаправленный отбор и формирование подмножеств лучших моделей, принадлежащих областям притяжения раз-

личных локальных экстремумов в многоэкстремальном пространстве возможных моделей.

Между операторами аналогий и процедурами принятия решений в многорядных алгоритмах МГУА установлены глубокие параллели, которые позволяют не только проводить классификацию и упорядочить сходство различных частных моделей в МГУА, а значит и выделить в многоэкстремальном пространстве моделей подпространства аналогичных моделей, в каждом из которых экстремальную модель можно искать независимо от других подпространств, но и уточнить понятие частной модели, способы получения таких моделей, а также способы поиска глобальных экстремумов (или близких к ним) в многоэкстремальных пространствах моделей.

Пятая глава посвящена разработке на основе теории категорий алгебраического аппарата эволюционного моделирования.

В начале главы с помощью категорий КР полиномов с одной переменной и категории KDP дискретного представления полиномов с заданной погрешностью и унивалентного функтора F_{PDP} (F_{OPDP}, F_{MPDP}) из категории КР в категорию KDP:

$$F_{OPDP}: Ob(KP) \to Ob(KDP),$$

$$F_{MPDP}: Mor(KP) \to Mor(KDP)$$

показывается, что любому алгоритму МГУА в множестве полиномов одной переменной можно поставить в соответствие алгоритм синтеза в множестве дискретно заданных полиномов. А так как на любом конечном интервале определения дискретно заданных полиномов каждому такому полиному можно однозначно поставить в соответствие конечный предсказывающий автомат, воспроизводящий все значения этого полинома, каждому морфизму категории KDP - отображение соответствующих конечных автоматов, а каждому произведению морфизмов - произведение отображений конечных автоматов, то несложно построить категорию РКА предсказывающих конечных автоматов, изоморфную категории KDP. По аналогии с функтором F_{PDP} нетрудно построить унивалентный функтор F_{PKA} из категории полиномов в категорию РКА.

Известно, что множество полиномов совместно с операциями умножения и сложения полиномов образуют кольцо полиномов, свойства которого и используются при разработке различных алгоритмов МГУА. Для решения задач синтеза или адаптации конечных автоматов в процессе функционирования построен аналогичный алгебраический объект

на основе алгебры A(M,D). Здесь M - множество возможных переходов $S_k^{i\alpha}S_l^{i\beta}$ конечных автоматов $B_i = \langle X^i, Y^i, S^i, \varphi_y^i, \varphi_s^i \rangle$ из состояния $S_k^i \in S^i$ в состояние $S_l^i \in S^i$ при заданных конечных входном X^i и выходном Y^i алфавитах ($\alpha \in X^i$, $\beta \in Y^i$); i ($i = \overline{1, n}$) - индекс, указывающий на принадлежность к i-му автомату; S^i - конечное множество состояний; $y_j^i = \varphi_y^i(x_j^i, S_j^i)$ - функция выходов; $S_{j+1}^i = \varphi_s^i(x_j^i, S_j^i)$ - функция переходов; y_j^i, x_j^i и S_j^i - соответственно выходной символ, входной символ и состояние i-го конечного автомата B_i в момент времени t_j, j = 1, 2,... . Множество D содержит операции "+", "⊗", "." .

Операция "+" позволяет с помощью выражений вида

$$S_k^{i\alpha}S_l^{i\beta} \tag{1}$$

рассматривать последовательность переходов автоматов из состояния в состояние. На множестве M переходов произвольного конечного автомата $B = \langle X, Y, S, \varphi_y, \varphi_s \rangle$ с заданным начальным состоянием и заданной входной последовательностью символов операция обладает свойствами

$$S_q^{\alpha}S_j^{\mu} + S_k^{\beta}S_l^{\eta} = S_k^{\beta}S_l^{\eta} + S_q^{\alpha}S_j^{\mu}, \tag{2}$$

$$S_q^{\alpha}S_j^{\eta} + S_q^{\alpha}S_j^{\eta} = S_q^{\alpha}S_j^{\eta}, \tag{3}$$

$$(S_q^{\alpha}S_j^{\eta} + S_k^{\beta}S_l^{\mu}) + S_m^{\gamma}S_n^{\sigma} = S_q^{\alpha}S_j^{\eta} + (S_k^{\beta}S_l^{\mu} + S_m^{\gamma}S_n^{\sigma}). \tag{4}$$

Свойством (2) утверждается коммутативность операции, а свойствами (3), (4) - ее идемпотентность и ассоциативность.

Операция "⊗" позволяет производить умножение одночленных выражений вида (1) и многочленных выражений вида

$$Z = \sum_{k=1}^{n} S_{ik}^{\alpha k}S_{jk}^{\beta k} = S_{i1}^{\alpha 1}S_{j1}^{\beta 1} + \ldots + S_{in}^{\alpha n}S_{jn}^{\beta n}$$

по правилам

$$S_{i1}^{\alpha 1}S_{j1}^{\beta 1} \otimes S_{i2}^{\alpha 2}S_{j2}^{\beta 2} = S_{i1\odot i2}^{\alpha 1\odot\alpha 2}S_{j1\boxminus j2}^{\beta 1\boxminus\beta 2}, \tag{5}$$

$$\left[\sum_{k=1}^{n} S_{ik}^{\alpha k}S_{jk}^{\beta k}\right] \otimes \left[\sum_{p=1}^{m} S_{ip}^{\alpha p}S_{jp}^{\beta p}\right] = \sum_{k=1}^{n}\left[\sum_{p=1}^{m} S_{ik\odot ip}^{\alpha k\odot\alpha p}S_{jk\boxminus jp}^{\beta k\boxminus\beta p}\right], \tag{6}$$

где операции ⊙, ⊙, ⊡, ⊞ формирования индексов удобнее всего задавать с помощью таблиц.

Операции "+" и "⊗" можно интерпретировать как операции сложения и умножения алгебраических выражений, для которых определен нулевой элемент со свойствами

$$S_j^\alpha S_i^\beta + 0 = S_j^\alpha S_i^\beta, \quad S_j^\alpha S_i^\beta \otimes 0 = 0. \tag{7}$$

Операция "·" позволяет рассматривать выражения вида (1) с коэффициентами из множества целых чисел. Определяется она следующим образом:

$$K \cdot S_j^\alpha S_i^\beta = \begin{cases} 0, \text{ если } K = 0, \\ S_j^\alpha S_i^\beta, \text{ если } K > 0, \\ -S_j^\alpha S_i^\beta, \text{ если } K < 0. \end{cases} \tag{8}$$

При этом потребуем, чтобы выполнялось тождество

$$S_j^\alpha S_i^\beta - S_j^\alpha S_i^\beta \equiv 0, \tag{9}$$

которое будет использоваться при вычитании одного многочленного выражения из другого.

Операцию "·" можно рассматривать как умножение алгебраических выражений на некоторое число. Это следует из свойств (2) - (7), коммутативности операции "⊗", а также из приведенных ниже свойств операций

$$K \cdot (S_q^\alpha S_j^\eta + S_k^\beta S_i^\mu) = K \cdot S_q^\alpha S_j^\eta + K \cdot S_k^\beta S_i^\mu, \tag{10}$$

$$S_i^\alpha S_j^\beta \otimes (S_k^\gamma S_l^\delta + S_m^\mu S_n^\eta) = S_i^\alpha S_j^\beta \otimes S_k^\gamma S_l^\delta + S_i^\alpha S_j^\beta \otimes S_m^\mu S_n^\eta. \tag{11}$$

Если выполняется хотя бы одно из неравенств $j \neq k$, $\eta \neq \mu$, то

$$S_q^\alpha S_j^\eta + S_q^\alpha S_k^\mu = K_1 \cdot S_q^\alpha S_j^\eta + K_2 \cdot S_q^\alpha S_k^\mu. \tag{12}$$

Здесь $K_1 = 0$, $K_2 \neq 0$ или $K_1 \neq 0$, $K_2 = 0$.

