КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ (МаТИС)

В. Б. Кудрявцев

В статье описываются процесс создания кафедры МаТИС, основные направления её деятельности, решаемые задачи и достижения, приводится её персональный состав.

Введение

Высокие технологии все в большей мере определяют прогресс цивилизации. К числу основных направлений в них относятся интеллектуальные системы, поскольку они усиливают главный рычаг развития общества — интеллектуальную компоненту.

Учитывая это, в 1986 г. в МГУ было принято решение об открытии на механико-математическом факультете отдела прикладных исследований по математике и механике, а в его составе на базе кафедры дискретной математики — лаборатории по интеллектуальным системам.

В этой лаборатории, получившей затем название "Проблем теоретической кибернетики" (ПТК), ведутся работы по заказам промышленности, в которых наряду с ее сотрудниками принимают участие аспиранты и студенты.

В 1991 году, опираясь на кафедру дискретной математики и эту лабораторию, создается кафедра "Математической теории интеллектуальных систем", которой в 2001 году исполнилось десять, а лаборатории — пятнадцать лет.

Эти события послужили поводом для написания предлагаемой статьи. В ней в сжатой форме описываются условия, в которых зарождалось на факультете направление интеллектуальных систем как составной части кибернетики; раскрывается содержание этого направления; очерчивается проблематика; приводятся основные достижения в решении возникающих задач; описывается учебный процесс; отмечаются другие формы деятельности кафедры и лаборатории. Описание охватывает также и следующее за 2001 г. время.

Специальное внимание уделяется ученым кафедры и лаборатории: приводится граф, характеризующий их коллективы.

Изложение сопровождается литературными ссылками, не претендующими, однако, на полноту.

1. О кибернетике

Стремление переложить свои многообразные, но часто рутинные задачи на "плечи" машин всегда было характерно для деятельности человека. Это облегчало его труд и быт, освобождая энергию для решения новых более сложных и высоких задач, что в итоге обеспечивало прогресс общества.

В последние десятилетия эта тенденция нарастала и охватила область интеллектуальной деятельности, что до недавнего времени не представлялось столь близким и возможным.

Подход к моделированию поведения "думающих" систем, а также создание предпосылок для возникновения соответствующей теории были осуществлены А. Тьюрингом в конце 30-х и в начале 40-х годов двадцатого столетия.

Военные события этих лет заставили многих ученых переключиться на решение практических проблем, часть из которых оказалась связанной с разработкой думающих систем, например, для расшифровки сообщений, слежения за целью, быстрых вычислений и др.

Работа в этом направлении привела в итоге к возникновению новой науки — кибернетики, зарождение которой произошло в 30-е и 40-е годы XX столетия.

Основной вклад в ее создание внесли К. Шеннон [1] и А. Тьюринг [2]. В развитии кибернетики выдающуюся роль сыграли Д. фон Нейман [3], А. А. Ляпунов [4], С. В. Яблонский [5], О. Б. Лупанов [10], А. Н. Колмогоров [6], Н. Винер [7], В. М. Глушков [8], Ю. И. Журавлев [9] и другие ученые.

Само же направление "думающих" систем со временем стало одним из главных в кибернетике и затем получило название теории интеллектуальных систем.

В 50-е и 60-е годы обозначились многие из ключевых разделов этого направления. К их числу следует отнести начало изучения таких основных характеристик систем, как языки, распознавание образов, память, принятие решений, обучение, целесообразное поведение, воспроизведение и другие, а также изучение структур, способных реализовать как отдельные из указанных характеристик, так и их сочетания. Примерами таких структур являются логические и нейронные сети, программы, автоматы, роботы, компьютеры и др.

Сравнительно быстро были получены продвижения по значительной части исследуемых разделов, однако глубина достижений была здесь неравномерной.

Стремительно развивались теории автоматов, языков и распознавания образов. Медленнее шло накопление результатов по многим из остальных разделов.

Можно выделить ряд причин такого положения.

Во-первых, обнаружились неготовность математики к большинству из возникших задач.

Во-вторых, имела место весьма ограниченная оснащенность исследователей вычислительной техникой, роль которой состояла в возможности эффективно моделировать изучаемые явления и применять готовые результаты на практике.

В-третьих, выявилась недостаточная заинтересованность в сотрудничестве специалистов из разных областей и, прежде всего, в сотрудничестве с математиками, чему в немалой степени способствовала слабая дозировка математики при подготовке большинства специалистов.

В-четвертых, определенная инертность самих математиков, выражающаяся в ограниченном желании переключаться на новую тематику.

В результате этого ряд разделов существенно замедлили свое развитие и особые надежды на построение машин, способных имитировать творческий процесс типа языкового перевода, создания стихов и музыки, диагностики и лечения больных и т. п. в должной мере не были осуществлены.

На преодоление этих препятствий ушли годы. За последние сорок лет был разработан впечатляющий аппарат аналитической и дискретной математики, а за последние двадцать лет был совершен качественный прорыв в создании и распространении вычислительной техники, а также в оснащении её программным обеспечением. Сегодняшние возможности этой техники с позиций 80-х годов кажутся почти фантастическими.

Улучшилась математическая подготовка, возросло взаимодействие специалистов различного профиля.

Все это привело к резкой активизации работ в области интеллектуальных систем. Возникли и оформились как направления этой области теории формальных и реальных языков, распознавания визуальных, слуховых и абстрактных образов, баз данных и знаний, принятия решений, быстрых алгоритмов поиска и переработки информации, обучающихся и самовоспроизводящихся систем, автоматов, машин, сетей машин, компьютерного моделирования и др.

Стали широко (особенно в развитых странах) изготовляться экспертные системы, имитирующие деятельность человека в самых разных сферах от продавца и счетного работника до исследователя.

Потребность в таких экспертных системах сегодня является едва ли не главной движущей силой в области интеллектуальных систем, перспективы которой трудно переоценить.

Запросы практики в специалистах этого профиля существенно превосходят возможности готовить их в высшей школе.

Создание кафедры математической теории интеллектуальных систем на механико-математическом факультете в 1991 году было логически подготовлено развитием работ в этой области и могло быть осуществлено даже раньше.

Дело в том, что механико-математический факультет оказался тем центром, где возникли и постоянно велись работы по кибернетике, он стал колыбелью и ведущим научным центром кибернетики страны.

Механико-математический факультет, а также возникший сравнительно недавно факультет вычислительной математики и кибернетики и ряд научных центров РАН и Высшей школы образуют сегодня главную научную силу кибернетики России.

Первый в СССР семинар по кибернетике был открыт в начале 50-х годов на механико-математическом факультете под руководством А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского. В его работе принимали участие такие известные ученые, как А. И. Берг [11], Л. В. Крушинский [12], Н. В. Тимофеев-Ресовский [13], А. Н. Колмогоров, П. С. Новиков [14], А. П. Ершов [15], А. А. Марков [16], О. Б. Лупанов, Ю. И. Журавлев, В. Я. Козлов и другие.

С работой семинара связаны зарождение и развитие практически всех основных направлений кибернетики, включая и интеллектуальные системы.

Затем на факультете возникли специализированные семинары по разработке теории управляющих систем, сложности, алгоритмов, автоматов, распознавания образов, языков, позже — баз данных и знаний, принятия решений, интеллектуальных систем и др.

Эти семинары и соответствующие курсы, эволюционируя, сначала были при кафедре вычислительной математики, которой руководили С. Л. Соболев, а затем А. Н. Тихонов.

Потом после ее открытия в 1959 г. они функционировали при кафедре математической логики, которой заведовали А. А. Марков, а затем А. Н. Колмогоров.

Позже курсы и семинары стали вестись после её возникновения в 1980 г. при кафедре дискретной математики, заведующим которой является О. Б. Лупанов.

Сейчас те из них, которые непосредственно связаны с интеллектуальными системами, ведутся на созданной в 1991 г. кафедре математической теории интеллектуальных систем, которой заведует автор.

С возникновением в 70-е годы на базе механико-математического факультета при участии физического факультета был создан новый факультет — вычислительной математики и кибернетики, на котором стали вестись работы по кибернетике в основном по кафедре математической кибернетики, возглавлявшейся С. В. Яблонским, а позже после её открытия в 1998 г. — и по кафедре математических методов прогнозирования, которой заведует Ю. И. Журавлев, и некоторых других.

Учеными и научной молодежью этих кафедр, работающих в указанных семинарах, велась в университете основная исследовательская работа в области кибернетики и интеллектуальных систем.

Важную роль, объединяющую, казалось бы, разные направления кибернетики в единую теорию, сыграли известные работы С. В. Яблонского [5], выполненные им в 50-е и 60-е годы, в которых было введено одно из основных понятий кибернетики — понятие управляющей системы, намечены направления исследований и получены результаты по основным из них. Таким образом, значительная часть кибернетики стала рассматриваться как теория управляющих систем.

Основные работы по кибернетике, выполненные у нас в стране, составили содержание начавших издаваться в 1958 г. периодических сборников "Проблемы кибернетики", которые затем стали называться "Математические вопросы кибернетики", под редакцией сначала А. А. Ляпунова, затем С. В. Яблонского, а сейчас О. Б. Лупанова.

В 1960 г. под редакцией В. М. Глушкова стал издаваться журнал "Кибернетика".

С 1989 г. под редакцией В. Я. Козлова выходит журнал "Дискретная математика".

Работы, выполненные за рубежом, стали издаваться на русском языке с 1960 г. в виде серий "Кибернетический сборник" под редакцией О. Б. Лупанова. На этих изданиях выросло не одно поколение специалистов.

Статьи по теории распознавания образов публикуются в журнале "Распознавание образов и анализ изображений", начавшего выходить под редакцией Ю. И. Журавлева с 1995 г.

Работы по теории интеллектуальных систем публикуются под редакцией автора в созданном в 1996 г. на базе кафедры МаТИС журнале "Интеллектуальные системы".

2. Интеллектуальные системы

Суть понятия управляющей системы составляют следующие компоненты: элементы, схемы элементов, их функционирование и среда, с которой взаимодействует схема.

Элементы имеют входные и выходные каналы, через которые осуществляется связь с ними. Из элементов соединением входов одних из них с выходами других строятся схемы. Они также имеют входы и выходы. Такая схема реализует во времени (для определенности — дискретном) некоторый рекуррентный процесс её взаимодействия со средой. Он определяется рядом допущений.

Элемент имеет состояния, которые меняются во времени за счет влияния текущего значения его входов и состояний в предыдущий момент. Эти значения и состояния определяют значения входов элементов. Заданность состояний элементов схемы и значения её выходов, таким образом, могут определять текущие значения выходов её элементов, а, значит, и состояния элементов в следующий момент. Таким образом, среда, формируя значения входов схемы, определяет при заданных начальных состояниях элементов значения выходов злементов и схемы в текущий момент и значения состояний элементов в последующий момент. Цикл взаимодействия схемы со средой повторяется и т. д. Этот процесс называют функционированием схемы.

Под управляющей системой может пониматься описанная схема, функционирующая в среде при взаимодействии с последней.

Функционирование схемы называют также поведением управляющей системы в среде.

Важно отметить, что все преобразователи материальной и абстрактной информации с этой точки зрения являются управляющими системами и могут рассматриваться как их конкретные виды. Примерами подобных объектов являются, формулы, автоматы, электрические цепи, живые клетки и т. д.

Из всех реальных видов управляющих систем, пожалуй, наиболее полно вобрала в себе черты управляющей системы модель автомата, поскольку она фактически получается путем лишь сужения множеств значений всех параметров управляющей системы до конечных множеств и уточнения видов схем до композиций элементов, вообще говоря, допускающих перекоммутацию; при этом автомат функционирует в общем случае неограниченное время.

При аппроксимативном подходе к изучению управляющих систем, состоящем в допущении только конечных множеств значений всех характеристик этих систем, по существу, приходят к модели автомата, которая тем самым обретает свойство универсальности и потому имеет особую значимость в кибернетике.

Изучение свойств автоматов стало основным направлением в работе коллектива ученых факультета, которую образовали автор и его ученики. Были выделены и изучены основные среды, типы автоматов и виды поведения автоматов в средах, исследованы проблемы выразимости и полноты для автоматов, созданы методы оптимального синтеза помехоустойчивых автоматов, исследованы моделирующие возможности бесконечных автоматов, называемых клеточными автоматами и т. д.

Эти результаты вместе с достижениями Э. Мура, С. Клини, Д. Мак-Ноттона и др. сегодня составляют классическое содержание теории автоматов.

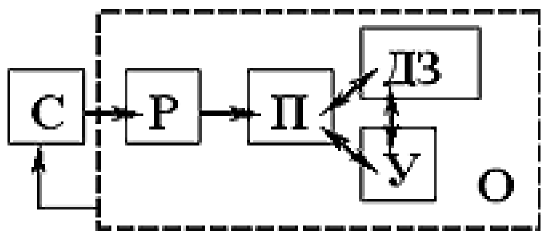
Одним из главных направлений этой теории является изучение поведения автоматов в средах. Идеология этого направления смыкается с изучаемым в теории интеллектуальных систем.

Так, автоматный анализ геометрических сред связан с распознаванием образов; анализ языковых сред — с языками, логическим выводом и решением задач; анализ смешанных языково-геометрических сред — с коллективным поведением и принятием решений; вопросы синтеза автоматов с заданным поведением сопряжены с разработкой внутренних для автоматов архитектур баз данных и знаний, быстрого поиска информации и т. д.

При разработке теории автоматов автор и его ученики постоянно расширяли сферу интерпретаций автоматов, используя модели и соответствующие задачи из разных областей таких, как математика, физика, биология, психология, социология, техника и др. Это обогащало теорию автоматов и расширяло сферу ее применимости.

Как сопряженная с моделью автомата рассматривалась и интеллектуальная система.

Очертим в достаточно общем виде распространенный вариант интеллектуальной системы, которую считаем системой типа Тьюринга, и изображаем, как на рисунке.



Имеется объект **О**, помещенный в среду **С**, с которой у него имеется двусторонняя связь. Он может воспринимать информацию, поступающую из среды, и влиять на нее, что изображено соответствующим направлением стрелок.