Если $q \neq k$, то

$$S_q^{o\alpha} S_j^\eta + S_k^{o\beta} S_i^\mu = K_1 \cdot (S_q^{o\alpha} S_j^\eta + S_k^\beta S_i^\mu) + K_2 \cdot (S_q^\alpha S_j^\eta + S_k^{o\beta} S_i^\mu), \tag{13}$$

где символ "0" обозначает начальное состояние автомата, и $K_1 = 0$, $K_2 \neq 0$ или $K_1 \neq 0$, $K_2 = 0$.

Свойствами (10), (11) выражается дистрибутивность операций "·" и "⊗" относительно сложения. Свойством (12) исключается неоднозначность перехода автомата по входному символу α из исходного состояния S_q в одно из состояний S_j или S_k $(j \neq k)$ или появления на выходе автомата двух разных символов η или μ, если $j = k$, но $\eta \neq \mu$. Свойством (13) из записи конечного автомата исключается од-

но из двух начальных состояний.

Как следует из свойств операций множества $D = \{+, \otimes, \cdot\}$, введенных на множестве M возможных переходов конечных автоматов из состояния в состояние, алгебра $A(M,D)$ является кольцом. В связи с этим можно говорить о функторе между кольцом полиномов и кольцом конечных предсказывающих автоматов. Однако в кольце полиномов кроме двух основных, определяющих кольцо, применяется и целый ряд других операций, позволяющих эффективно решать различные задачи. Аналогичные операции введены и в кольце конечных автоматов, что позволяет в случае необходимости использовать при синтезе автоматов соответствующие аналоги операций из кольца полиномов.

Полученные результаты с помощью категории универсальных алгебр обобщаются на случай переноса любых эволюционно-алгебраических алгоритмов из произвольных алгебр с одинаковыми и различными сигнатурами.

<u>В шестой главе</u> "Алгоритмы эволюционного моделирования на основе алгебр для синтеза конечных автоматов" приведен общий алгебраический подход к построению алгоритмов эволюционного синтеза или адаптации произвольных объектов на основе введения алгебр $A(M,D)$, отражающих специфику решаемых задач. Здесь M - множество возможных элементарных переходов $v_r^{i\,f} v_l^{i\,\delta}$, объектов W_i, $i = \overline{1, n}$, из состояния $v_r^i \in V^i$ в состояние $v_l^i \in V^i$ при наличии множества входных сигналов $f \in F^i$ и получения выходных сигналов (реакций) $\delta \in \Delta^i$, где V^i, F^i, Δ^i - соответственно, множества возможных состояний, входных и выходных сигналов i-го объекта; D - множество операций алгебры, которая должна содержать операции, позволяющие наиболее просто решать задачу синтеза или адаптации объекта из некоторого множества $W = (W_1, W_2, \ldots, W_n)$ исходных объектов при заданном множестве I исходных данных.

При заданной последовательности входных сигналов $f_1^i, f_2^i, \ldots, f_l^i$ выходные сигналы (реакции) δ_j^i, $j = \overline{1, l}$, объектов W_i, $i = \overline{1, n}$, переводят наборы $(I, W_1, W_2, \ldots, W_n)$ в информационную матрицу $\|\beta_{kj}\|$, $k = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, l}$, где $\beta_{kj} = P_j(W_k)$, $P = (P_1, P_2, \ldots, P_l)$ - множество предикатов, определенных на множестве объектов, $P_q = P_q(W)$, $q = \overline{1, l}$. Строка $(\beta_{i1}, \beta_{i2}, \ldots, \beta_{il})$ информационной матрицы $\|\beta_{kj}\|_{n \times l}$ является информационным вектором объекта W_i и составлена из элементов 0 и 1, т. е. из значений предикатов, вычисленных при функционировании объекта. Если все элементы строки

являются единицами, то объект называется корректным для решаемой задачи Z.

На множестве значений выходных функций вводятся метрики $\rho = (\rho_1, \rho_2, \ldots, \rho_d)$, с помощью которых путем введения множества $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \ldots, \Phi_r)$ функционалов на множестве значений выходных функций объектов, оценивается отклонение функционирования некорректных объектов от функционирования корректных. Если при функционировании объекта выполняются условия $\Phi_l \leqslant \varepsilon_l$, $l = \overline{1, r}$, где $\varepsilon_l \geqslant 0$ - некоторые наперед заданные величины, то будем называть его объектом с заданной мерой некорректности функционирования (при $\Phi_l = \varepsilon_l = 0$, $l = \overline{1, r}$, имеем корректный объект). При рациональном выборе множеств D, P, ρ, Φ обычно существуют признаки возможности или невозможности синтеза корректных объектов или объектов с заданной мерой некорректности функционирования из заданного множества W исходных объектов и множества I исходных данных. При наличии указанных признаков получение объекта для решения некоторой задачи Z выполняется следующим образом.

На первом этапе стандартным методом получается множество W^* объектов, из которых по указанным признакам для данной задачи Z из множества W^* с помощью множества операций D алгебры A(M,D) может быть получен корректный объект (или объект с заданной мерой некорректности). На втором этапе выполняется композиция или преобразование полученных объектов и для последующей работы отбирается подмножество лучших (в смысле заданного множества функционалов) объектов, такое, что для данной задачи Z из них может быть получен корректный объект (объект с заданной мерой некорректности). Затем выполняется композиция или преобразование вновь полученных объектов и так далее до тех пор, пока не будет получен один или подмножество объектов, каждый из которых решает заданную задачу Z. При решении задачи адаптации объекта в исходное множество W^* включается и ранее функционировавший объект.

Далее в работе приведены аналоги алгоритмов МГУА с линейными и нелинейными частными описаниями для синтеза предсказывающих конечных автоматов, рассмотрен синтез предсказывающих конечных автоматов с использованием предварительного анализа исходных данных с помощью частотных матриц. Показано, что, как и в случае алгоритмов МГУА, простой предварительный анализ исходных данных может существенно сократить объем необходимых вычислений и при синтезе конеч-

ных автоматов.

В главе семь "Методы и алгоритмы синтеза и исследования К-значных конечных автоматов с применением динамических моделей" выполнена разработка математического аппарата К-значного дифференциального и интегрального исчислений с целью получения по аналогии с МГУА удобного математического инструмента для синтеза дифференциальных моделей по входным и выходным К-значным последовательностям конечных автоматов.

Без нарушения общности можно полагать, что К-значные последовательности принимают значения из множества $M = \{0, 1, \ldots, K-1\}$. С помощью таблиц Кэли на этом множестве можно ввести бинарные операции сложения "$\oplus$" и умножения "$\otimes$".

Алгебра $\langle M, \oplus, \otimes \rangle$ является конечным коммутативным кольцом, в котором при любом К может быть введена и операция вычитания. Операция деления на ненулевые элементы кольца хорошо вводится только в тех случаях, когда К - простое число. Поэтому в дальнейшем, где это необходимо, будем полагать, что К удовлетворяет этому условию.