Входная информация из **С** поступает в **О** на блок распознавания **Р**, оттуда она направляется в блок оперативной памяти **П**, где подвергается анализу. При этом анализе используется блок **ДЗ** базы данных и знаний, играющий роль долгосрочной памяти, а сам процесс анализа регулируется управляющим блоком **У**, который учитывает группу параметров, описывающих как внутренние характеристики объекта, так и состояние среды.

Базы данных и знаний вместе с блоком управления образуют "мозговой центр" системы. От достаточности заложенной в них информации и эффективности внутренних операторов зависят её имитационные возможности.

Функционирование объекта в среде осуществляется во времени по-шагово и оценивается серией внутренних и в общем случае внешних функционалов.

Последовательность значений этих функционалов считается характеризацией взаимодействия объекта и среды. По ней осуществляется оценка "разумности" поведения объекта, включая, в частности, заключение о том, сумел ли объект решить заданную задачу.

Конкретные интерпретации компонент, составляющих систему, приводят к конкретным видам интеллектуальных систем.

Примером такой системы является решатель математических задач. Он имеет в качестве среды класс задач по элементарной алгебре, тригонометрии и началам анализа. Процесс его работы составляет поиск решения предложенной задачи, а результатом этой работы являются ход решения задачи и ответ, если таковые достижимы решателем, и отказ от решения, если последнее невозможно для решателя.

Его базы данных и знаний включают список стандартных приемов тождественных преобразований выражений алгебры и тригонометрии, основных теорем из этих разделов, а также логических операций вывода.

Самым сложным здесь является блок управления, принцип работы которого состоит в эвристической оптимальности извлечения приемов из баз данных и знаний, обеспечивающий в определенном смысле градиентность последовательности примененных приемов, что существенно сокращает перебор вариантов вывода.

В этом блоке реализуется новая идея, позволившая обойти неэффективные попытки использовать для подобных целей логико-аксиоматический подход; упомянем в этой связи "General Problem Solver", "Mathematika" и др.

Эта интеллектуальная система, созданная А. С. Подколзиным, показала высокую эффективность, справляясь за секунды с большинством задач из известных учебников.

Решатель демонстрировался на международной выставке компьютеров и программных продуктов в г. Ганновере (ФРГ), на Российских и Международных конференциях и семинарах.

Список же конкретных интеллектуальных систем сегодня очень широк.

Исследовательская работа по теории интеллектуальных систем как комплексной проблеме получила новый импульс на факультете в 1986 г., когда на нем был создан "Отдел прикладных исследований по математике и механике", который возглавил В. А. Садовничий. В этом Отделе стали реально сотрудничать математики и механики при решении пограничных задач. За сравнительно небольшой срок отделом выполнен ряд глубоких исследований, связанных с проблематикой космоса, которые были внедрены в промышленность и отмечены премиями на государственном уровне и получили международное признание.

Научной тематикой лаборатории "Проблем теоретической кибернетики" этого Отдела, которой руководит автор, стали теория интеллектуальных систем и ее приложения.

На базе этой лаборатории и кафедры дискретной математики, как отмечалось, в 1991 г. была создана кафедра математической теории интеллектуальных систем. Возникший тандем кафедра — лаборатория резко укрепил новое направление на факультете и в университете, которое обрело устойчивость, динамику и значимость.

Исследования и учебный процесс по теории интеллектуальных систем ведутся коллективом кафедры и лаборатории. Этот коллектив, в котором сейчас трудятся десять докторов, двенадцать кандидатов наук и десять молодых сотрудников, состоит из специалистов, чьи научные интересы лежат не только в области интеллектуальных систем, дискретной математики и кибернетики, но также в алгебре, геометрии, теории функций и других разделах математики и кибернетики.

Это обстоятельство позволяет вести комплексные исследования в области интеллектуальных систем, что соответствует природе этого направления.

Осуществляется широкий спектр поисковых работ, главными в котором являются следующие.

а) Разработка методов распознавания слуховых, визуальных и абстрактных образов.

б) Исследование сложности хранения и поиска информации.

в) Разработка решателей интеллектуальных задач в различных предметных областях.

г) Создание обучающих систем, моделирующих реальный процесс обучения.

д) Исследование дискретных структур и процессов.

е) Изучение автоматов и алгоритмов.

ж) Создание методов компьютерного моделирования в естествознании, технике и гуманитарной сфере.

з) Исследования по защите информации.

Опишем некоторые направления подробнее.

3. Распознавание образов

Здесь развито несколько новых направлений: комбинаторно-логическое, основанное на тестовом подходе; дискретно-геометрическое, базирующееся на внутренней кодировке фигур; динамическое, опирающееся на автоматную идеологию.

3.1. Комбинаторно-логическое направление

Это направление возникло в 60-е годы под влиянием тестовых методов поиска неисправностей в технических устройствах, предложенных С. В. Яблонским и И. Чегис [17].

Тест для заданной матрицы представляет собой множество таких её столбцов, в которых строки попарно различны. Тест является тупиковым, если он не содержит других тестов. Тест является минимальным, если он имеет наименьшее число столбцов. Эти понятия распространяются на случай матрицы, на строках которой введено некоторое отношение эквивалентности. Здесь тест "различает" строки уже с точностью до этого отношения.

Если интерпретировать классы эквивалентности как описания состояния технического устройства, то тест умеет распознавать соответствующее состояние устройства, то есть образ состояния. В указанной работе [17] введено понятие теста и приведены процедуры поиска тестов, тупиковых и минимальных тестов.

Позже Ю. И. Журавлевым, Ф. П. Кренделевым и А. Н. Дмитриевым [18] на основе определения теста было введено понятие информационного веса столбца (признака) матрицы как частоты вхождения признака в тесты матрицы. Эта величина затем была использована ими при составлении линейного функционала, с помощью которого решалась задача отнесения строки к одному из классов эквивалентности матрицы — распознавания соответствующего образа.

Обобщение ситуации здесь в сравнении с [17] состояло в том, что исходная матрица выступала лишь как "обучающий" материал и, конечно, не полностью описывала возможные состояния устройства. Этот подход сработал в ряде приложений, где особенно интересными оказались задачи геологии и медицины.

В то же время почти сразу возникли ситуации, где линейный функционал оказался неэффективным.

Автором [19] был предложен другой функционал отнесения строки к определенному классу. Он определяется так: берется произвольный тест и по нему для заданной строки "голосуется", к какому классу она относится. При переборе тестов возникает вектор "голосов" за каждый из классов, который затем нормируется за счет числа всех тестов. По свойствам этого вектора далее принимается решение о том, какой образ-состояние задает анализируемая строка. Эта процедура затем обобщается на заданное семейство тестов — всех тестов, тупиковых, минимальных и других тестов; а также учитывается информационная значимость признаков и т. п. Выяснилось, что процедура распознавания голосованием по тестам особенно эффективна, когда признаки являются качественными.

С помощью "голосования" решались разного рода задачи: поиск полезных ископаемых, диагностика заболеваний, оценка экономической эффективности предприятий и др.

Прикладная эффективность голосующих тестовых процедур при решении задач типа распознавания инициировала создание теории тестового распознавания.

К числу основных вопросов, на которые следовало получить ответ, относятся комбинаторные характеристики тестов и создание быстрых тестовых процедур, обеспечивающих заданную точность распознавания.

Под руководством автора В. Е. Кузнецовым [20], Е. В. Дюковой [21], А. Е. Андреевым [22] и А. А. Кибкало [23] были выполнены исследования, которые на сегодня составляют содержание теории тестового распознавания.

Следует отметить, что первые линейные процедуры тестового распознавания позволяли обрабатывать сравнительно небольшие массивы данных, доставляемые матрицами с не более, чем 30 столбцами и строками.

Следующий шаг в увеличении размеров обрабатываемых матриц был сделан В. Е. Кузнецовым, который построил стохастическую процедуру поиска тестов и вычисления их характеристик, включая информационные веса признаков. Его процедура работала полиномиально быстро и практически расширила параметры обрабатываемых матриц до ста столбцов и строк. Эта процедура затем стала одним из главных модулей голосующих тестовых процедур распознавания.

Очень важную роль сыграла работа Е. В. Дюковой, в которой был предложен алгоритм асимптотически беспереборного построения тестов, правда, для узких матриц, у которых число столбцов было много больше числа строк. Ею были получены для почти всех матриц такого вида явные асимптотические значения числа тестов, информационных весов признаков и корелляций между ними.

Эти узкие матрицы процедура Е. В. Дюковой с вмонтированным в нее модулем В. Е. Кузнецова позволила обрабатывать за полиномиальное время. Таким образом стали доступны для обработки матрицы, имеющие до ста строк и до тысячи столбцов. Изложенные результаты составили основу содержания диссертации Е. В. Дюковой.

Дальнейшее усиление результатов Е. В. Дюковой было получено А. Е. Андреевым. Он рассмотрел произвольные матрицы с заданным графом сравнения их подматриц. Им установлено, когда почти все матрицы имеют константное, полиномиальное и экспоненциально растущее число тестов и тупиковых тестов, каков информационный вес их признаков, какова длина их минимальных тестов. Им построены асимптотически оптимальные процедуры для построения важнейших семейств тестов.

Вместе с модулем В. Е. Кузнецова процедуры А. Е. Андреева за полиноминальное время обрабатывают уже любые матрицы и практически расширили значения параметров матриц до двух тысяч строк и, соответственно, столбцов.

Исследования Е. В. Дюковой и А. Е. Андреева в своей аппаратной части опирались на соображения, которые показывали, что с содержательной точки зрения для почти всех матриц голосование по всем тестам или тупиковым тестам нивелирует информационный вес признаков, а устойчивость матриц относительно малых изменений значений её элементов очень мала; точнее, множество тестов для таких матриц могут отличаться очень сильно.

В то же время реально возникающие матрицы (в отличие от описанной картины для почти всех матриц) этими достаточно нежелательными свойствами, как правило, не обладают.

Возник вопрос о выделении таких семейств тестов, которые бы уже и для почти всех матриц характеризовали информационные веса признаков в соответствии с их содержательной значимостью при отличии с их помощью образов, описываемых матрицами. Кроме того, важно, чтобы эти семейства мало бы менялись при малой вариации значений элементов матриц.

На эти вопросы ответ был получен А. А. Кибкало, который обнаружил, что такое семейство образуют "короткие" тесты, длина которых имеет логарифмический порядок от числа строк в матрице. Им же предложен и асимптотически оптимальный алгоритм построения "коротких" тестов.

Вместе с модулем В. Е. Кузнецова процедура А. А. Кибкало позволяет обрабатывать за полиномиальное время почти все матрицы, причем практически приемлемыми являются расчеты для матриц, чьи строки и столбцы исчисляются тысячами.

Результаты А. А. Кибкало и его процедуры обработки матриц сегодня составляют ядро тестовой теории распознавания.

Следует отметить также входящую в тестовое направление работу М. В. Носова [24], выполненную под руководством С. В. Алешина, в которой решена задача функционального описания множества тестов для таблиц.

Линейные тестовые процедуры изучались учеником автора и А. А. Болотова А. Шайебом [25] из Сирии и учениками С. В. Алешина В. В. Переяславским [26] и Б. В. Гецко [27], выявившими случаи эффективного и неэффективного применения таких процедур в распознавании.

3.2. Дискретно-геометрическое направление

Это направление развивалось под руководством автора в исследованиях В. Н. Козлова [115] и было нацелено на разработку процедур распознавания геометрических фигур, образованных конечным множеством точек на плоскости или в пространстве. Известно, что распознавание таких фигур связано с преодолением больших технических трудностей и использует комплекс разнородных предположений и математических технологий. В основном это связано с попыткой учета таких преобразований фигур, как повороты, симметрия, растяжения и локальные искажения.

В новом подходе основным было введение внутренней кодировки фигур, которая позволила бы распознавать их по этим кодам в случае воздействия на них указанных преобразований.

Оказалось, что это возможно. В линейном плоском и объемном случаях внутренний код фигур вводится так. Нумеруются точки фигуры; в зависимости от её размерности рассматривается множество всех симплексов, образованных точками фигуры; для каждого симплекса вычисляется его мера.

Код фигуры образует множество всех троек, состоящих из двух симплексов и отношения их ненулевых мер.

Для каждой из размерностей показано, что фигуры с точностью до перенумерации их точек имеют один и тот же код точно тогда, когда они аффинно эквивалентны. Показано также, что малая вариация кодов влечет с аффинной точки зрения малое изменение самих фигур. Из этих положений извлекаются полиномиальной сложности процедуры установления с заданной точностью похожести геометрических фигур. Этот подход был обобщен в направлении восстановления фигуры по ее проекциям.

По изложенным результатам В. Н. Козлов защитил докторскую диссертацию.

3.3. Автоматное распознавание

В основе этого направления лежит использование автоматов как средства распознавания.

Здесь выделяются два направления, связанных с распознаванием видео- и аудиообразов.

При распознавании видеоизображений С. В. Алешиным [116] рассматривалась ситуация, когда изображение допускает изучение с помощью изменения его масштабности. Тем самым возникает иерархическое представление изображения, на которое "запускается" автомат. Автомат должен перемещаться по этой иерархии, анализировать её и определять образ, кодируемый этим изображением. Для отдельных классов изображений построены соответствующие автоматы-распознаватели и изучены их свойства.

Эти результаты вместе с приложениями в промышленности составили содержание его докторской диссертации.

В исследованиях И. Л. Мазуренко [28], выполненных под руководством Д. Н. Бабина, автоматный подход использован при распознавании речи. Им предложены представления фрагментов реальных языков с помощью регулярных языков и построены соответствующие автоматы-распознаватели. Работа доведена до действующих программных комплексов. Экспериментальная эффективность этих процедур, усиленных лазерным сопровождением учета артикуляции и дополнительным обучением, оказалось выше известных распознавателей русской речи.

4. Хранение и поиск информации

Это направление напрямую связано с развитием и потребностями вычислительной техники и является детищем второй половины XX столетия. За более чем полувековой период сформировались конкретные типы форм хранения информации, ключевых задач поиска и алгоритмов их решения. В целом состояние дел здесь имело вид набора разрозненных компонент раздела хранения и поиска информации, играющих роль модельных объектов. Не хватало общей модели, единых постановок задач, универсального понятия сложности решения таких задач и соответствующих алгоритмов.