Считаем, что К-значные входные и выходные последовательности принимают значения из множества М в дискретные моменты времени, задаваемые множеством $N = \{0, 1, 2, \ldots\}$. Рассматривая последовательности как К-значные функции дискретного времени, на них по аналогии с обычным дифференциальным исчислением введем понятия производных К-значных функций.

Определение 1. Отношение приращения функции $\Delta\alpha$ к вызвавшему его единичному приращению Δt независимой переменой назовем производной К-значной функции $\alpha(t)$ по независимой переменной t при данном ее значении $t = t_j$:

$$\dot{\alpha}^{+}(t_j) = \frac{\alpha(t_j + \Delta t) \ominus \alpha(t_j)}{\Delta t}, \tag{14}$$

$$\dot{\alpha}^{-}(t_j) = \frac{\alpha(t_j) \ominus \alpha(t_j - \Delta t)}{\Delta t}, \tag{15}$$

где $\ominus$ - символ операции вычитания по модулю К.

В ряде случаев производную удобнее определить третьим способом:

$$\dot{\alpha}^{\pm}(t_j) = \frac{\alpha(t_j + \Delta t) \ominus \alpha(t_j - \Delta t)}{2\Delta t}. \tag{16}$$

В работе приведены свойства этих производных, введены обыкновенные производные второго и более высоких порядков, а также частные производные, рассмотрены операции обращения взятия производных и соответствующие им интегральные операторы.

На основе определения К-значных производных предложены численные методы решения отдельных К-значных дифференциальных уравнений и их систем.

Разработанный математический аппарат позволил предложить новый тип математических моделей: К-значные дифференциальные и интегральные уравнения и их системы для моделирования объектов, описываемых входными и выходными последовательностями, квантованными по времени и амплитуде. Разработаны алгоритмы самоорганизации для синтеза таких моделей.

Математический аппарат К-значного дифференциального исчисления оказался удобным инструментом не только в эволюционно-алгоритмических методах, но и при исследовании и проектировании цифровых и гибридных схем и БИС. Рассмотрим в качестве примера применения математического аппарата К-значного дифференциального исчисления математическое моделирование работы 32-разрядного сумматора, изображенного на рис. 1, в 9-значном алфавите. Устройство состоит из 448 логических элементов и описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{F}(1,c,t_i)=T^{-1}_{1,c}(\bar{A}(c,t_i)\ominus F(1,c,t_{i-1})), \tag{17}$$

$$\dot{F}(2,c,t_i)=T^{-1}_{2,c}(\bar{B}(c,t_i)\ominus F(2,c,t_{i-1})), \tag{18}$$

$$\dot{F}(3,c,t_i)=T^{-1}_{3,c}(\bar{P}(c,t_i)\ominus F(3,c,t_{i-1})), \tag{19}$$

$$\dot{F}(4,c,t_i)=T^{-1}_{4,c}(A(c,t_i)\&B(c,t_i)\&P(c,t_i)\ominus F(4,c,t_{i-1})), \tag{20}$$

$$\dot{F}(5,c,t_i)=T^{-1}_{5,c}(A(c,t_i)\&F(2,c,t_i)\&F(3,c,t_i)\ominus F(5,c,t_{i-1})), \tag{21}$$

$$\dot{F}(6,c,t_i)=T^{-1}_{6,c}(P(c,t_i)\&F(1,c,t_i)\&F(2,c,t_i)\ominus F(6,c,t_{i-1})), \tag{22}$$

$$\dot{F}(7,c,t_i)=T^{-1}_{7,c}(B(c,t_i)\&F(1,c,t_i)\&F(3,c,t_i)\ominus F(7,c,t_{i-1})), \tag{23}$$

$$\dot{F}(8,c,t_i)=T^{-1}_{8,c}(P(c,t_i)\&B(c,t_i)\ominus F(8,c,t_{i-1})), \tag{24}$$

$$\dot{F}(9,c,t_i)=T^{-1}_{9,c}(P(c,t_i)\&A(c,t_i)\ominus F(9,c,t_{i-1})), \tag{25}$$

$$\dot{F}(10,c,t_i)=T^{-1}_{10,c}(A(c,t_i)\&B(c,t_i)\ominus F(10,c,t_{i-1})), \tag{26}$$

$$\dot{F}(11,o,t_i)=T^{-1}_{11,c}(F(8,o,t_i)\cup F(9,o,t_i)\cup F(10,o,t_i)\ominus F(11,o,t_{i-1})), \quad (27)$$

$$\dot{F}(12,o,t_i)=T^{-1}_{12,c}(F(4,o,t_i)\cup F(5,o,t_i)\cup F(6,o,t_i)\cup F(12,o,t_i)\ominus \ominus F(11,o,t_{i-1})), \quad (28)$$

$$\dot{SU}(o,t_i) = \begin{cases} T^{-1}_{sc}(F(12,o,t_i) \ominus SU(o,t_{i-1}), \text{ если } \Delta C(t_i) \geq 7, \\ SU(o,t_i) \ominus SU(o,t_{i-1}), \text{ если } \Delta C(t_i) < 7, \end{cases} \quad (29)$$

$$\dot{PE}(o,t_i) = \begin{cases} T^{-1}_{pc}(F(11,o,t_i) \ominus PE(o,t_{i-1}), \text{ если } \Delta C(t_i) \geq 7, \\ PE(o,t_i) \ominus PE(o,t_{i-1}), \text{ если } \Delta C(t_i) < 7, \end{cases} \quad (30)$$

где $F(1,o,t_o) = 1$, $F(I,o,t_o) = 0$ при $I = \overline{2,12}$, $o = \overline{1,32}$; $SU(o,t_o) = P(o,t_o) = 0$ при $o = \overline{1,32}$; c - номер разряда сумматора; $A(o,t_i)$, $B(o,t_i)$, $P(o,t_i)$, $F(\cdot,o,t_i)$, $SU(o,t_i)$, $PE(o,t_i)$ - К-значные переменные; $T_{i,c}$, T_{sc}, T_{pc} ($i = \overline{1,12}$, $o = \overline{1,32}$) - вещественные константы, учитывающие инерционность реальных элементов, масштаб времени и величину К.

Уравнения (17) - (19) описывают логические элементы "НЕ" сумматора, уравнения (20) - (26) - элементы "И", уравнения (27) - (28) - элементы "ИЛИ", а соотношения (29) и (30) - триггеры выходного регистра сумматора.

На рис. 2 приведены временные диаграммы работы сумматора, полученные в результате решения системы К-значных дифференциальных уравнений (17) - (30). При этом принималось: К = 9, максимальный уровень логической единицы равен 5 В, шаг квантования по амплитуде - 0,625 В, сигналы, большие четырех в К-значном алфавите, интерпретировались в качестве логической единицы, а равные нулю или единице - логическим нулем. Из рис. 2 видно, что в интервалы времени [2, 9), [17, 24) на выходах $F(10,1,t_i)$ и $F(11,1,t_i)$ появляются всплески помех, которые записываются в триггер для хранения единицы переноса при наличии на входе синхронизации триггера перепада сигнала $C(t_i)$ из нуля в единицу. Наличие в интервалы времени [4, 8) и [20, 24) ложных сигналов логической единицы переноса на этом триггере приводят к нарушению правильности функционирования устройства, что невозможно выявить с помощью булевого моделирования сумматора.