Создание общей теории хранения и поиска информации под руководством автора и А. С. Подколзина удалось осуществить Э. Э. Гасанову [29].

Была предложена общая информационно-графовая модель хранения и поиска данных. Она представляет собой граф, имеющий входные и выходные вершины. По первым из них поступает входная информация, а со вторых снимается реакция на входную информацию. Рёбра графа являются проводниками информации. В вершинах графа расположены автоматы-вычислители, обрабатывающие информацию, поступающую по входящим ребрам, и передающие результат вычислений по выходящим рёбрам. Таким образом, под воздействием значений на входах графа в последнем возникает вычислительный процесс, приводящий к значениям на выходах графа. Граф играет двоякую роль, храня данные и позволяя вычислять ответы заданным запросам. Он строится по конкретному блоку данных и списку возможных запросов о них. Под сложностью поиска ответа можно понимать время его вычисления. Блоки данных можно характеризовать размерными параметрами и ставить массовые сложностные задачи, характеризуемые соответствующими функциями Шеннона. В качестве таких задач выступают "базовые" задачи, разрозненно решавшиеся ранее для разных видов баз данных типа лексикографических, древовидных, реляционных и др., обобщением которых является информационно-графовые базы данных.

Примерами таких базовых задач являются поисковые задачи "с короткими ответами", "на частично-упорядоченных множествах", "интервального поиска" и др. Для базовых задач разработаны методы решения двух групп проблем, связанных с оценкой соответствующей сложностной функции Шеннона и с синтезом информационно-графовых моделей, оптимально решающих базовые задачи. Указан явный вид асимптотического поведения функций Шеннона и показано, что он неустойчив относительно вариации параметров графа и устойчив при вариации входных данных.

Построенная теория накрывает все частные находки для конкретных баз данных и дает алгоритмы и новые технологии синтеза баз данных нового типа, которые много эффективнее известных.

По изложенным результатам Э. Э. Гасанов защитил докторскую диссертацию.

Учеником автора Б. Тальхаймом [30] из Германии развит логический подход к изучению баз данных. Им установлены критерии того, когда базы данных являются функциональными и допускают декомпозиционное представление. Выяснено, когда базы данных аксиоматизируемы и могут быть описаны как дедуктивные замыкания аксиом. Предложены соответствующие алгоритмы. Построены реальные базы данных, связанные с экологической информацией.

По этим результатам им защищена докторская диссертация.

Учеником А. Е. Андреева М. Н. Назаровым исследована задача параллельного доступа к базам данных, расположенным на нескольких внешних носителях, с несколькими независимыми запросами в случае, когда разрешается только одно обращение к каждому из носителей [119]. Оценена сложность такого доступа.

5. Решатели интеллектуальных задач

Разработка решателей интеллектуальных задач является главным направлением теории интеллектуальных систем. На кафедре она осуществляется А. С. Подколзиным [31]. Им развит новый оригинальный подход к синтезу таких решателей. Ясно, что такой комплексной сложности проблема может решаться лишь эволюционно, двигаясь от конкретности в сторону нарастающей общности. В качестве предметной области были выбраны элементарная математика и начала математического анализа; которые располагают огромным количеством упражнений, а тем самым богатым обучающим материалом. Версия такого решателя была упомянута выше.

В самом общем виде решатель можно считать дедуктивной системой, в которой из заданного списка аксиом ищется вывод конкретного утверждения. В этом смысле он смыкается с идеологией математической логики. Определенной особенностью последней является то, что в ней процесс поиска самого вывода не выступает как центральная проблема. В ней обычно рассматриваются ситуации, когда, либо известно, что вывод имеется, либо используются предположения, достаточные для существования вывода.

В решателе же синтез вывода или отсутствие его являются главной проблемой. Как и за счет каких средств можно построить такой вывод?

Предлагается следующий подход. Считается, что фиксирован некоторый язык, в котором выражаются предложения и вопросы к ним. Создается банк элементарных преобразований слов и предложений в этом языке. Считается, что можно измерить эффективность воздействия конкретного преобразования на заданный текст. Теперь следует понять, можно ли и как построить вывод в виде последовательности элементарных преобразований, которая, используя список исходных аксиом, по заданному тексту ответит на заданный вопрос относительно него. Разработана сложная мощная технология создания решателей такого рода. В основе своей они имитируют логический вывод исчислений, но делают это за счет внутреннего лоцмана, который управляет выводом, и на каждом шаге выбирает план действий с наилучшей оценкой эффективности. Как выяснилось на примере решателя задач по элементарной математике, этот подход на практике имитирует ход рассуждения сильного школьника и студента и в целом стремится к поиску самого короткого пути решения, то есть в этом смысле градиентен.

Явление самообучения в решателе пока присутствует в недостаточной мере.

Свойство самообучения для решателя — задача будущего и её решение станет, без сомнения, прорывным в моделировании познания.

По изложенным результатам А. С. Подколзин защитил докторскую диссертацию.

6. Обучающие системы

Это направление вместе с автором развивают А. С. Строгалов, П. А. Алисейчик и В. В. Перетрухин [32]. Автором была предложена новая концепция компьютерной обучающей системы, содержащая три основные компоненты: модель учителя, модель ученика и базы данных в виде определенных знаний. Система функционирует следующим образом. Она получает общие данные об ученике и задачу, которую в итоге надо решить: например, ученику достичь определенного условного уровня знаний. Затем система подключает встроенную модель учителя, которая начинает обучение ученика, снимая по ходу определенные данные об ученике такие, как скорость запоминания, усвоение материала, умение сосредоточиться и т. п. Эти факторы формируют у учителя образ ученика, что позволяет ему оптимизировать передачу знаний ему. Параметры модели, ученика и материала зависят от предметной области. Была разработана мощная оболочка для обучающей экспертной системы такого вида. В её создании принимал участие также К. Вашик из Германии.

Были созданы около двадцати систем обучения по искусству, информатике, медицине, истории, литературе, экономике и другим направлениям, которые используются на практике.

7. Автоматы

Автомат может рассматриваться как формализация понятия интеллектуальной системы, а также, как отмечалось, достаточно общего вида управляющая система.

Он характеризуется своей внутренней логикой, структурой, поведением в среде. Взаимосвязь этих компонент при широких интерпретациях каждой из них составляют предмет изучения теории автоматов.

Выделяются три главных раздела этой теории: теория абстрактных автоматов, теория структурных автоматов и теория однородных структур автоматов (называемых также клеточными автоматами).

Теория абстрактных автоматов изучает свойства фиксированного автомата, функционирующего в среде. Теория структурных автоматов изучает способности систем автоматов порождать их композиции и свойства этих композиций. Теория клеточных автоматов изучает свойства бесконечных композиций систем автоматов.

7.1. Теория абстрактных автоматов

Тематика этой теории группируется в основном вокруг двух проблем общего характера — проблем анализа и синтеза для абстрактных автоматов.

Проблема анализа состоит в описании поведений заданного автомата, а проблема синтеза — в описании автоматов, обладающих заданным поведением.

Виды поведений автоматов доставляют практические задачи. К числу основных поведений относятся поведение автомата как преобразователя, акцептора, перечислителя, вычислителя и др.

Исторически первым стало изучаться поведение автомата как преобразователя. Оно определялось задачей о расшифровке автомата и его состояний по фрагментам его поведения, имеющих вид множества соответствий входных и выходных слов автомата (экспериментов с ним), то есть решается задача синтеза.

Задачу о расшифровке автомата поставил Э. Мур [30], он же очертил начальную проблематику и получил первые важные результаты по расшифровке автоматов и их состояний простыми и кратными экспериментами.

Задача о расшифровке допускает более широкую и содержательную трактовку.

У Э. Мура при расшифровке состояния предполагалось, что во власти экспериментатора имеется множество вход-выходных соответствий слов, возникающее при подаче на автомат, взятом в конкретном начальном состоянии, входных слов. Это множество образует "входную" окрестность состояния автомата. Важным расширением этой ситуации является допущение знания также того множества вход-выходных соответствий слов, которое возникает при переходе из других состояний автомата в заданное. Это множество образует "входную" окрестность состояния автомата.

Теперь задача о расшифровке состояния решается в предположении, что известны фрагменты этих пар окрестностей; применительно к автомату предполагается известной система фрагментов таких пар окрестностей для разных состояний; также очерчивается класс автоматов, в котором находится искомый автомат.

В такой постановке автора важные результаты под его руководством были получены И. С. Грунским [34]. Выяснено, как устроены простейшие фрагменты пар окрестностей, допускающие расшифровку состояния, а также, как устроены простейшие системы таких фрагментов пар окрестностей, когда возможна расшифровка автомата, как в конечных, так и в бесконечных классах автоматов. Дана характеризация всей системы таких окрестностей. Предложены близкие к оптимальным процедуры расшифровки для содержательно значимых классов автоматов. Эти результаты представлены им как докторская диссертация.

Исследования Г. Г. Пономаренко [35], выполненные под руководством автора и И. С. Грунского, посвящены расшифровке автоматов в предположении, что известны лишь фрагменты выходных окрестностей, и они ограничены некоторым числом **r**. Сравнение автоматов с помощью таких окрестностей порождает **r**-эквивалентность автоматов.

Исследована структура класса **r**-эквивалентных автоматов, а также надструктура таких классов. Предложены соответствующие процедуры расшифровки автоматов.

С. А. Богомоловым [36] под руководством автора и В. А. Буевича исследована возможность расшифровки в определенном смысле простейших автоматов, определяемых конечным множеством фрагментов конечных выходных окрестностей, представленных в виде объединенного множеством простых экспериментов. Дана полная характеризация таких автоматов и алгоритмы их построения.

А. В. Ключниковым [37], учеником В. А. Буевича, исследовался сложностной аспект задачи, примыкающей к расшифровке автомата.

Влиянию на это решение вида класса автоматов, в котором решается задача расшифровки, посвящены исследования В. А. Козловского [38], выполненные под руководством автора и И. С. Грунского. Об этом несколько подробнее.

Реальное создание автомата осуществляется поэтапно по его диаграмме Мура. На каждом этапе реализуется построение переходов из заданного состояния в другие под действием каждой входной буквы. В этом месте и возникают ошибки типа неверных переходов внутри одной звезды диаграммы Мура. Порождаемый за счет такой многократной операции, примененной к некоторому автомату, класс выбирается как подлежащий анализу для расшифровки исходного автомата в предположении, что известны определенные фрагменты его выходных окрестностей. Изучено строение этого класса. Установлена полиномиальная сложность расшифровки автомата в таком классе и предложены соответствующие алгоритмы. В общем случае сложность расшифровки в классе автоматов с фиксированным числом состояний является экспоненциальной.

Влияние симметрии на решение задачи расшифровки при многомерном входном алфавите автомата изучено в работе Л. В. Кальянова [39], выполненной под руководством автора и А. М. Богомолова. Им описаны группы инерции автоматов, функционирующих на словах заданной длины, установлены виды временных цепочек таких групп и оценены их длины. Показано, как влияет знание этих цепочек на расшифровку автомата.

Вместе с самостоятельной значимостью задача о расшифровке имеет важное прикладное значение, являясь формализацией задачи диагностики реальных автоматов.

В общем виде последняя формулируется так. Имеются исходный автомат и система автоматов, считающихся поломками этого автомата.

Требуется, если это возможно, с помощью экспериментов по любому автомату системы установить, является ли он исходным или нет.

Учеником автора и А. М. Богомолова В. Г. Скобелевым [40] исследовались сложностные аспекты решения задачи расшифровки; другим их учеником А. А. Сытником исследовалась эта задача при задании класса автоматов как подавтоматов одного универсального автомата.

К этой постановке примыкают выполненные под руководством автора исследования Г. Р. Погосяна [41] и О. А. Долотовой [42], которые изучали автоматы без памяти с ошибками на входах типа коротких замыканий, обрывов, перепутывания входов и др.

О. А. Долотовой рассмотрены классы Поста [43, 44] булевских функций и для каждого из них найдено поведение функций Шеннона, определяющих минимально достаточное число наборов значений переменных, устанавливающих правильность функционирования автомата, реализующего эту функцию. Оказалось, что только для классов конъюнкций и дизъюнкции эти функции растут, причем линейно. Для остальных классов они имеют константные значения. Этот эффект сохраняется и при рассмотрении Шенноновских функций для почти всех функций из классов Поста.

Г. Р. Погосяном рассмотрены функции **k**-значной логики. Здесь оказалось, что Шенноновские функции, аналогичные описанным выше, являются растущими с ростом числа переменных у функций **k**-значной логики. Явно указаны асимптотические поведения таких Шенноновских функций.

Все перечисленные в этом разделе работы, подобно работам О. А. Долотовой и Г. Р. Погосяна, адаптировались под решение задачи диагностики автоматов и привели к созданию обслуживающих её алгоритмов, которые используются на практике.

Одновременно с автоматом-преобразователем изучалось поведение автомата как акцептора. Оно состоит в исследовании задачи описания возможных классификаций внешних воздействий на автомат, имеющих вид множеств входных слов (событий), его внутренней логикой.

Задачу о классификации событий путем представления их автоматами поставил С. Клини [45], он же дал её исчерпывающее решение. Им было показано, что события, распознаваемые автоматами, образуют специальную алгебру и идентичны так называемым регулярным множествам слов. Результаты С. Клини наметили путь очерчивания формальных языков, аппроксимирующих реальные языки. После открытия им регулярных языков возникла иерархия их обобщений как языков, представимых машинами Тьюринга с различными ограничениями.

Для всех таких машин, частным случаем которых являются автоматы, и языков также характерны задачи соответствий.

Так, после работ С. Клини стало актуальным описание формул регулярных событий, представимых автоматом, и, наоборот, по формулам описывать соответствующие автоматы. Практически значимые алгоритмы такого рода были предложены В. М. Глушковым [46].

Под руководством автора и А. С. Подколзина Ш. Ушчумличем [47] из Югославии решены задачи соответствия применительно к алгоритмам В. М. Глушкова в цепочке "анализ-синтез-анализ". Разработана специальная техника для оперирования регулярными выражениями и диаграммами Мура, позволившая выявить связь между ними. Эта техника дала возможность явно описать каждый из объектов в соседних переходах на качественном, метрическом и алгоритмическом уровнях. Установленные оценки сложности простейших регулярных формул и автоматов, соответствующих друг другу, близки к окончательным, являются экспоненциальными и получены конструктивно. Алгоритмическая часть близка к оптимальной.

Эти результаты составили содержание докторской диссертации Ш. Ушчумлича.

К интересным формам поведения автомата относятся его вычислительные возможности. Достаточно широкого плана представляется следующая интерпретация вычислений с помощью автомата. Пусть автомат имеет несколько входных и один выходной канал. На входы автомата подаются случайные последовательности с независимыми разрядами. Тогда частоты появления символов в выходной последовательности определяются вероятностями появления символов во входных последовательностях, что позволяет приписать автомату числовую многоместную функцию, аргументы и значения которой определены на единичном отрезке.

Изучение такого моделирования автоматами действительных функций под руководством автора и А. Д. Подколзина провел

А. В. Рябинин [48]. Им решена задача анализа для автоматов-вычислителей указанием класса моделируемых описанным образом функций. Оказалось, что с некоторыми уточнениями он исчерпывается отношениями однородных полиномов с натуральными коэффициентами. Показано, как вычисляются эти полиномы, а также, как через них выражаются функции, вычислимые суперпозициями заданных автоматов. Получены близкие к окончательным оценки числа состояний у автоматов, моделирующих с заданной точностью любую непрерывную и даже любой степени гладкости функцию.

Построенная модель является одной из простейших для вычисления сложных действительных функций.

Важный класс технических автоматов образуют генераторы. Автомат называется генератором, если его область значений совпадает с множеством всех выходных слов. Свойство быть генератором для автомата обычно устанавливается путем проверки строения множества его выходных слов растущей длины. Под руководством автора А. С. Подколзиным [49] установлено, что Шенноновская функция длины таких проверяющих слов равна $2^n - 1$, где n — число состояний автомата. Решение дано конструктивно путем указания соответствующего сложного примера, что крайне редко случается при установлении нижних оценок сложности. Эта работа стала победительницей студенческого научного конкурса страны.

Описанные типы поведений автоматов не предполагали дополнительной интерпретации для входных и выходных слов автоматов.

Содержательные возможности автоматов усиливаются с введением такой интерпретации.

Интерпретация слов как траекторий в дискретном пространстве является одной из наиболее изучаемых.

В пространстве выбирается целочисленная решетка. Вершины этой решетки "окрашиваются" цветами из некоторого списка. На решетку в её вершину помещается автомат, который может "обозревать" некоторую конечную окрестность. Конфигурация цветов окрестности является его входной буквой. Выходная буква автомата означает его движение в соседнюю по ребру вершину или оставление на месте. Запущенный в такую раскрашенную решетку автомат начинает движение по ней. Оно и обходимые зоны являются предметом изучения для автоматов такого рода.

Выделяются связные зоны в решетке, окрашенные определенной группой цветов в предположении, что дополнение её окрашено в отличный и фиксированный цвет. Такая зона называется лабиринтом (конечным или бесконечным). Считается, что автомат может находиться только в лабиринте.

Ставится вопрос, может ли некоторый автомат обойти все конечные лабиринты? Отрицательный ответ с логическими пробелами и в весьма громоздкой форме для плоских лабиринтов получен Л. Будахом [50]. А. С. Подколзин дал ясное и короткое доказательство этого факта [51]. Интересно отметить, что коллектив из двух автоматов уже может обойти все конечные лабиринты. Для трехмерных лабиринтов отсутствие таких автоматов-обходчиков устанавливается существенно проще.

Важный цикл работ в тематике обхода лабиринтов автоматами выполнил под руководством автора Г. Килибарда [52] из Югославии.

Им дано индуктивное логически простое доказательство упомянутой теоремы Будаха — Подколзина.

Найдены простейшие коллективы-обходчики всех плоских лабиринтов, состоящие из автомата и камней-автоматов, которые сами не могут перемещаться и переносятся автоматом из этого коллектива.

Оценено время обхода лабиринтов. Оно оказалось по порядку совпадающим с площадью лабиринта.

Для плоского случая построены универсальные ловушки в виде бесконечных лабиринтов, в которых в зависимости от числа состояний указывается радиус окрестности, из которой автомат не может выйти, стартуя с любой вершины лабиринта.

Последние построения распространены на объемный случай для коллективов автоматов.

Эти результаты составили основу докторской диссертации Г. Килибарды [78].

Ученик А. С. Подколзина Г. Ю. Кудрявцев [53] рассмотрел задачу автоматизации анализа диаграммы Мура для автоматов. Эта задача связана с обходом лабиринтов и выяснением их свойств. Показано, как синтезировать автомат, способный обойти заданную диаграмму Мура за оптимальное время и оценено число его состояний. Построен автомат, решающий задачу отличимости состояний диаграммы, оценены число его состояний, время решения и длины его экспериментов, используемые автоматов при решении этой задачи.

С автоматно-лабиринтной тематикой связаны работы А. Н. Зыричева [54], А. А. Золотых [55], А. З. Насырова [56], В. И. Грунской [57], Б. Стоматович из Югославии и др.

А. Н. Зыричевым установлено существование автомата, обходящего все плоские конечные лабиринты с ограниченными дырами.

А. А. Золотых усилил этот результат, показав, что одним автоматом можно обойти все подобные лабиринты, дыры которых ограничены лишь в фиксированном направлении.

А. З. Насыров под руководством В. А. Буевича установил, что автомат с двумя отметками, одна из которых нестираема, может обойти любой конечный многомерный лабиринт.

В. И. Грунская под руководством автора начала исследования по характеризации траектории автомата в лабиринтах. Установлено, когда автоматы эквивалентны относительно такого поведения, а также то, что как язык такие классы траекторий могут относиться к контекстно-зависимым языкам с рядом важных разрешимых свойств.

Ученицей автора Б. Стоматович решалась задача распознавания букв с помощью автоматов. При заданной формализации понятия буквы построены соответствующие автоматы-распознаватели, когда они существуют, и указаны случаи, когда таковых нет. Оценена как полиномиальная от площади буквы сложность решения такой задачи распознавания.

Ученик автора Й. Шторм [58] из Германии изучал поведение автоматов в среде, также являющейся автоматом. В автомате выделяется подмножество допустимых состояний и считается, что он при $\delta > 0$ является δ-оптимально ведущим в среде, если частота нахождения его в выделенных состояниях не меньше $1 - \delta$ при росте времени его функционирования в среде. По заданным δ и среде описаны соответствующие автоматы и, наоборот, по автомату и δ описаны соответствующие среды. Изучены возникающие иерархии автоматов и сред, построены процедуры их синтеза.

7.2. Теория структурных автоматов

Как отмечалось, предмет этой теории составляют свойства алгебр автоматов. Условно эти алгебры разбиваются на два класса — алгебры автоматов без памяти и алгебры автоматов с памятью.

Первые из них известны как алгебры логических функций, а за вторыми закрепился термин алгебры автоматов. Те и другие называют также функциональными системами.

К числу основных проблем для этих алгебр относятся проблемы полноты, выразимости, базисов, строения решеток подалгебр и др.

Проблема полноты состоит в описании всех подмножеств элементов алгебры, замыкание которых относительно операций алгебры дает все множество ее элементов; такие множества называются полными.

Проблема выразимости состоит в указании всех таких пар подмножеств $\mathbf{M_1}$ и $\mathbf{M_2}$ элементов алгебры, что замыкание $\mathbf{M_1}$ относительно операций алгебры содержит $\mathbf{M_2}$.

Проблема базисов состоит в указании полных и неприводимых множеств элементов алгебры.

Автоматы без памяти

Исторически первыми начали изучаться алгебры логических функций с операциями суперпозиции.

Э. Пост [43] построил всю решетку подалгебр алгебры $\mathbf{P_2}$ двузначных логических функций. Отсюда вытекало решение проблем полноты, выразимости и базисов для всех подалгебр алгебры $\mathbf{P_2}$.

Ю. И. Янов и А. А. Мучник [59] установили принципиальное отличие от $\mathbf{P_2}$ подалгебр алгебры $\mathbf{P_k}$ $\mathbf{k}$-значных логических функций при $\mathbf{k} > 2$. Здесь уже не все подалгебры являются конечно-порожденными, а их решетки становятся континуальными.

А. В. Кузнецов [60] показал, что во всех конечно-порожденных подалгебрах в $\mathbf{P_k}$ система максимальных подалгебр, то есть предполных классов, конечна, строится эффективно и является критериальной. Последнее означает, что множество функций подалгебры является полным точно тогда, когда оно не содержится ни в одном предполном классе. Отсюда вытекает алгоритмическая разрешимость проблем выразимости и полноты для конечных множеств, а также эквивалентность этих проблем построению всех предполных классов.

Явное описание систем предполных классов было получено сначала для $\mathbf{P_3}$ С. В. Яблонским [60] и для $\mathbf{P_4}$ А. И. Мальцевым [61]. И. Розенбергом [62] с помощью техники предикатного описания предполных классов, которую он заимствовал у А. В. Кузнецова и существенно развил, удалось выявить все предполные классы для $\mathbf{P_k}$ при любом $\mathbf{k}$.

Автором вместе С. В. Яблонским и Е. Ю. Захаровой [63] установлена асимптотика числа предполных классов в $\mathbf{P_k}$ (проблема Кузнецова), которая имеет вид двойной экспоненты, откуда вытекала практическая ограниченность критериев полноты в терминах предполных классов.

Автором [64] дано явное описание минимальной шефферовой системы предполных классов, то есть критериальной системы для определения свойства функции быть полной в $\mathbf{P_k}$ (проблема Шеффера). Такая система оказалась единственной.

Им описаны все фундаментальные подгруппы симметрической группы перестановок из $\mathbf{k}$ элементов. Такие подгруппы определяются свойством быть полной системой с любой существенной функцией (проблема Соломаа).

Он [64] дал описание минимальной критериальной системы для систем функций из $\mathbf{P_k}$, принимающих все $\mathbf{k}$ значений.

Под руководством автора Д. Лау [65] из Германии исследована задача о конечной порожденности классов монотонных функций в $\mathbf{P_k}$. Описаны те классы, которые имеют конечный базис, и обнаружены классы, которые не обладают таковым.

Под руководством автора В. Харнау [66] из Германии, рассмотрел подрешетку замкнутых классов в $\mathbf{P_k}$, образованных всеми функциями, коммутирующими с заданной одноместной функцией. Выяснено, когда такие классы совпадают, каковы максимальные подалгебры в этой подрешетке, какова ее мощность, глубина, ширина, максимальная и минимальная длины цепей. Эти рассмотрения были им затем обобщены на случай всей системы $\mathbf{P_k}$, а также были изучены соответствия типа Галуа, включающие замкнутые классы, не содержащие селекторы.

Эти результаты составили содержание докторской диссертации В. Харнау [67].

Объект логических функций автором расширен до неоднородных логических функций, зависящих от переменных с разными множествами значений. Для алгебр вида $\mathbf{P}_\Sigma$, таких функций с операциями суперпозиции установлены критерии вложимости и конечной порожденности, решены на алгоритмическом уровне и в терминах предполных классов проблемы полноты и выразимости. Явно указаны критериальные системы предполных классов для таких алгебр при малом числе значений переменных и групп сортов переменных. Установлено, что счетной решеткой подалгебр среди всех неоднородных алгебр обладает только $\mathbf{P_2}$.

Строение решетки подалгебр самой простой алгебры $\mathbf{P}_{\Sigma_1}$ неоднородных функций изучалось под руководством автора Л. Арутюнян [68]. Знание решетки для $\mathbf{P_2}$ можно использовать для описания подалгебр из $\mathbf{P}_{\Sigma_1}$. Они были расслоены по "следу", т. е. по пересечению подалгебры из $\mathbf{P}_{\Sigma_1}$ с $\mathbf{P_2}$. Было установлено, какие слои имеют конечную, счетную и континуальную мощности. Последние практически становятся эквивалентными булеану, поскольку операции суперпозиции порождают из заданных функций лишь очень вырожденные функции.

Аппроксимационный подход в изучении свойств решетки $\mathbf{P_2}$ развит под руководством автора и А. С. Подколзина Р. М. Джавадовым [69].

Вводится мера близости между функциями как доля отличия их на всех наборах значений переменных.

Рассматриваются задачи метрической полноты и выразимости для $\mathbf{P_2}$ и его подмножеств с точностью до заданного $\epsilon > 0$. Дается их решение для всей решетки Поста. Техника доказательств использует специальное логически простое представление функций, ϵ-апроксимирующее заданную функцию.

Под руководством автора П. А. Алисейчиком [70] найдена ассимптотика длины самого длинного базиса в $\mathbf{P_k}$ и указаны такие базисы при малых значениях $\mathbf{k}$.

Учеником автора С. И. Карташевым [71] рассмотрены алгебры функций из $\mathbf{P_2}$, в которых в качестве операций выступают замкнутые множества функций из $\mathbf{P_2}$. Указано расслоение решетки Поста на классы, приводящие к алгебрам, в которых решетки замкнутых множеств, соответственно, конечны, счетны и континуальны. В последнем случае алгебры по своим свойствам так же, как и выше, близки к булеану.

Эти построения затем были усилены Доу Жу Цзыном [72] из Китая, учеником автора. Им были рассмотрены алгебры предикатов из $\mathbf{P_k}$ с операциями из $\mathbf{P_2}$. Решена задача классификации таких алгебр, имеющих конечное, счетное и континуальное множество подалгебр. Решена задача о полноте и выразимости для всех таких алгебр с явным указанием алгоритмов и систем предполных классов.

Учеником С. В. Алешина А. В. Макаровым [73] было продолжено вслед за А. И. Мальцевым [61] изучение гомоморфизмов для системы $\mathbf{P_k}$.

Учеником А. С. Подколзина В. В. Кудрявцевым [74] рассмотрен новый класс функциональных объектов конечных наборов (пучков) функций из $\mathbf{P_k}$. Они могут рассматриваться как обобщенное описание автомата, включающее лишь функции, реализуемые им в различных состояниях. На алгоритмическом уровне решены задачи полноты и выразимости для конечно-порожденных алгебр таких пучков. Указаны алгоритмы построения предполных классов в этих алгебрах, хотя аппарат предикатов и классов их сохранения в этой модели присутствует ограниченно.