Восьмая глава работы посвящена применению эволюционно-алгеб-

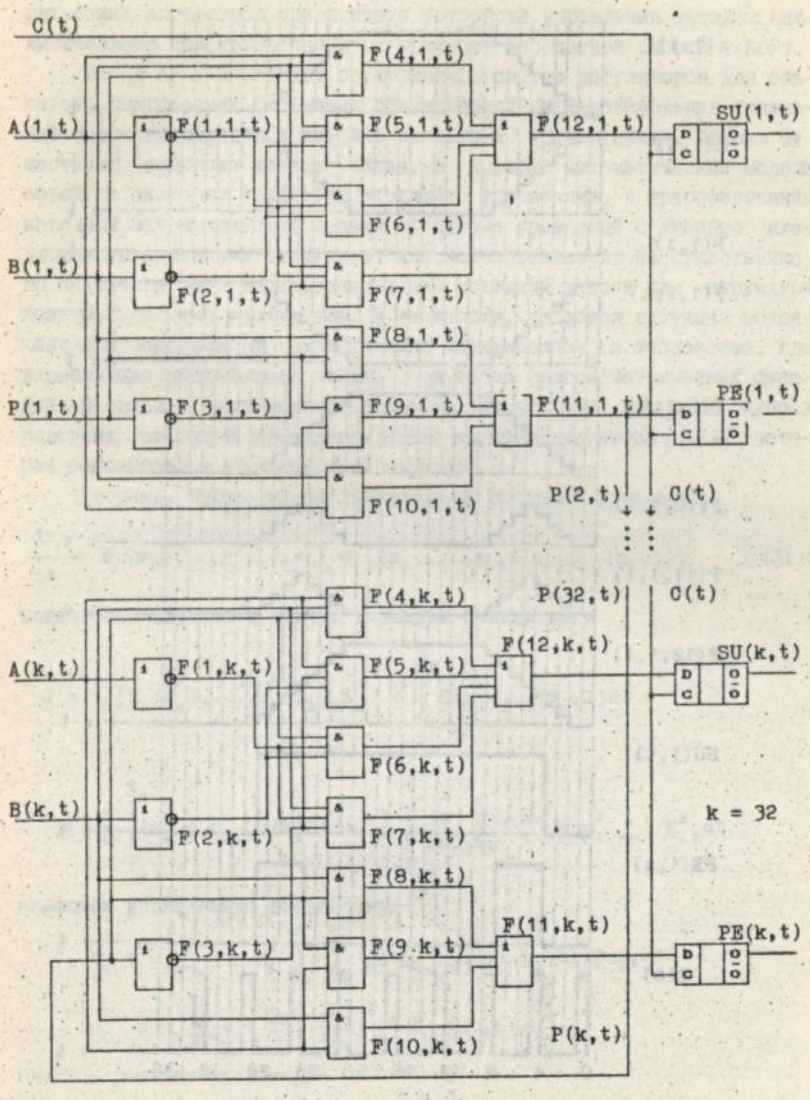
C(t)
A(1,t)
B(1,t)
P(1,t)
F(1,1,t)
F(2,1,t)
F(3,1,t)
F(4,1,t)
F(5,1,t)
F(6,1,t)
F(7,1,t)
F(8,1,t)
F(9,1,t)
F(10,1,t)
F(11,1,t)
F(12,1,t)
SU(1,t)
PE(1,t)
P(2,t)
C(t)
A(k,t)
B(k,t)
F(1,k,t)
F(2,k,t)
F(3,k,t)
F(4,k,t)
F(5,k,t)
F(6,k,t)
F(7,k,t)
F(8,k,t)
F(9,k,t)
F(10,k,t)
F(11,k,t)
F(12,k,t)
P(32,t)
C(t)
SU(k,t)
PE(k,t)
P(k,t)
k = 32

Рис. 1

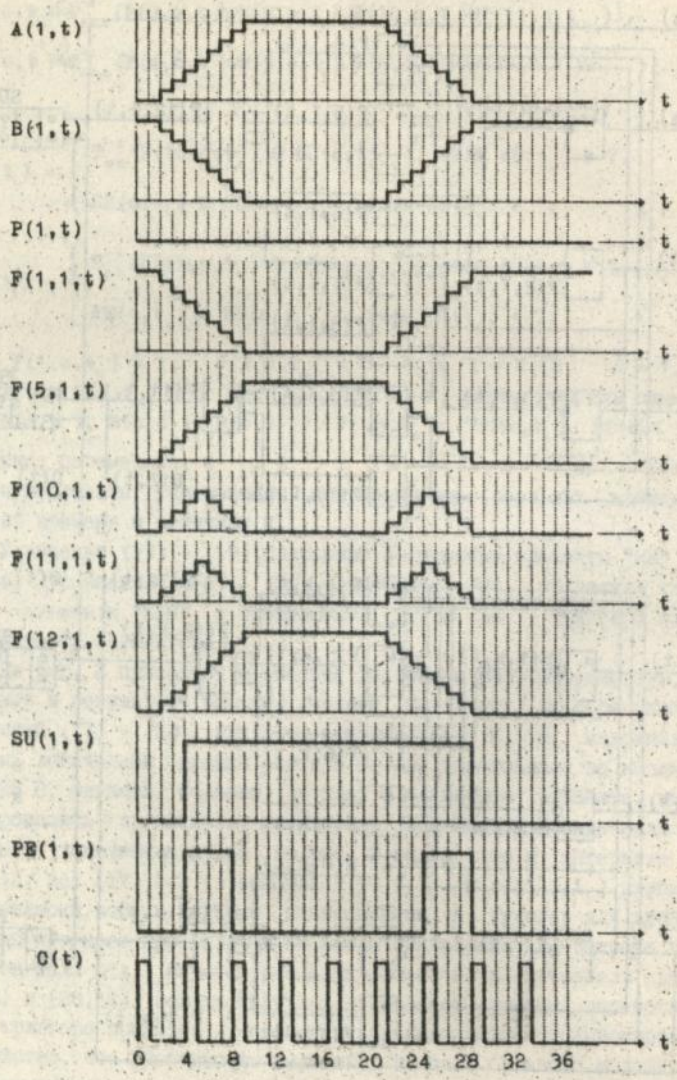
A(1,t)
B(1,t)
P(1,t)
F(1,1,t)
F(5,1,t)
F(10,1,t)
F(11,1,t)
F(12,1,t)
SU(1,t)
PE(1,t)
C(t)
t
0 4 8 12 16 20 24 28 32 36

Рис. 2

раических алгоритмов при синтезе устройств управления методом аналитического конструирования по критерию обобщенной работы (АКОР).

Метод АКОР позволяет осуществлять синтез регуляторов для объектов, описываемых системами обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка с линейно входящими управлениями. Однако существуют обширные классы задач, в которых математические модели объектов включают нелинейно входящие управления, а преобразование исходной математической модели к системе уравнений с линейно входящими управлениями затруднено или нежелательно из-за существенного искажения либо трансформирования исходной задачи или структуры конечной системы управления. В частности, подобная ситуация возникает при описании тягового привода электровозов и тепловозов, где управляющие воздействия входят под знаки тригонометрических функций. В связи с необходимостью решать задачи для широкого класса подобных объектов предложена новая модификация метода АКОР, которая основывается на следующей теореме.