В исследованиях ученика автора В. Ш. Дарсалия [75] рассмотрены алгебры полиномов с операциями суперпозиции. Для полиномов с натуральными коэффициентами явно указаны все предполные классы; их число конечно. Показана алгоритмическая разрешимость задач о полноте и выразимости. Для полиномов с целыми и рациональными коэффициентами обе последние задачи алгоритмически неразрешимы, а множество предполных классов, хотя и образует критериальную систему, но континуально. В случае натуральных и целых коэффициентов базисы конечны и алгоритмически возможно выделение их из любой полной системы. В случае рациональных коэффициентов полные системы бесконечны. Указаны, соответственно, глубины значений залегания этих алгебр друг в друге.

Другим обобщением алгебры $\mathbf{P_k}$ являются предельные логики. Счетное множество функций со значениями их переменных, как и самих функций, из натурального ряда с операциями суперпозиции образует алгебру, называемую предельной логикой, если для любого $\mathbf{k}$ в ней есть подалгебра, гомоморфным образом которой является $\mathbf{P_k}$. Множество предельных логик континуально.

Учеником С. В. Яблонского и автора Я. Деметровичем [76] из Венгрии изучен вопрос о возможном сужении этого множества за счет моделируемости предельных логик внутри себя других предельных логик. Возникающие частичные предпорядки содержат классы эквивалентностей, которые и могли бы осуществлять поглощение "похожих логик". Оказалось, что этих классов для целого ряда естественных пониманий моделируемости все же континуум. В то же время минимальные и максимальные такие классы обладают рядом конструктивных особенностей таких, как явное указание базисов, предполных классов, строения их функций и др.

Автором предложена общая конструктивная модель функциональной системы [64]. Эта модель имеет две реализации. В одной носителем являются функции конечно- или счетно-значной логики, а в другой — последовательностные функции, то есть словарные функции, реализуемые конечными или бесконечными автоматами. В обоих случаях в качестве операций выступают автоматно-вычислимые операции, которые индуцируют автоматное замыкание в этих функциональных системах. Коллекция существующих конкретных функциональных систем охватывается этой моделью. Кроме того, можно ожидать, что будут возникать новые такие алгебры функций, в которых операции будут конечно-местными, а, значит, индуцируемый оператор замыкания будет алгебраическим. В предлагаемой модели реализуем любой такой оператор. Описаны многообразие автоматных замыканий, свойство их частичного порядка, его глубина и ширина, действие финитных автоматных замыканий. Последние имеют конечную систему образующих, содержа операции суперпозиции, и как угодно точно аппроксимируют любые автоматные замыкания. Построена теория конечно-порожденных финитных функциональных систем с носителем $\mathbf{P_k}$, дающая решения упомянутых выше основных проблем для алгебр функций. В частности, установлено, каким образом трансформируется решетка замкнутых классов в $\mathbf{P_k}$ от континуальной до конечной мощности при вариации финитных замыканий; аналогичная картина воссоздана для случая множества функций счетно-значной логики.

Эти результаты вместе с описанными ранее для автоматов без памяти составили содержание докторской диссертации автора.

Учеником С. В. Алешина В. Лашхиа [77] рассмотрен пример функциональной системы функций из $\mathbf{P_k}$ с конкретным видов автоматно-вычислимых операций над ними. Для неё исследованы некоторые основные задачи для функциональных систем.

Г. Килибарда [78] изучал под руководством автора свойства автоматных замыканий для вычислимых функций. Для классической функциональной системы вычислимых функций с операциями суперпозиции, примитивной рекурсии и минимизации базовая проблематика функциональных систем алгоритмически не разрешима. Возникает вопрос о том, каким образом за счет усиления автоматных замыканий в таких алгебрах можно добиться конструктивности свойств алгебры. Им указаны цепи таких усилений автоматных замыканий, которые приводят к разрешимости как отдельных базовых проблем теории функциональных систем, так и их сочетаний.

Автоматы с памятью

Алгебры автоматов с памятью образуют более сложный объект, чем алгебры автоматов без памяти, с проявлением новых важных свойств.

Первой алгеброй такого рода была рассмотрена функциональная система автоматов, называемых функциями **k**-значной логики с задержками, с операциями синхронной суперпозиции. Она изучалась автором [79] под руководством О. Б. Лупанова. Такой автомат вычисляет функцию из $\mathbf{P_k}$ за некоторое время (с задержкой). При подстановке таких автоматов вместо входных переменных другого автомата требуется, чтобы подставляемые автоматы имели одну и ту же задержку вычисления (синхронная подстановка). Возникающая функциональная система $\overline{P_k}$ отражает реальную ситуацию, соответствующую синтезу чипов.

Здесь рассмотрена серия задач различных толкований полноты. Система автоматов считается полной, если ее замыкание содержит любую функцию хоть с какой-нибудь задержкой; любую функцию с ограниченной задержкой; любую функцию с любой задержкой, начиная с некоторой; и другие варианты.

В каждом из этих случаев находились критериальные системы замкнутых классов, которые состояли из счетных, но эффективно описываемых семейств предполных классов, а также цепочек замкнутых классов, не входящих ни в один из предполных классов.

Это явление отличает такую алгебру от случая автоматов без памяти.

При этом оказалось, что всегда существует алгоритм распознавания полноты в указанных смыслах и он извлекается из свойств критериальных систем.

Дополнительной характеризацией этой алгебры было получение под руководством автора и А. А. Болотова, М. Миличичем [127] из Югославии описания соответствий Галуа для функций с задержками и изложение на этом языке известных и некоторых новых фактов.

Переход от этой алгебры к алгебре $\mathbf{P_a}$ всех конечных автоматов с операциями суперпозиции и обратной связи (операции композиции) приводят к выявлению новых эффектов. Хотя алгебра $\mathbf{P_a}$ конечно-порожденная, в ней уже, как показал автор под руководством О. Б. Лупанова [79], континуум предполных классов, и, как показал М. И. Кратко [80] под руководством Б. А. Трахтенброта, в ней проблема выразимости и полноты алгоритмически неразрешима.

Эти обстоятельства поставили проблемы изучения феномена неэффективности решения базовых проблем для $\mathbf{P_a}$. Обозначились два основных пути этого изучения.

Первый путь предполагал допущение вариации понятия полноты и выразимости, а второй — сужение класса автоматов, исследуемых на полноту и выразимость.

Первый путь исследовался под руководством автора В. А. Буевичем [81], Б. Тальхаймом [82], Ю. Дассовым [83] (последние — оба из Германии), А. С. Строгаловым [84] и И. Хазбуном [85] (из Иордании; соруководитель — Д. Н. Бабин) и др.

Второй путь также под руководством автора изучался К. В. Колядой [86], Д. Н. Бабиным [87] и др., а под руководством С. В. Алешина — А. А. Часовских [88].

Опишем полученные здесь результаты несколько подробнее. В. А. Буевичем и Б. Тальхаймом рассматривался вариант полноты в предположении, что система автоматов, будучи замкнутой относительно операций композиции, на словах заданной длины τ моделирует поведение любого автомата (τ-полнота). Если система автоматов τ-полна для любого τ, то возникает вариант $\mathbf{A}$-полноты.

Ясно, что при фиксированных τ и значности $\mathbf{k}$ входных каналов автомата изучение $\mathbf{P_a}$ сводится к рассмотрению, во-первых, $\mathbf{P_a}$ только с операциями суперпозиции, а, во-вторых, к замене $\mathbf{P_a}$ на некоторый специальный конечно-порожденный подкласс $\mathbf{R}$ функций $\mathbf{k}^\tau$-значной логики. Как отмечалось выше, здесь имеется алгоритм распознавания полноты и выразимости, а также алгоритм построения всех предполных классов, множество которых конечно.

Интерес представляет явное описание этих классов. Оно получено В. А. Буевичем, что составило содержание его докторской диссертации.

Учеником В. А. Буевича Мохамедом аль Наефом из Ливана были продолжены рассмотрения отношений типа полноты и $\mathbf{A}$-полноты для автоматов фиксированной арности [124].

Б. Тальхайм изучал свойства класса $\mathbf{R_1}$ одноместных функций из $\mathbf{R}$. Им установлены мощность этого класса и решетки его замкнутых подклассов, её глубина и ширина, описаны предполные классы, решены задачи о полноте и выразимости для $\mathbf{R_1}$. Им же найдены достаточные условия τ-полноты в $\mathbf{R}$ систем, содержащих все $\mathbf{R_1}$.

В. А. Буевич показал, что проблемы $\mathbf{A}$-полноты и $\mathbf{A}$-выразимости для автоматов алгоритмически неразрешимы.

Другим ослаблением полноты является требование к системам автоматов в своем замыкании содержать для любого регулярного события автомат, его представляющий. Такая полнота называется Клини-полнотой или **K**-полнотой.

Ю. Дассовым установлено, что и в этом случае отхода от обычной полноты условия **K**-полноты и **K**-выразимости для автоматов алгоритмически неразрешимы.

Еще одна попытка ослабления полноты была осуществлена в работе А. С. Строгалова. Вводится метрика на словах и сверхсловах, содержательно соответствующая Бэровской. Она распространяется на автоматы и при заданной точности ϵ вводится понятие ϵ-полноты и ϵ-выразимости как ϵ-окрестнотей замыканий соответствующих множеств. Показывается, что условия ϵ-полноты и ϵ-выразимости для автоматов алгоритмически неразрешимы, хотя в целом класс автоматов имеет хорошо сконструированный ϵ-полный подкласс сильно-связных автоматов.

Сюда относится и работа И. Хазбуна. Здесь в предположении, что композиционный автомат всегда имеет в качестве множества состояний декартово произведение состояний автоматов, из которых он получается, конструктивно решаются основные задачи для функциональных систем.

Сужение классов автоматов, исследуемых на полноту и выразимость, может осуществляться в двух направлениях.

Во-первых, можно изучать эти проблемы по отношению к подклассам множества $\mathbf{P_a}$.

Во-вторых, можно, оставаясь в классе $\mathbf{P_a}$, исследовать на полноту и выразимость специальные семейства автоматов.

В первом случае, как отмечалось, автором для функций с задержками уже установлены конструктивность свойств полноты и выразимости.

Другим сужением класса $\mathbf{P_a}$ является класс линейных автоматов. Для него А. А. Часовских установлена алгоритмическая разрешимость задач о полноте и выразимости, а также дано явное описание всех предполных классов, число которых оказалось счетным.

Во втором случае К. В. Коляда исследовал свойства подалгебр алгебры Клини регулярных функций, образованные наборами основных операций этой алгебры: объединение, конкатенация, интерация, дополнение. Установлено расслоение этих подалгебр на семейства, в которых условия полноты и выразимости алгоритмически не разрешимы, и на семейства, где эта разрешимость есть.

Важное продвижение в понимании природы неразрешимости задач полноты и выразимости для $\mathbf{P_a}$ было осуществлено в работе Д. Н. Бабина [87].

Суть подхода состояла в расслоении конечных систем автоматов на классы таким образом, чтобы системы внутри класса вели себя одинаково по отношению к свойству разрешимости быть полным, а сами классы при сравнении их друг с другом направленно наследовали свойства разрешимости или неразрешимости соответственно тому, "сильнее" или "слабее" один другого.

Естественно при этом расслоении учесть суть понятия автомата, которое по существу представляет комбинацию двух компонент — логики и памяти.

Имеет смысл и на систему автоматов взглянуть, как на состоящую из двух частей — логической и имеющей память. Как отмечалось, Э. Постом для $\mathbf{P_2}$ вычислена вся решетка замкнутых классов. Значит, целесообразно расслоить конечные системы автоматов по принципу совпадения их логических частей с фиксированным классом Поста.

Получается расслоение с указанными выше свойствами и для него уже на более высоком уровне, чем конкретная конечная система автоматов, решается вопрос, для каких классов разрешимость есть, а для каких нет.

Таким образом, возникает проблема нахождения границы внутри решетки Поста, которая выше себя содержала бы классы с разрешимой проблемой полноты, а ниже ее лежали бы классы с неразрешимой проблемой полноты.

Эта проблема отделимости разрешимых от неразрешимых случаев была решена. Оказалось, что только для конечного числа классов Поста проблема полноты разрешима, а для счетного множества классов неразрешима. В первом случае свойство полноты проверяется на схемах эффективно ограниченной сложности, а во втором моделируется комбинаторная проблема Поста, которая алгоритмически неразрешима. Им же установлено, что случай $\mathbf{A}$-полноты полностью аналогичен рассмотренному.

Изложенные результаты составили содержание его докторской диссертации.

Техника решения проблемы отделимости накапливалась им за счет рассмотрения отдельных случаев, среди которых определенную роль сыграло доказательство полноты относительно суперпозиций системы всех одноместных автоматов и автомата без памяти, реализующего шефферовую функцию.

Следует отметить, что описанное в случае Д. Н. Бабина проникновение в природу алгоритмической неразрешимости полноты имеет место лишь для автоматов, входы и выходы которых двузначны.

Тем самым случай $\mathbf{k}$-значных входов при $\mathbf{k} > 2$ остается практически полностью открытым.

Описанные в этом разделе результаты могут быть отнесены к числу основных для отмеченных выше двух путей изучения феномена неэффективности решения базовых проблем для $\mathbf{P_a}$ с операциями композиции.

Алгебра автоматов с операциями суперпозиции имеет более слабый оператор замыкания и потому ее свойства еще более неконструктивные, чем при операциях композиции.

Для таких алгебр автоматов С. В. Алешиным [89] изучена проблема базисов при вариации мощностей входного, выходного и состояний алфавитов. Им установлено, когда в таких алгебрах существуют базисы, а когда нет. Развитая техника позволила построить автоматную группу, в которой моделируется ослабленная неограниченная проблема Бернсайда. Тем самым было получено другое решение этой проблемы, до этого ранее уже решенной Е. Голодом и И. Р. Шафаревичем [90]. Значение указания такой автоматной группы имело методологическое значение, демонстрируя большие модельные возможности автоматов.

Указанные исследования С. В. Алешина были проведены под руководством автора.

Явление моделируемости группы в автоматах было затем рассмотрено В. И. Малыгиным уже на модели внутренних состояний автоматов. Им построены примеры групп, представимых в этом смысле. Это исследование выполнено под руководством С. В. Алешина.

Учеником С. В. Алешина В. В. Макаровым изучались условия конечности порядков элементов, указанной выше автоматной группы Бернсайдовского типа [125].

Влияние свойств внутренних полугрупп автоматов на решение задачи о полноте в случае суперпозиций было рассмотрено под руководством С. В. Алешина Д. Н. Бабиным, который в специальном случае так называемых вербальных автоматов получил критерий полноты в терминах предполных классов [119].

Клеточные автоматы

Клеточные автоматы представляют собой бесконечную сеть автоматов, соединенных между собой входами и выходами. Важный класс таких автоматов образуют однородные структуры, которые часто отождествляются с понятием клеточного автомата. Эта модель строится следующим образом. Рассматривается целочисленная решетка на прямой, на плоскости или в пространстве. В узлах решетки помещается один и тот же автомат с **m** входами и **p** выходами. Для фиксированного автомата указывается, к каким входам других автоматов присоединяются его входы и, наоборот, к каким входам их присоединяются его выходы. Возникает "шаблон" соседства. Точно так поступают с каждым из других автоматов. Возникает бесконечная сеть.

Если все входы и выходы автомата к чему-либо присоединены, то сеть считается автономной. Если имеются свободные входы и выходы, то они считаются, соответственно, входами и выходами сети, а сеть считается имеющей входы и выходы.

Далее полагают, что автомат является автоматом Мура, то есть его выходы полностью определяются состоянием автомата. Считается, что если он находится в состоянии "покоя" 0,а все входы так же равны 0, то в этот момент его выходы равны 0, а в следующий момент его состояние не изменится.

Изучаются две основные модели однородных структур описанного вида: автономные (а.о.с.) и имеющие входы и выходы (о.с.в.в.).

Если в а.о.с. в первый момент все автоматы находятся в состоянии 0, то информационный процесс в них вырождается в повторение начальной ситуации.

Если в а.о.с. в первый момент некоторые автоматы взяты в других начальных состояниях, которые образуют мозаичную конфигурацию, то в а.о.с. начинается информационный процесс. Свойства таких процессов и составляет содержание теории а.о.с.

Выделяются несколько базовых направлений при изучении а.о.с.:

1. Свойства диаграмм Мура для а.о.с., их соответствие структурным реализациям а.о.с.

2. Моделирование роста мозаичных форм в а.о.с.

3. Моделирование вычислительных процессов в а.о.с.

4. Взаимная моделируемость а.о.с.

Направление 1 играет аппаратную роль и доставляет технологический язык, на котором описываются важнейшие свойства а.о.с. Этот язык разработан в достаточно полной мере, что позволило продвинуться в направлениях 2–4.

В направлении 2 показано, что любая рекурсивная последовательность конечных мозаичных форм воспроизводима в некоторой а.о.с. в том смысле, что со временем с заданной метрической точностью в это а.о.с. будут воссоздаваться элементы из этой последовательности.

Установлено, что явление неограниченного роста мозаичных форм выполнено для почти всех а.о.с.

Показано, что проверка неисчезновения во времени конфигурации в а.о.с. алгоритмически неразрешима для тех а.о.с., в которых рост таких фигур идет со скоростью не выше, чем $4\log_2 t$, но разрешима, если этот рост не выше $(1/4)\log_2 t$. Это один из немногих примеров, когда удается столь явно уловить границу явлений разрешимости и неразрешимости.

Эти результаты получены А. С. Подколзиным [91] под руководством автора.

Интересным является вопрос о степени свертки мозаичной формы до кодирующего ее автомата, из копий которого строится а.о.с., позволяющая из одного "возбужденного" автомата вырастить указанную форму. Дополнительно можно предполагать, что а.о.с. учитывает "помехи" в процессе роста формы и при этом осуществляет рост предельно быстро. А. В. Думовым [92], под руководством автора эти задачи были решены с явным указанием ассимптотики для сложности автоматов и времени роста.

В направлении 3 строится арифметика средствами а.о.с. За счет параллельности вычислений в них существенно проще реализуются основные стандартные вычислительные операции типа умножения, деления, возведения в степень, решения линейных систем уравнений, проверки свойств натуральных чисел и др.

Так, например, оказалось, что решение линейных систем и проверки простоты числа осуществляются в а.о.с. за линейное время [91].

А. В. Галатенко под руководством автора разработал технологию оптимальной укладки графов на семейство параллельных плоскостей с помощью а.о.с. Получена характеризация метрических свойств такой укладки как в виде точных утверждений, так и приближений. Показана полиномиальность по времени сложности решения этой задачи.

В направлении 4 одна и та же а.о.с. может рассматриваться как потенциальное семейство а.о.с. за счет следующей интерпретации. Берем более крупную решетку в а.о.с., тогда автоматы, попавшие в "симплекс" новой решетки, образуют новый автомат, являющийся композицией автоматов из симплекса. Мы получаем новую а.о.с. и можно считать, что она моделируется в исходной. Показано, что в этом смысле имеются универсальные а.о.с., которые умеют моделировать в себе все остальные а.о.с. Найдены простейшие по числу состояний и виду шаблона универсальные а.о.с., хотя проблема универсальности а.о.с. алгоритмически неразрешима. Установлены также условия для двух заданных а.о.с., когда одна из них может моделировать другую как в реальном времени, так и с замедлением. Эти результаты получены А. С. Подколзиным [91] под руководством автора.

В направлении о.с. со входами и выходами основные исследования выполнены под руководством автора А. А. Болотовым [91]. Им получены следующие результаты.

Установлена алгоритмическая неразрешимость отличимости состояний о.с.в.в. Показана логическая независимость основных параметров о.с.в.в. — число состояний, шаблонов соседства, число входов и выходов. Установлены критерии моделируемости одних о.с.в.в. в других. Показана алгоритмическая неразрешимость проблем полноты и выразимости для о.с.в.в. относительно операций композиции, хотя эта алгебра является конечно-порожденной. Найдены сложностные характеристики о.с.в.в., вычисляющих заданную последовательность алгебраических операторов.

А.о.с. и о.с.в.в. в силу универсальности имеют много приложений как в естествознании, так и в технике и даже в гуманитарной области, поскольку в них в связке присутствуют пространство, время, логика, финитность задания и процесс.

8. Алгоритмы

Алгоритмы применяются к двум основным объектам: конечным и бесконечным множествам.

В первом случае, как правило, имеют дело со схемными вычислениями, во втором — с Тьюринговыми или операционными вычислениями.

Схемные вычисления оперируют с функциями $\mathbf{k}$-значной логики. Накоплена целая коллекция конкретных схем вычислений: формулы, контактные схемы, схемы из функциональных элементов и др. При этом обычно предполагается, что вычисляются булевские функции.

Для булевской функции ставится задача нахождения простейшей по числу элементов схемы указанного вида. Она уточняется за счет рассмотрения минимально достаточного числа $\mathbf{L}(\mathbf{n})$ элементов для построения схемы, вычисляющей наперед заданную булевскую функцию от фиксированного числа $\mathbf{n}$ переменных.

Это число $\mathbf{L}(\mathbf{n})$ называется Шенноновской сложностью. Поведение этой функции для разных видов схем и классов булевских функций наряду с указанием алгоритмов построения соответствующих схем для булевских функций изучает теория сложности схем вычислений.

Дополнительные трудности в этом изучении привносят предположения о возможных неисправностях в схемах, которые не должны влиять на верность вычислений. Такие схемы называются самокорректирующимися.

Основные результаты по изучению функции вида $\mathbf{L}(\mathbf{n})$ принадлежат К. Шеннону [1], О. Б. Лупанову [10], С. В. Яблонскому [93] и их ученикам. При этом характерным было то, что, как правило, методы нахождения функций $\mathbf{L}(\mathbf{n})$ и оптимальных алгоритмов построения схем осуществлялись в зависимости от типа схем.

О. Б. Лупанову удалось найти общий подход к решению задач тематики, основанный на созданном им мощном методе локального кодирования. Этот метод позволил с единых позиций решать задачи оптимального синтеза для многих классов функций, но со специальной адаптацией для конкретных схем.

Метод О. Б. Лупанова, бесспорно, относится к числу выдающихся достижений математики и его идейное влияние испытывают на себе все специалисты по синтезу.

Ученику автора А. Е. Андрееву [94], тем не менее, удалось посвоему взглянуть на проблему, хотя и кореллировано с методом О. Б. Лупанова.

За счет новой техники представления булевских функций в виде функциональных сетей, генетически восходящим к автоматным операциям автора, и перестройки их в соответствующего вида схемы, а также за счет комбинаторных характеристик сетей и через них булевских функций ему удалось универсальным образом строить оптимальные схемы различного вида для многих классов булевских функций и получать виды функций Шеннона как для уже известных случаев, так и для новых классов булевских функций.

Более того, оказалось возможным, не изменяя вида ассимптотики функций Шеннона, почти до экспоненты довести число ошибок, которые могут исправлять схемы.

Из отмеченных видов схем, охватываемых методом А. Е. Андреева, следует выделить формулы, контактные π-схемы, бинарные программы без вычислительных команд, контактные схемы, контактно-вентильные схемы, релейно-контактные схемы, схемы из функциональных элементов, формулы с частичной памятью, схемы из многовыходных функциональных элементов, бинарные программы общего вида и др.

Из упомянутых классов булевских функций надо отметить классы частичных функций с данной мощностью области определения, функций с данным числом единиц, функций с ограниченной энтропией, ненулевые инвариантные классы Яблонского, классы Поста, отличные от линейных, логических сумм и произведений, и др.

Образно выражаясь, А. Е. Андреевым создан индустриальный метод оптимального синтеза схем для реализации булевских функций, который сегодня не имеет аналогов.

Эти результаты составили содержание его докторской диссертации, защищенной им в 29 лет.

Глубокое вхождение в природу строения булевских функций и высокая техника синтеза, которую он создал, позволили А. Е. Андрееву [95] первому найти пример булевской функции, которая имеет не только нелинейную, но и почти экспоненциальную сложность в классе монотонных схем из функциональных элементов, и тем самым решить проблему Шеннона, стоявшую более пятидесяти лет. Ранее в этом направлении были известны примеры лишь линейной сложности.

Промежуточное положение между схемными и Тьюринговыми занимают автоматные вычисления. Главной сложностной характеристикой автомата при этом является его память.

А. Е. Андреевым, А. А. Часовских и А. А. Кудриным [96, 97] рассмотрена задача сложности вычисления автоматом значений термов функций алгебры логики и установлено расслоение сложности автоматов на константную, логарифмическую и линейную по числу задержек в схемном представлении автомата в зависимости от длины терма. Вид такой сложности в основном определяется итеративными свойствами функций, например, принадлежностью к соответствующим классам Поста. Для почти всех базисов эта сложность оказывается линейной.

Учеником А. Е. Андреева И. А. Вихлянцевым разработаны асимптотически оптимальные методы синтеза контактных схем и схем из функциональных элементов, реализующих системы элементарных конъюнкций [123].

В работе О. А. Щербины [98], выполненной под руководством автора, исследовалась эффективность в операционном смысле локальных алгоритмов Ю. И. Журавлева применительно к квазиблочным задачам дискретного программирования. Показано, что в этом случае локальный алгоритм в среднем и в Шенноновском смысле имеет по порядку меньшую сложность, чем дискретное программирование. Указаны явные оценки сложности для задач оптимального резервирования ресурса.

В работе Г. Н. Аркабаевой [99], выполненной под руководством автора и Э. Э. Гасанова, исследована серия алгоритмов сортировки, получены для них в терминах числа стандартных операций верхние оценки сложности и показана их взаимная логическая независимость приведением примеров, когда один из них решает задачу проще, чем другой.

Серия работ выполнена под руководством автора К. Вебером (из Германии) [100], Нгуен Ким Ань (из Вьетнама) [101] (при соруководстве А. С. Подколзина) и Т. Игамбердыевым [102] (соруководство А. Е. Андреева) по теории нормальных форм булевских функций.

К. Вебером изучены поведение мер сложностей д.н.ф. вида сумм чисел взвешенных конъюнкций и дизъюнкций. Установлена логическая независимость таких мер при разных весах и указаны минимальные значения числа переменных, когда эта независимость проявляется. Вычислены значения Шенноновских функций для этих мер.

Нгуен Ким Ань изучена природа графа преобразований с.д.н.ф. с помощью операции поглощения одних элементарных конъюнкций д.н.ф. другими. Описаны виды этих графов, их мощностные характеристики, степени ветвления, ширина, глубина, число висячих вершин. Показано, как зависит число переменных булевой функции, допускающей заданный граф как свой граф преобразований. Показано, как упрощается решение задачи поиска м.д.н.ф. для булевской функции, если ее граф преобразований имеет простую структуру, например, ограниченные ширину или ветвление и т.п.

Т. Игамбердыевым рассмотрена задача поиска решений систем булевских функций. Им найдена точная формула для среднего числа решений систем булевских уравнений, заданных в виде д.н.ф. При достаточно общих предположениях о поведении метрических параметров системы установлена ассимптотика числа решений для почти всех систем с заданным ростом параметров. Получена точная формула среднего числа решений для класса систем булевых уравнений, заданных в виде сумм по модулю два элементарных конъюнкций и асимптотическая оценка числа решений для почти всех систем с заданным ростом параметров. Показано, что в определенных случаях сложные д.н.ф. можно аппроксимировать более простыми, и приводятся соответствующие алгоритмы такой аппроксимации, а также поиска приближенных решений уравнений вида систем упрощенных д.н.ф.

Р. Шчепановичем [103] из Югославии под руководством С. В. Алешина проведено исследование по схемной сложности распознавания плоских изображений. Оно позволило создать процедуры оптимального синтеза таких схем.

А. Е. Андреевым [104] разработан градиентный метод поиска д.н.ф., близких к минимальным, для почти всех булевых функций. Этот метод имеет логарифмическую сложность по отношению к традиционно используемым.

А. А. Ирматов [105] провел исследования по оценке числа пороговых функций 2-значной и **k**-значной логик. Новая комбинаторно-топологическая техника, позволила усилить все результаты этого направления и получить самые точные на сегодня верхние и нижние оценки этой величины, близкие к асимптотическому виду.