Теорема. Пусть объект описывается системой уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} + f_i(x_1,\dots,x_n,t) = \sum_{j=1}^{m} \varphi_{ij}(x_1,\dots,x_n,t)u_{ij}\psi_{ij}(u_1,t), \qquad (31)$$

тогда оптимальными в смысле минимума функционала

$$J = V_K[x_1(t_2),\dots,x_n(t_2),t_2] + \int_{t_1}^{t_2} Q(x_1,\dots,x_n,t)dt +$$

$$+ \frac{1}{2}\int_{t_1}^{t_2}(u_1^2 + u_{1on}^2)/k_1^2 dt + \frac{1}{2}\int_{t_1}^{t_2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(u_{ij}^2 + u_{ijon}^2)/k_{ij}^2 dt$$

являются управляющие воздействия

$$u_1 = u_{1on} = -k_1^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\frac{\partial V}{\partial x_i}\varphi_{ij}u_{ij}\psi_{ij}(u_1,t)/2u_1,$$

$$u_{ij} = u_{ijon} = -k_{ij}^2\frac{\partial V}{\partial x_i}\frac{\varphi_{ij}}{2}\psi_{ij}(u_1,t),$$

где V - решение уравнения

$$\frac{\partial V}{\partial t} - \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial V}{\partial x_i}f_i(x_1,\dots,x_n,t) = -Q(x_1,\dots,x_n,t)$$

при граничном условии

$$V[x_1(t_2),\ldots,x_n(t_2),t_2] = V_k[x_1(t_2),\ldots,x_n(t_2),t_2].$$

Здесь x_i $(i = \overline{1, n})$ - фазовые координаты объекта; f_i, φ_{ij}, ψ_{ij}, V_k, Q - непрерывные функции; k_i, k_{ij} - положительные весовые коэффициенты.

При аппроксимации нелинейных функций f_i, V_k, Q рядами и большом n, как и в случае классических теорем А.А. Красовского, выражения для управляющих воздействий содержат, как правило, такое большое число слагаемых, что возникают проблемы их аппаратурной или алгоритмической реализации. В работе предложены два пути упрощения этих выражений. Первый - определение функции V обычным методом, а затем получение ее более простых описаний с помощью алгоритмов самоорганизации. Второй - получение функции V путем решения последовательности оптимизационных задач с использованием идей селекции и постепенного усложнения математического описания, применяемых в алгоритмах самоорганизации. Рассмотрен также подход к упрощению функции V на основе использования временной иерархии.

Используя предложенные алгоритмы упрощения функции V и алгоритмы МГУА с глобальным поиском в пространстве моделей, выполнен синтез регулятора для дизель-электрической станции с турбопоршневым двигателем.

Применяя новую модификацию АКОР для объектов с нелинейно входящими управлениями и второй путь получения функции V, осуществлено аналитическое конструирование устройств управления тяговым асинхронным приводом тепловоза переменного тока и рассмотрены вопросы их технической реализации на локомотиве.

Девятая глава посвящена применению эволюционно-алгебраических алгоритмов для минимизации аппаратурных затрат в устройствах вычислительной техники и систем управления.

В начале главы рассмотрены проблемно-ориентированные алгоритмы самоорганизации и примеры их применения для оптимизации аналоговых математических моделей. Затем на основе специально введенной алгебры разработаны эволюционно-алгебраические алгоритмы для получения кусочно-полиномиальных выражений по таблично заданным функциям с учетом заданной погрешности приближения, объема памяти, необходимой для хранения коэффициентов выражений, и временных или аппаратурных затрат на вычисление значений функций.

Алгоритмы кусочно-полиномиальной аппроксимации на основе метода самоорганизации математических моделей могут эффективно использоваться и при реализации законов управления, в частности, в аналитическом конструировании регуляторов по критерию обобщенной работы. В этом случае в исходной системе уравнений (например, вида (31)) наиболее сложные функции аппроксимируются кусочно-полиномиальными выражениями и исходная система уравнений распадается на ряд подсистем, для которых синтезируются законы управления, реализовать каждый из которых, а также обеспечить необходимые условия переключения законов управления значительно проще, чем для исходного объекта. В работе приведен пример применения этого подхода к синтезу регулятора, улучшающего рабочий процесс и качество переходных процессов четырехтактного дизеля со свободным турбокомпрессором.

При разработке вычислительных устройств часто возникает необходимость реализации тех или иных функций устройства с помощью нескольких аппаратурных единиц. Удачное или неудачное распределение этих функций между различными аппаратурными единицами может приводить к уменьшению или, наоборот, увеличению аппаратурных затрат. Подобные задачи возникают и при математическом моделировании на аналоговых или гибридных вычислительных комплексах, когда электронные модели объектов содержат сотни операционных усилителей и многие десятки нелинейных блоков. Во многих случаях решение подобных технических задач сводится к решению задач о разрезании графа на две или большее число частей. Эволюционный подход в отличие от традиционных алгоритмов позволяет не только минимизировать общее число разрезанных цепей, но и легко учитывать и различные дополнительные требования, например: верхние и нижние ограничения на размеры отдельных частей; ограничения на число разрезанных цепей (ребер) для каждой части, наличие выделенных цепей, которые не должны быть разрезаны или, наоборот, должны быть обязательно разрезаны и т.д.

Для решения задач разрезания графов предложена проблемно-ориентированная алгебра и эволюционные алгоритмы в ней, работа одного из которых продемонстрирована на примере.

В десятой главе "Применение алгоритмов самоорганизации при оптимизации динамических режимов дизелей с газотурбинным наддувом" рассмотрено решение задач синтеза и доводки математических моделей

туроопоршневых двигателей, а также задачи синтеза законов управления стационарными дизель-генераторами в переходных режимах с помощью предложенных многорядных алгоритмов МГУА.

Для решения проблем отладки и доводки математических моделей предлагаются алгоритмы МГУА с использованием априорной информации. Эти алгоритмы, в отличие от классических, на первом ряду селекции используют не простейшие частные описания, а уже имеющиеся математические модели объектов. Математические модели следующего ряда селекции при этом могут получаться как за счет обычного в алгоритмах МГУА комбинирования имеющихся моделей, после которого уже сложно связать параметры полученных моделей с конкретными параметрами моделируемых объектов, так и за счет "физического" трансформирования моделей, при котором в имеющиеся модели вводятся добавки, только корректирующие параметры или структуру модели объекта.

При определении оптимальных законов управления дизель-электрическими станциями при решении целого ряда задач выбирается стратегия, предусматривающая поиск оптимальных решений в два этапа. На первом этапе выполняется синтез квазиоптимального регулятора с помощью упрощенной математической модели, а на втором - проверка и уточнение полученного регулятора (или закона управления) на более полной и точной модели.

Для уточнения законов управления, полученных на упрощенных математических моделях с помощью методов теории оптимальных процессов, применялись алгоритмы МГУА с использованием априорной информации. С их помощью были уточнены законы управления для ряда задач оптимального управления дизель-генераторами: задачи максимального быстродействия, задачи терминального управления, задач управления по минимуму различных интегральных критериев качества, задачи оптимизации для асимптотически устойчивого объекта.

Одиннадцатая глава посвящена применению эволюционно-алгебраических алгоритмов для оптимизации микропрограммируемых устройств вычислительной техники.