Ж. Ковиянич из Югославии под руководством А. А. Ирматова получено усиление комбинаторной леммы Литлвуда — Оффорда, что использовалось А. А. Ирматовым в получении им указанных выше результатах.

Учеником автора К. Вагнером [106] из Германии проведено исследование по выявлению особенностей вычислений на машинах Тьюринга и клеточных автоматах произвольной конечной размерности. Построена иерархия таких вычислений с указанием эффекта преимущества их относительно друг друга.

Учеником А. С. Подколзина и Э. Э. Гасанова Абдул Саттаром из

Ирака исследовалась задача сложности реализации некоторых последовательностных операторов посредством автоматных схем [120]. Особенностью этой работы является то, что в ней изучается функциональная сложность автоматных схем, то есть функция зависимости задержки схемы от количества элементов в ней.

9. Приложения

На кафедре и в лаборатории ведутся комплексные темы, связанные с естественными и гуманитарными науками, промышленностью, управлением и другими направлениями, о чем частично говорилось выше.

К числу наиболее значимых прикладных тем относится тема "Искра", которая разрабатывалось по заказу ЦНИИМаш. Она включала в себя построение математической модели самоорганизующейся распределенной наземно-космической системы, способной функционировать как в управляемом с земли, так и в автономном режиме, решая задачи изучения наземного, околоземного и космического пространств. Эта система имеет органы восприятия информации, органы её переработки и принятия решений, а также органы для реализации этих решений. Необходимо было разработать методы синтеза такой системы, изучить её свойства и научиться управлять ею в заданных рамках. Необходимо было также довести систему до программно-алгоритмической реализации. Эта система была представлена в виде динамически меняющейся сети гибридных автоматов, в которой явно выделялись блоки распознавания, интеллекта и реакций. Были очерчены цели системы, построены функционалы оценки её функционирования и разработаны методы оптимального управления системой.

Эти работы под руководством автора велись тремя группами ученых, возглавляемых, соответственно, А. С. Подколзиным, С. В. Алешиным и В. А. Буевичем. В первую группу входили А. С. Строгалов, П. А. Алисейчик, Э. Э. Гасанов и В. В. Перетрухин. Она занималась разработкой интеллектуальной части общей системы.

Во вторую группу входили А. А. Ирматов, М. В. Носов, В. И. Малыгин и Н. Ф. Анисимов. Она занималась распознаванием образов.

Позже, к несчастью, В. И. Малыгин и Н. Ф. Анисимов еще молодыми ушли из жизни.

В третью группу входили Д. Н. Бабин, А. А. Золотых, А. Зыричев и Д. Замятин. Она занималась управлением поведения системы и ее частей.

Работа над этой системой дала мощный толчок к развитию всех поднаправлений теории интеллектуальных систем.

Были созданы новые алгоритмы распознавания логико-комбинаторного, алгебро-геометрического и автоматного видов, которые нашли применение не только в системе, но и в решении других задач. С их помощью найдены новые месторождения нефти, цветных металлов, оценены их запасы и т. п. Здесь нужно выделить упомянутые ранее работы автора, А. Е. Андреева, Е. В. Дюковой, А. А. Кибкало и др.

Развито новое направление в теории баз данных, получившее название информационно-графовой модели хранения и поиска информации, которое сегодня представляется наиболее актуальным. Следует выделить в этой связи результаты Э. Э. Гасанова и его учеников.

Эта модель позволила перейти к разработке баз данных для больших массивов информации, например, в изобразительном искусстве.

Была разработана компьютерная интеллектуальная система для решения математических задач, в основе которых лежат, как отмечалось выше, новые идеи управляемого логического вывода. Здесь нужно еще раз отметить А. С. Подколзина.

Под влиянием этого подхода вместе с фирмой LSI Logic Corp. разработана математико-компьютерная система синтеза чипов, которая позволила существенно ускорить создание, увеличить быстродействие и миниатюризировать их. Она доведена до программного комплекса, защищенного более, чем ста патентами США. В разработке этого комплекса участвовали вместе с автором А. Е. Андреев, А. С. Подколзин, С. В. Алешин, Э. Э. Гасанов, А. А. Болотов, А. А. Золотых, Н. Ф. Анисимов, А. А. Галатенко, Е. Е. Егоров, Я. Калинин, С. Б. Родин, П. В. Пантелеев и др.

Изучение свойства обучаемости системы, проведенное по теме "Искра", было затем распространено на тематику, связанную с компьютерным обучением человека. Была разработана новая концепция обучения с помощью компьютера.

Суть ее состояла в том, чтобы синтезировать обучающую систему таким образом, чтобы в ней реализовались все компоненты реального обучения, то есть учебные данные, модель ученика и модель учителя, интерактивно реализующего оптимальный процесс обучения. Разработана оболочка такой системы, которая затем была адаптирована к различным предметным областям таким, как информатика, иностранные языки, искусство, история и т. д.

Созданные системы обучения, представлены в виде CD ROM и продаются на рынке.

Эта работа вместе с автором велась А. С. Строгаловым, П. А. Алисейчиком, В. В. Перетрухиным и К. В. Хариным.

Учеником А. С. Строгалова Е. В. Тимофеевым разработана имитационная модель оценки соответствия внутреннего психологического состояния человека с его мимикой, что может быть использовано в компьютерных обучающих системах [126].

Отслеживание изменяемости ситуаций как одной из важных функций системы для темы "Искра" затем было выделено в самостоятельное направление. Была разработана следящая за информационными потоками интеллектуальная система, которая анализирует данные в области атомных технологий и выявляет истинное состояние дел по косвенным данным. Она разрабатывалась по заказу МАГТЭ и сейчас используется там. Работа вместе с автором выполнялась А. П. Рыжовым и А. Г. Беленьким.

По заказу СПП РАН разрабатывалась тематика формализации речи с целью создания компьютерных систем распознавания и синтеза речи. Были развиты новые подходы к решению этих задач, приведшие к созданию компьютерных систем распознавание речи.

Эти исследования при дополнительных данных, характеризующих речь мимическим сопровождением, на поздних этапах финансировались грантом фирмы Intel и уже велись Д. Н. Бабиным, И. Л. Мазуренко и А. Б. Холоденко.

По гранту NATO ведется работа по автоматному моделированию генного механизма растений. Предложена такая модель для конкретного вида растений. С ее помощью предсказана прогрессирующая изменяемость растения. Эта работа ведется автором, В. Н. Козловым, М. В. Носовым и Д. В. Алексеевым совместно с биологами.

На протяжении многих лет автором совместно с С. В. Яблонским велись исследования по моделированию общественных процессов средствами дискретной математики. Была решена серия задач, характеризующая состояние, динамику и устойчивость развития применительно к словенскому обществу. В работе участвовали словенские исследователи С. Саксида и Ж. Кнап.

Прикладная тематика приводит к необходимости создания математического аппарата для решения содержательных задач, который позволяет проводить доказательные научные исследования, доводимые до уровня диссертаций. Подобных примеров много. Отметим некоторые из них.

Учеником автора и Л. В. Крушинского В. Н. Козловым [107] при изучении рефлекторной деятельности живых систем построена модель эволюции сознания под влиянием общения объекта со средой. Предложена формализация памяти, операционного механизма, кодирования, распознавания образов и сцен, динамики характеристик внутренних объектов сознания и процедур принятия решения. В рамках этой модели объяснены условные, безусловные и экстраполяционные рефлексы живых систем.

Ученицей автора Р. Лукановой [108] из Болгарии разработан формальный аппарат для семантического анализа естественноязыковых текстов. Он представлен в виде порождающей грамматики. Она имеет две компоненты — синтаксическую и семантическую. Семантические правила дают содержание и интерпретацию фраз, порожденных синтаксическими правилами. Аппаратная техника семантического представления естественно-языковых текстов предназначена для решения проблем специализированного автоматического перевода и реферирования текстов представления знаний и др.

Учеником автора и Э. Э. Гасанова А. А. Шакировым [109] исследована возможность использования логического языка для описания геометрических фигур. Показано наличие конечной полной системы тождеств для формул логики предикатов от ограниченного числа переменных. Дан эффективный критерий совпадения фигур по формулам их задания. Показано, что от такой формулы за линейное время можно перейти к аналитическому заданию фигуры, кодируемой формулой. Предложена новая процедура минимизации формулы, задающей фигуру.

Учеником автора и В. Н. Козлова А. П. Рыжовым [110] разработан аппарат нечеткой логики для анализа информационного процесса. Предложены формализации элементарных актов такого процесса и операций над ними, а также процедуры вычисления значений композиций актов и процессов. Возникшая алгебра была использована для создания математико-компьютерной системы слежения за мировым состоянием атомного производства и технологий.

Учеником В. Н. Козлова Л. Минчичем (Чехия) предложена модель восстановления двумерного изображения по его одномерным проекциям в условиях "зашумления" [122].

Учеником автора Ф. Н. Нефидовым [111] осуществлено построение автоматной модели, имитирующей процесс проведения больного, страдающего острой кишечной непроходимостью. Она включает автоматизированную систему диагностики, прогнозирование исходов, послеоперационных осложнений и выбора оптимального метода лечения. Модель доведена до программной реализации и используется на практике в клинике.

Учениками автора З. Е. Королевой [112], И. А. Чижовой [113], В. О. Красавчиковым [114], [121] выполнена серия работ по разработке и применению тестовых процедур для поиска полезных ископаемых и оценки их запасов. В результате были разведаны новые месторождения, давшие многомиллионный (в долларовом исчислении) экономический эффект.

Учеником Э. Э. Гасанова Н. Ю. Деминым исследована задача восстановления безопасных сетевых протоколов по обмену сообщениями [121]. Несмотря на экспоненциальную сложность восстановления протоколов в общем случае для некоторых известных классов протоколов получены не более, чем квадратичные по сложности алгоритмы восстановления.

10. Учебный процесс

Специальные курсы и семинары кафедры своей тематикой накрывают основные направления теории интеллектуальных систем.

Они делятся на базовые, которые обучающимся на кафедре посещать обязательно, и по выбору студента.

Базовыми являются годовые курсы "Дискретная математика" и "Теория интеллектуальных систем".

В первом из них, который читается автором и А. С. Строгаловым, излагаются общая концепция дискретного направления в математике и основные результаты его главных разделов. К их числу относятся дискретные функции, автоматы, алгоритмы, комбинаторика, графы, кодирование, дискретная оптимизация. Материал адаптирован к требованиям, которые характерны для факультета: строгость, ясность, глубина и широта.

Второй курс, читаемый автором, А. С. Подколзиным, Э. Э. Гасановым, А. А. Часовских и В. А. Носовым, сравнительно новый и проходит период становления. В нем основными разделами являются распознавание образов, базы данных, методы принятия решения, экспертные системы и решатели, логика, моделирование, сложность алгоритмов.

При этих курсах функционируют семинары.

Особую роль в образовании играют курсы теории автоматов и теории алгоритмов.

Курс "Теория автоматов" читается автором, В. А. Буевичем, А. С. Подколзиным, С. В. Алёшиным, Д. Н. Бабиным. Он содержит основные результаты в этой области, большая часть которых получена учеными кафедры.

Курс состоит из трех частей.

В первой излагаются проблематика и результаты по теории абстрактных автоматов и связаны они с изучением различных типов поведения автоматов таких, как вычисления, представления, блуждания и др.

Во второй части излагаются результаты по теории структурных автоматов и связаны они с решением проблемы выразимости, полноты и моделирования автоматов.

В третьей части излагаются свойства бесконечных схем автоматов, называемых клеточными автоматами. Устанавливаются их возможности в моделировании дискретных процессов.

Курс "Теория алгоритмов", читаемый В. А. Буевичем, И. А. Лавровым и В. А. Носовым, традиционен, но в условиях общей недостаточности объема образования на механико-математическом факультете в области дискретных структур и процессов является важным, позволяя студентам овладеть одним из главных математических инструментов — алгоритмом.

Курс "Распознавание образов", читаемый С. В. Алешиным и М. В. Носовым, дает содержание основных подходов к проблематике распознавания образов. Его ядро образуют комбинаторно-логические процедуры, которые особенно эффективны, когда распознаваемый объект характеризуется качественными признаками; алгебро-геометрические методы, когда объект имеет соответствующую природу; стохастические операторы, когда объект характеризуется случайными данными; структурные процедуры, когда объект является композицией определенных элементов.

В этом курсе наряду с теоретическими содержатся эвристические методы и многочисленные примеры.

Курс "Теория баз данных", читаемый Э. Э. Гасановым, является полностью оригинальным. Он наряду с традиционными подходами к хранению и поиску информации содержит в качестве основной части информационно-графовый подход. Курс предлагает на сегодня самую общую модель данных, усиленную внутренними операторами, позволяющими быть носителями данных и вычислять их в ответ на запрос в параллельном режиме. В этой модели разрозненные постановки по разным видам моделей баз данных обретают единое звучание, допускают разработку общих методов их решения и, в частности, сравнивают возможности различных моделей баз данных.

Курс "Решатели интеллектуальных задач", читаемый А. С. Подколзиным, является новым и полностью оригинальным. В нем излагаются разработанные на кафедре принципы интеллектуального функционирования живых систем с необходимой формализацией всех компонент такого функционирования. Показывается, как строятся такие системы для предметных областей элементарной математики, начал анализа и логики.

Для аспирантов Э. Э. Гасановым читается специальный курс "Математическая кибернетика". Его содержание основано на программе экзамена ВАК по математической кибернетике и включает в себя вопросы сложности схем и алгоритмов, алгебр дискретных функций, тождественных преобразований, оптимизации и др.

Курс "Введение в алгебраическую теорию кодирования", читаемый А. А. Ирматовым, дает широкое представление о проблематике и результатах по теории помехоустойчивого кодирования.

Курс "Защита информации", читаемый В. А. Носовым, содержит сведения об основных достижениях теории и приложений по данному направлению.

Курс "Теория однородных структур", читаемый А. С. Подколзиным, излагает теорию клеточных автоматов, представляющих собой бесконечные автоматные схемы, локально однородно организованные. Эта модель наиболее точно улавливает реальность, сочетая в себе пространство, локальную логику, время и процессы. Она может использоваться в естественных науках, технике и гуманитарной области. Излагаются фундаментальные результаты и показывается, как эти структуры могут использоваться в приложениях.