Процесс синтеза микропрограммируемой структуры состоит из ряда взаимосвязанных этапов, которые выполняются в итерационном цикле. На многих из этих этапов могут использоваться идеи самоорганизации математических моделей. В качестве примера рассмотрена задача оптимизации взаимосвязанных между собой объема памяти, отводимого для микропрограммного обеспечения, и размера поля в микроко-

манде, определяющего адрес следующей микрокоманды.

Для решения этой задачи предложена проблемно-ориентированная алгебра, а в ней - спектр эволюционных алгоритмов, позволяющих эффективно решать указанную задачу.

Одной из сложных комбинаторных задач оптимизации микропрограммного обеспечения является задача уплотнения микропрограмм (минимизации числа слов управляющей памяти), при решении которой осуществляется процесс объединения микроопераций в микрокоманды таким образом, чтобы общий объем памяти, необходимый для размещения микропрограмм, был минимален.

В работе впервые показано, что задача оптимизации микропрограмм методом ветвей и границ в условиях ограничений затрат на поиск лучших решений может быть сформулирована в рамках теории равновесий как конфликтная ситуация при несовпадающих интересах участвующих сторон. Это позволило получить и проанализировать различные типы возможных решений задачи, что открывает новые пути поиска предпочтительных результатов в практических задачах оптимизации микропрограмм. Кроме того, на основе МГУА предложен метод самоорганизации критериев, позволяющий синтезировать эффективные оценочные функции для эвристических версий поиска метода ветвей и границ.

В двенадцатой главе "Эволюционные алгоритмы в задачах предсказания, распознавания и классификации образов" продемонстрирована эффективность применения алгебраического аппарата эволюционного моделирования при решении известных задач, а также предложен общий алгоритм классификации одномерных и двумерных объектов конечными автоматами.

В приложениях приведены примеры, иллюстрирующие работу предлагаемых алгоритмов, вспомогательные теоретические материалы и акты внедрения результатов работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным итогом работы является: теоретическое объединение параллельно развивающихся методов решения непрерывных и дискретных задач, формирование и исследование нового эволюционно-алгебраического направления в методах компьютерного моделирования и оптимизации на основе современной алгебры и анализа алгоритмов поиска в многомерных и многоэкстремальных пространствах; разработка в рамках предложенного направления новых и совершенствование известных

методов анализа и синтеза непрерывных и дискретных математических моделей, устройств вычислительной техники и систем управления; применение теоретических результатов к решению практических задач. Все это, по мнению автора, является существенным достижением в развитии перспективного направления в компьютерных методах поиска решения сложных задач.

Основные научные результаты, полученные автором, состоят в следующем.

1. Обоснована актуальность поиска решений задач моделирования и оптимизации устройств вычислительной техники и систем управления эволюционно-алгебраическими методами. Формализовано описание известных эволюционно-алгебраические методов как методов поиска на деревьях, на основании чего для них предложен общий математический аппарат: теория равновесий при несовпадающих интересах участников - для анализа пространств решений в задачах моделирования, синтеза и оптимизации устройств вычислительной техники и систем управления, и теория категорий - для анализа общих свойств алгоритмов и переноса их из метода в метод.

2. Впервые получено, что с помощью теории категорий, используя последовательность морфизмов категории деревьев (или лесов), любой алгоритм, который в общем случае можно представить в виде некоторого правила обхода узлов дерева (или леса), на произвольном дереве (в произвольном лесу) в любом эволюционно-алгебраическом методе может быть отображен в алгоритм на другом дереве (в другом лесу). Это открывает возможность применения в эволюционно-алгебраических методах произвольных алгоритмов из любых других методов, использующих деревья или леса.

3. Впервые показано, что задачи поиска на деревьях (или в лесах) в условиях ограниченных затрат на поиск лучших решений могут быть сформулированы в рамках теории равновесий как конфликт при несовпадающих интересах участвующих сторон. Получены и проанализированы различные типы возможных сильных и слабых решений этих задач, что открывает новые пути поиска предпочтительных результатов при решении практических задач оптимизации с использованием деревьев.

4. На основе анализа с помощью теории катастроф условий расщепления неморсовских критических точек частных описаний и исследования особенностей пространств решений, получаемых итерационными

алгоритмами МГУА, обоснованы причины частой неудовлетворительной работы многорядных алгоритмов самоорганизации. Приведен формализованный подход к построению алгоритмов МГУА с глобальным поиском в пространстве решений. Предложен ряд новых алгоритмов МГУА, учитывающих полученные теоретические результаты и обеспечивающих получение более точных конечных моделей.

5. Поставлена и решена задача оценки математических моделей в многомерных и многоэкстремальных пространствах решений. С помощью математического аппарата теории аналогий предложена формализованная классификация в алгоритмах МГУА текущего множества частных описаний, позволяющая вести целенаправленный отбор и формирование подмножеств лучших моделей, принадлежащих областям притяжения различных локальных экстремумов в многоэкстремальных пространствах возможных моделей. Между операторами аналогий и процедурами принятия решений в многорядных алгоритмах МГУА установлены глубокие параллели, позволяющие не только упорядочить сходство различных частных моделей в МГУА, но и уточнить понятие частной модели, способы получения таких моделей, а также способы поиска глобальных экстремумов (или близких к ним) в многоэкстремальных пространствах моделей.

6. На основе теории категорий разработан алгебраический аппарат эволюционного моделирования и на его базе синтезированы новые эволюционно-алгебраические алгоритмы, позволившие решить широкий класс задач. В частности, решены сформулированные еще в 1966 году Л. Фогелем, А. Оуэнсом, М. Уолшем, но полностью нерешенные задачи распознавания и классификации множества одномерных объектов с помощью конечных предсказывающих автоматов, синтезируемых эволюционным алгоритмом.

7. Для описания функционирования устройств вычислительной техники и систем управления, задаваемых входными и выходными К-значными последовательностями, разработаны основы математического аппарата К-значного дифференциального и интегрального исчисления. На базе этого аппарата предложен новый тип математических моделей: К-значные дифференциальные и интегральные уравнения (или системы этих уравнений) для моделирования объектов, описываемых входными и выходными последовательностями, которые квантованы по времени и амплитуде. Разработаны численные методы решения К-значных дифференциальных уравнений. Предложены эволюционно-алгебраические алго-

ритмы синтеза К-значных дифференциальных моделей. На основе К-значного дифференциального исчисления разработан метод моделирования переходных процессов в цифровых устройствах вычислительной техники, позволяющий проводить более качественный анализ динамических процессов в электронных устройствах вычислительной техники и системах управления. Этот метод явился основным теоретическим инструментом при выполнении проекта 1/141 "Стек" "Машинные методы анализа динамических характеристик цифровых систем СБИС" Государственного фонда фундаментальных исследований Украины по научному направлению "Математика, информатика и механика".

9. Для объектов, управляющие воздействия которых входят под знаки функций (в частности, тригонометрических), предложена новая модификация метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы и способы синтеза систем управления с использованием алгоритмов самоорганизации и временной иерархии, позволяющие минимизировать затраты на их техническую реализацию. Теоретические результаты использованы в связи с реализацией общесоюзной научно-технической программы 0.54.01 "Создать и освоить в эксплуатации высокоэффективные технические средства и технологические процессы на железнодорожном транспорте" при разработке устройств управления тяговым асинхронным приводом макетного образца тепловоза ТЭ120 и грузового тепловоза 2ТЭ137.

10. Разработаны вопросы применения эволюционно-алгебраических средств для минимизации аппаратурных или временных затрат в устройствах вычислительной техники и системах управления, в частности:

- разработаны проблемно-ориентированные алгебры и эволюционные алгоритмы в них для решения технических проблем, сводимых к задачам разрезания графа на две или большее число частей при наличии ограничений или без них, для минимизации аппаратурных затрат при кусочно-полиномиальном приближении функций, для минимизации объема памяти микропрограммируемых устройств вычислительной техники;

- разработана методика доводки и упрощения математического описания сложных нелинейных объектов, позволяющая существенно облегчить и ускорить процесс получения приемлемых математических моделей, автоматизировать процесс отсеивания несущественных переменных, минимизировать аппаратурные затраты в аналоговых моделях.

11. В соответствии с координационным планом научно-исследова-

тельских работ по комплексной проблеме "Теоретическая электротехника, электроника и моделирование 1986 - 1990 гг." АН УССР на основе развитой теории эволюционно-алгебраических методов сформулированы и решены задачи математического моделирования двигателей внутреннего сгорания, а также задачи оптимизации динамических режимов дизель-электрических станций: задача максимального быстродействия, задача терминального управления, задачи управления по минимуму различных интегральных критериев качества, задача оптимизации для асимптотически устойчивого объекта.

По теме диссертации опубликовано 88 научных работ, основными из которых являются:

1. Тимановская Л.Е., Дмитриенко В.Д., Шорох В.А. Моделирование дизеля с турбонаддувом // Электроника и моделирование.- Киев: Наукова думка, 1974.- С. 89-92.

2. Тимановская Л.Е., Дмитриенко В.Д. К вопросу аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы // Электроника и моделирование. - Киев: Наукова думка, 1975.- С. 127-129.

3. Дмитриенко В. Д. Определение оптимального закона подачи топлива в цилиндры дизеля // Двигателестроение. - 1979.- № 3.- С. 18-19.

4. Андронатий Н. Р., Дмитриенко В.Д., Корсунов Н. И. Вопросы автоматизации аппроксимации функций нескольких переменных в гибридных вычислительных машинах // Вычислительные процессы в гибридных ЭВМ и комплексах. Препринт № 231. - Киев: ИЭД АН УССР, 1980.- С. 18-19.

5. Дмитриенко В. Д. Некоторые вопросы моделирования систем оптимального управления // Специализированные вычислительные устройства и их применение. Препринт № 247.- Киев: ИЭД АН УССР, 1981. - С. 5-6.

6. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Шорох В.А. О повышении эффективности метода группового учета аргументов при синтезе нелинейных систем // Проблемы нелинейной электротехники: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф.- Киев: Наукова думка, 1981.- С. 163 - 165.

7. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Шорох В. А. Использование метода группового учета аргументов и эволюционного моделирования для, построения систем в условиях априорной неопределенности //

Синтез и анализ цифровых алгоритмов обработки сигналов в информационных системах: Тез. докл. седьмого выездного заседания секции теории информации ЦП НТО РЭС им. А.С. Попова.- Новгород: Новгород. политехн. ин-т, 1981.- С. 62-63.

8. Андронатий Н. Р., Дмитриенко В. Д., Шорох В. А. О синтезе систем автоматического управления технологическими процессами // Проблемы создания и внебрения автоматизированных систем управления технологическими процессами: Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. - Кишинев: Реклама, 1981. - С. 58-62.

9. Дмитриенко В.Д., Шорох В.Д. О построении новых критериев селекции в методе группового учета аргументов и в эволюционном моделировании // Вестник Харьк. политехн. ин-та № 186, "Применение вычислительных систем", вып. 2.-Харьков: Вища школа, 1982.- С. 3-5.

10. Дмитриенко В.Д. К вопросу применения глобального поиска в эволюционном моделировании и МГУА // Эволюционное моделирование и обработка данных радиофизического эксперимента: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. семинара.- М.: ИРЭ АН СССР, 1984.- С. 17-18.

11. Дмитриенко В.Д., Шорох В.А. Эволюционный предсказывающий алгоритм // Эволюционное моделирование и обработка данных радиофизического эксперимента: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. семинара.- М.: ИРЭ АН СССР, 1984.- С. 19-20.

12. Дмитриенко В.Д. К вопросу использования алгебраической формы представления задач в эволюционном моделировании // Перспективы развития вычислительных систем (применение идей адаптации и эволюции). Тез. докл. II Всесоюз. научн.-техн. конф. Рига: Рижск. политехн. ин-т, 1985.- С. 62-64.

13. Дмитриенко В.Д., Шорох В.А. Использование функций Ляпунова в алгоритмах эволюционного моделирования // Перспективы развития вычислительных систем (применение идей адаптации и эволюции). Тез. докл. II Всесоюз. научн.-техн. конф. Рига: Рижск. политехн. ин-т, 1985.- С. 65-66.

14. Дмитриенко В.Д., Шорох В.А. Применение функций Ляпунова при обработке сложной графической информации // Методы и средства обработки сложной графической информации: Тез. докл. II Всесоюз. конф.- Горький: ГГУ, 1985.- С. 30-31.

15. Устройство для дистанционного управления скоростью движения тепловоза: А.с. 1175749 СССР, МКИ³ B60L 15/20, БИ № 32, 1985 / Ю.И. Гусевский, А.Ф. Даниленко, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский,

В.С. Марченко.- 4 с.

16. Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Марченко В.С. Аналитическое конструирование регуляторов для тяговых асинхронных двигателей // Проблемы подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф.- М.: ЮМС ВСНТО, 1986.- С. 120-122.

17. Дмитриенко В.Д., Шорох В.А. Синтез системы управления тяговым электроприводом // Метод функций А.М. Ляпунова в современной математике: Тез. докл. Всесоюз. научн. конф.- Харьков: Харьк. фил. Межвуз. полиграф. предприятия, 1986.- С. 162.

18. Дмитриенко В.Д. Синтез конечных автоматов для прогнозирования состояний объектов энергетики // Функционально ориентированные вычислительные системы: Тез. докл. респ. научн.-техн. конф.: В 2 ч.- Харьков, 1986.- Ч. 1.- С. 19-20.

19. Многоканальное устройство для идентификации моделей: А.с. 1238100 СССР, МКИ³ G06F 15/20, БИ № 22, 1986 / В. Д. Дмитриенко, В.А. Шорох.- 12 с.

20. Дмитриенко В.Д., Евтушенко Л.А., Шорох В.А. Алгебра для эволюционного синтеза систем управления // Тез. докл. X Всесоюз. совещания по проблемам управления, Алма-Ата, сент. - окт. 1986: В 2 кн.- М.: ВИНИТИ, 1986.- Кн. 1.- С. 365-366.

21. Многоканальное устройство для идентификации моделей: А.с. 1300491 СССР, МКИ³ G06F 15/20, 15/18, БИ № 12, 1987 / В.Д. Дмитриенко, Н.В. Лаушкин, В.А. Шорох.- 7 с.

22. Дмитриенко В.Д. Алгебраический метод синтеза конечных автоматов на основе алгоритмов самоорганизации моделей // Автоматика.- 1987.- № 1.- С. 81-84.

23. Дмитриенко В.Д., Евтушенко Л.А., Шорох В.А. Синтез иерархической системы управления // Динамика нелинейных процессов управления: Тез. докл. Всесоюз. семинара.- М : ИПУ АН СССР, 1987. - С. 187.

24. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И. Метод синтеза математических моделей нелинейных электрических цепей // Проблемы нелинейной электротехники: Тез. докл. III Всесоюз. научн.-техн. конф. - Киев: ИПМЭ АН УССР, 1988.- С. 254-256.

25. Дмитриенко В.Д., Буканов Э.А. Метод синтеза математических моделей // Обработка информации в автоматизированных системах научных исследований: Тез. докл. зональной конф. 24 - 25 апреля

1989 г.- Пенза: Приволжский Дом н.-т. пропаганды, 1989.- С. 4-5.

26. Корсунов Н.И., Дмитриенко В.Д., Буканов Н.И. Направленный поиск глобального экстремума в пространстве возможных моделей // Вестник Харьк. политехн. ин-та № 262, "Автоматика и приборостроение", вып. 15.- Харьков: Вища школа, 1977.- С. 46-48.

27. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н. И. Повышение эффективности эвристических алгоритмов синтеза конечных автоматов // Электронное моделирование.- 1989.- № 3.- С. 17-22.

28. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И. Метод адаптации конечных автоматов в условиях неустранимой априорной неопределенности // Доклады АН УССР. Серия А.- 1989, № 6. С. 62-64.

29. Дмитриенко В.Д. Применение теории категорий для получения новых алгоритмов в эволюционных методах // Перспективы развития вычислительных систем: Тез. докл. 3-го Всесоюз. симпозиума 31 окт. - 2 нояб. 1989 г.- Рига: Рижск. политехн. ин-т, 1989.- С. 74.

30. Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И. Синтез оптимальных регуляторов САР. электропередачи переменного тока с помощью метода аналитического конструирования по критерию обобщенной работы // Проблемы развития локомотивостроения: Тез. докл. третьей Всесоюз. научн.-техн. конф. 22 - 24 мая 1990 г. - Луганск: ЛМСИ, 1990.- С. 104-105.

31. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Леонов С.Ю. Математические модели объектов диагностирования на основе К-значного дифференциального исчисления // Методы и системы технической диагностики. Математические методы кибернетики и их приложения. Межвуз. научн. сб., вып. 14, ч. 1: Тез. докл. VIII Всесоюз. совещания по технической дагностике и отказоустойчивости.- Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1990.- С. 47.

32. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И. Алгебраический подход к совершенствованию методов синтеза конечных автоматов // Функционально ориентированные вычислительные системы: Тез. докл. респ. научн.-техн. конф. 4 - 6 окт. 1990 г.: В 2 ч. - Харьков: Харьк. фил. Межвуз. полиграф. предприятия, 1990.- Ч. 1.- С. 3-4.

33. Дмитриенко В.Д., Евтушенко Л.А., Шорох В.А. О применении К-значного дифференциального исчисления в алгоритмах эволюционного синтеза конечных автоматов // Функционально ориентированные вычислительные системы: Тез. докл. респ. научн.-техн. конф. 4 - 6 окт. 1990 г.: В 2 ч.- Харьков: Харьк. фил. Межвуз. полиграф. пред-

приятия, 1990.- Ч. 1.- С. 19.

34. Корсунов Н.И., Дмитриенко В.Д., Леонов С.Ю. Метод анализа динамических режимов ФОВС // Функционально ориентированные вычислительные системы: Тез. докл. респ. научн.-техн. конф. 4 - 6 окт. 1990 г.: В 2 ч.- Харьков: Харьк. фил. Межвуз. полиграф. предприятия, 1990.- Ч. 1.- С. 26-27.

35. Дмитриенко В.Д., Евтушенко Л.А., Шорох В.А. Метод синтеза оптимальных регуляторов для дизель-электрических станций // Математическое моделирование в энергетике: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф.: В 4 ч.- Киев: ИПМЭ АН УССР, 1990.- Ч. 2.- С.77 - 78.

36. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Костин В.А. Повышение эффективности вычисления функций на основе усовершенствования метода аппроксимации // Проблемы моделирования динамических систем. Материалы научной конференции.- Кишинев: Штиица, 1990.- С. 18-23.

37. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Челышев А.А. О методе оптимизации микропрограммируемых структур в контурах управления динамических систем // Проблемы моделирования динамических систем. Материалы научной конференции.- Кишинев: Штиица, 1990.- С. 82-89.

38. Даниленко А.Ф., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И. Математические модели оптимальных систем управления тяговым асинхронным приводом тепловозов // Электронное моделирование.- 1991.- № 2.- С. 40-44.

39. Дмитриенко В.Д., Челышев А.А. Эволюционный алгоритм разрезания графа // Надежность машин, математическое и машинное моделирование задач динамики. Моделирование - 91: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. 22 - 24 мая 1991 г.- Кишинев: Реклама, 1991. - С. 13-14.

40. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н. И., Шорох В. А. Эволюционные алгоритмы моделирования // Надежность машин, математическое и машинное моделирование задач динамики. Моделирование - 91: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. 22 - 24 мая 1991 г. - Кишинев: Реклама, 1991.- С. 23-24.

41. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н. И., Челышев А.А. Анализ оптимизации микропрограмм методом ветвей и границ // Электронное моделирование.- 1991.- № 3.- С. 41-47.

42. Устройство для оценки технического состояния двигателей внутреннего сгорания: А.с. 1663478 СССР, МКИ[5] G01M 15/00, БИ № 26,

1991 / В.Н. Антощенко, Э.А. Буканов, В.Д. Дмитриенко, Е.Г. Заславский, В.Н. Соболь.- 4 с.

43. Корсунов Н.И., Дмитриенко В.Д., Леонов С.Ю. Математические модели цифровых устройств на основе К-значного дифференциального исчисления // Вестник Харьк. политехн. ин-та № 282, "Автоматика и приборостроение", вып. 17.- Харьков: Основа, 1991.- С. 56 - 60.

44. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И. Обработка информации алгоритмами самоорганизации с использованием идей теории катастроф // Передача, обработка и отображение информации: Тез. докл. Всесоюз. школы-семинара.- Теберда - Харьков: ХВВКИУРВ, 1991.- С. 22-24.

45. Корсунов Н.И., Дмитриенко В.Д., Леонов С.Ю. Моделирование динамики цифровых устройств с использованием К-значного кодирования // Электронное моделирование.- 1992.- № 6.- С. 82-89.

46. Верлань А.Ф., Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Шорох В. А. Эволюционные методы компьютерного моделирования.- Киев: Наукова думка, 1992.- 256 с.

47. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Шорох В. А. Пространства решений в задачах проектирования и оптимизации устройств вычислительной техники // Компьютер: наука, техника, технология, здоровье: Тез. докл. межд. научн.-техн. конф. MicroCAD-SYSTEM' 93.- Харьков, Мишкольц, 1993.- С. 17-19.

48. Дмитриенко В.Д., Шорох В. А. Эволюционные алгоритмы синтеза конечных автоматов // Компьютер: наука, техника, технология, здоровье: Тез. докл. межд. научн.-техн. конф. MicroCAD-SYSTEM' 93. - Харьков, Мишкольц, 1993.- С. 20-22.

Подп. к печ. 13.01.04 Формат 60×84 1/16. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,0.
Уч.-изд. л. 2,0 Тираж 120 экз. Зак. № 4820. Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.