Курс "Методы синтеза больших вычислительных систем", читаемый А. Е. Андреевым и А. А. Часовских, имеет прикладной характер. В нём показывается, какие процедуры сегодня реально используются при синтезе чипов, какова их сложность, как синтезировать по макроописанию функционирования объекта его чиповую реализацию.

Курс "Математическая экономика", читаемый Ю. Н. Черемных, содержит материал по моделированию экономических процессов на макроуровне средствами классической математики. Он является обязательным для студентов кафедры, специализирующихся в области математической экономики.

Курс "Математические модели экономического расчёта", читаемый А. А. Ирматовым, является новым и посвящен математическим моделям и допустимым формализациям, используемых для принятия решений как в макро- так и в микроэкономике.

Курс "Математическая биология", читаемый автором и В. Н. Козловым, и который является обязательным для студентов кафедры математической кибернетики факультета ВМиК, содержит несколько слоев, соответствующих моделированию биологических структур уровня клетки, органа, организма, популяции. Для каждого из них показывается, какими математическими средствами возможно такое моделирование и какие получаются результаты.

Курс "Нечеткая математика", читаемый А. П. Рыжовым, излагает достаточно новый подход к исследованию событий и процессов, не поддающихся допустимо точному описанию. Этот подход предложен Л. Заде и развит большой группой исследователей. Сегодня он в состоянии предложить технологию обработки нечетких данных и процессов с построением соответствующих компьютерных моделей.

При всех этих курсах работают специальные семинары, рассчитанные на студентов, начиная со второго курса.

Среди этих семинаров следует выделить кафедральный семинар под руководством автора "Теория автоматов", функционирующий с 60-х годов, на котором докладываются все значительные научные результаты основных направлений кафедры.

На семинаре "Информатика", который проводится в кафедральном компьютерном классе, развиваются навыки программирования у студентов кафедры; здесь же студенты учатся делать реальные экспертные системы. Руководит этим семинаром П. А. Алисейчик.

С третьего курса студенты, а их в среднем ежегодно на кафедру поступает сорок человек, приступают к научной работе, выполняя под руководством ученого кафедры курсовую работу. Эта курсовая затем, как правило, развивается до курсовой работы четвертого курса и переходит в работу над дипломом. Около 20 студенческих работ ежегодно рекомендуется к печати. Более четверти студентов, оканчивающих кафедру без троек и имеющих научные результаты, рекомендуются в аспирантуру, в которой обучаются в среднем более тридцати человек.

В основном обучающиеся на кафедре студенты и аспиранты владеют информатикой в достаточной мере, что помогает им вести теоретическую и прикладную исследовательскую работу.

В новой обстановке, когда в силу экономических причин цепь "фундаментальная наука — прикладная наука — технологии — рынок" на государственном уровне распалась на отдельные звенья, важно, чтобы каждый выпускник, а тем более сотрудник могли профессионально действовать как можно в большем числе этих звеньев.

Чем большую размерность в указанном смысле имеет выпускник, тем легче ему будет приспособиться к среде, куда определит его жизнь.

Поэтому стратегия кафедры при подготовке специалистов определяется этими соображениями. Кафедра стремится дать хорошее базовое образование по дискретной математике и математической кибернетике, научить решать прикладные задачи и овладеть информатикой как технологией превращения точных знаний, используемых в решении реальных задач, в математико-компьютерный продукт, то есть в итоге в программный комплекс.

Научная и учебная подготовка на уровне требований времени обучающихся на кафедре являются главными для неё.

Решающая роль в этом принадлежит ученым кафедры, под руководством которых идет подготовка кадров. Это руководство включает в себя выбор направления исследований для ученика, постановку задачи, помощь в определении этапов и разработке содержания локальных шагов её решения.

Этому в огромной степени способствует совместная деятельность кафедры и лаборатории ПТК, где в основном и ведутся прикладные исследования.

Она позволяет привлекать студентов уже с третьего курса к работе над комплексными темами, которые кафедра ведет и с зарубежными и с отечественными промышленными предприятиями.

Примерами таких тем являются "Автоматизация синтеза чипов" (LSI Logic Corp.), "Обучающие системы" — проект IDEA (Рурский университет г. Бохум, Германия), "Мониторинг атомных технологий" (МАГАТЭ), "Анализ и синтез речи" (Интел), "Дистанционная диагностика компьютеров" (Питсбургский университет), "Моделирование генного механизма растений" (НАТО), "Целенаправленное поведение системы аппаратов" (ЦНИИМаш) и др.

Выпускники кафедры востребованы на различных отечественных, совместных и зарубежных фирмах, где есть необходимость в специалистах, способных работать в области высоких технологий.

Лучшие студенты оставляются в аспирантуре, а наиболее подготовленные из них остаются работать на кафедре и в лаборатории. Сегодня эти подразделения на 80% укомплектованы своими выпускниками и на 20% выпускниками других кафедр факультета. Это позволяет коллективу как системе вести исследовательскую работу по комплексным темам, где может возникнуть необходимость в изучении как дискретных, так и континуальных свойств.

Значительная часть выпускников работает за рубежом, большинство из которых составляют иностранцы. В Германии работают 10 исследователей, в США и Канаде — 7, во Вьетнаме и Югославии — по 6, в Японии, Китае, Венгрии, Чехии, Словении, Болгарии — по 2, в Голландии, Франции, Словении, Иордании, Сирии, Ираке — по одному. Выпускники кафедры трудятся практически во всех странах ближнего зарубежья.

Большинство из упомянутых выпускников стали известными учеными, достигшими профессорского уровня, другие работают на производстве и в сфере управления.

Так, доктор Р. Шчепанович является вице-президентом корпорации LSI Logic Corp., одновременно руководя научной лабораторией перспективных исследований, профессор Б. Тальхайм руководит факультетом информатики в университете Котбуса, профессор Г. Погосян — факультетом прикладной информатики в университете Токио, академик Я. Деметрович заведует отделом научного института Будапешта, профессор Ш. Ушчумлич — кафедрой прикладной математики в университете Белграда.

В значительной мере связь с этими выпускниками обеспечивает международные контакты кафедры. Наиболее активно научные контакты кафедры реализуются с университетами Токио, Питсбурга, Бохума, Котбуса, Белграда, Любляны, Подгорицы, Дамаска и др., а также с фирмами "LSI Logic Corp.", "Intel", "Mirantis", "Cadence Design Systems, Inc.", "Эльбрус Интернейшенел" и др.

11. Другие формы деятельности

Кафедра и лаборатория, учитывая требования времени и его сложность, заключающиеся, в частности, в том, что выживание научной школы сегодня может быть осуществлено в основном лишь за счет активности самой школы, используют все доступные средства для этого.

Созданы три научных центра на базе кафедры и лаборатории.

В Русско-Американском Центре совместно с LSI Logic Corp ведутся исследования по автоматизации процесса синтеза чипов.

В Русско-Германском Центре совместно с университетом г. Бохума создаются обучающие системы.

В УНЦ "Интеллектуальные системы и нечеткие технологии", созданного в рамках Федеральной целевой программы "Интеграция науки и высшей школы", совместно с ВЦ РАН и РГГУ разрабатываются новые специальные курсы, ведутся исследования по нечеткой математике и готовятся печатные издания в интересах высшей школы и РАН.

Эти Центры позволяют иметь непосредственные контакты с промышленностью, исследовательскими организациями и выполнять для них или совместно заказы.

Центры доставляют кафедре дополнительные площади, оснащенные партнерами современной вычислительной техникой, программным продуктом, и тем самым создают дополнительные условия для раскрытия возможностей кафедры. Важно отметить, что новые площади расширяют факультет, а не получаются за счет изъятия их у других подразделений факультета.

Взаимодействие с промышленностью и исследовательскими центрами позволяет кафедре постоянно иметь хорошую вычислительную и орг. технику, программный продукт и связь, а также спонсорскую поддержку по разным направлениям её деятельности. Так, в разное время кафедре передавались компьютерные сети со стороны ЦНИИМаш, Университета Бохума, LSI Logic Corp., фирмы AMD и др.

Другой формой, способствующей самоутверждению кафедры и ее научных направлений, являются научные совещания. Кафедра регулярно проводит международные конференции "Интеллектуальные системы и компьютерная науки". Таких конференций было проведено уже 8. Они проводятся на механико-математическом факультете не в каникулярное время, что позволяет участвовать в них большому числу студентов и аспирантов университета. Вместе с ними в конференциях участвуют, как правило, до 200 отечественных и зарубежных ученых. Ими делаются пленарные и секционные доклады по основным направлениям теории интеллектуальных систем и примыкающим к ней разделам компьютерных наук.

Эти доклады в развернутом виде как статьи публикуются в издаваемом кафедрой журнале "Интеллектуальные системы", который, кроме того, размещается на сайте кафедры. Тем самым они становятся доступными широкому кругу читателей.

Этот журнал издается с 1996 г. и состоит из трех блоков.

В первом публикуются статьи, как правило, обзорного характера по общезначимым проблемам интеллектуальных систем.

Во втором содержатся результаты по синтезу и результатам апробаций специализированных интеллектуальных систем.

В третьем присутствуют статьи математического характера, на положениях которых в итоге базируются статьи второго и частично первого блоков.

В зависимости от условий финансирования журнал выходит 1 или 2 раза в год. Основными спонсорами журнала являются фирмы США LSI Logic Corp., Mirantis и Cadence Design Systems, Inc. Журнал финансируется и от РФФИ. Портфель журнала постоянно заполнен. В нем публикуются как ведущие ученые, так и молодые авторы. Журнал решением ВАК РФ включен в число тех, где публикуются материалы, которые затем могут использоваться в кандидатских и докторских диссертациях.

Особую и решающую роль в укреплении направления теории интеллектуальных систем играют научные публикации и книги сотрудников кафедры. Суть полученных ими результатов изложена выше и опубликована в сотнях статей и более чем 20 книгах монографического и учебного характера.

К числу основополагающих книг кафедры относятся монографии "Функции алгебры логики и классы Поста" С. В. Яблонского, Г. П. Гаврилова и автора [44], "Введение в теорию автоматов" автора, С. В. Алешина и А. С. Подколзина, "Основы теории однородных структур" автора, А. С. Подколзина и А. А. Болотова [91], "Теория хранения и поиска информации" Э. Э. Гасанова и автора [29], вышедших в издательстве "Наука", и серия книг, опубликованных в издательстве МГУ, среди которых "Функциональные системы" автора [64], "Введение в теорию абстрактных автоматов" автора, А. С. Подколзина и Ш. Ушчумлича [117] и др.

Вместе с изложением фундаментальных фактов теории важно доносить учащимся знания того, какую роль в открытии этих фактов сыграли отечественные ученые. Вклад их в мировую науку общеизвестен и не может не вызывать чувство гордости у молодежи за свое Отечество.

В то же время сейчас, когда подвергаются необоснованным сомнениям исторические устои нашего общества, важно иметь возможность, напрямую общаясь с молодежью, показать, сколь могуча Россия и наперекор временной беспомощности она, несомненно, распрямится и вновь займет в истории место, достойное ее неисчерпаемому потенциалу.

Такая возможность в определенной мере реализуется в семинаре "Наука и Культура", который под руководством автора функционирует на факультете с 1991 г. В его работе активное участие принимают В. А. Буевич, В. Н. Козлов, А. С. Строгалов и А. А. Ирматов, а также целая группа известных ученых механико-математического, физического, филологического и ВМиК факультетов.

На семинаре выступают выдающиеся деятели науки и культуры по острым и актуальным проблемам, волнующим общество.

Большой профессиональный интерес вызвали доклады академиков А. А. Логунова, А. А. Самарского, Ю. Л. Ершова, О. Т. Богомолова, В. Л. Макарова, Н. Н. Моисеева, А. Ю. Ишлинского, Б. А. Рыбакова, А. Г. Чучалина, С. П. Курдюмова и др., выступавших по фундаментальным проблемам науки и техники, связанных с теорией элементарных частиц, энергетики, управления, экономики, организации общества, медицины и т. п.

Они оставили неизгладимое впечатления у слушателей.

Яркими были выступления писателей В. Г. Распутина, В. И. Белова, В. С. Розова, В. В. Карпова, В. В. Кожинова, Ю. П. Власова, А. И. Казинцева, режиссеров Н. Н. Губенко, Ю. М. Соломина, С. С. Говорухина, Н. П. Бурляева, актрисы Ж. А. Болотовой, балерин Е. С. Максимовой, А. Ю. Волочковой, художника И. С. Глазунова, скульптора В. М. Клыкова, представителей духовенста митрополитов Кирилла и Питирима, шахматиста М. М. Ботвинника и др., которые рассказывали о своей деятельности и о состоянии представляемой ими области.

Большой интерес вызвали также выступления общественных деятелей А. А. Зиновьева, В. Н. Кара-Мурзы, А. Н. Крутова, Н. С. Леонова, А. Н. Бабурина, П. Шкундрича, Ш. Ушчумлича, Н. Г. Ивашова и др.

Кафедра располагает своим сайтом (http://www.intsys.msu.ru), на котором отражается ее деятельность.

12. Ученые кафедры

На кафедре МаТИС работают десять профессоров — докторов наук, одиннадцать доцентов, старших и научных сотрудников — кандидатов наук и десять младших научных сотрудников.

На формирование кафедры и лаборатории определяющее влияние оказали факультетские традиции и, прежде всего, их нацеленность на развитие научного и учебных процессов. Высокий уровень последних в значительной мере обеспечивался созданными ранее условиями широкой доступности образования, что позволяло талантливой молодежи поступать на факультет из любых регионов страны. Свободная конкуренция способностей и знаний в стране структурно выразилась в том, что долгие годы факультетские ученые, поступавшие учиться на факультет с периферии, составляли затем до семидесяти процентов от общего числа его ученых. Эта тенденция в последнее десятилетие претерпевает существенные изменения. Все меньше иногородних и все больше москвичей становятся сотрудниками факультета. В кадровой структуре кафедры это отражено весьма четко. Её состав до 2000 г. на восемьдесят процентов состоял из ученых, которые поступали в МГУ как иногородние, а из принятых десяти молодых сотрудников после 2000 г. их уже было только двое, то есть только двадцать процентов: пропорция инвертировалась. Тем не менее и сегодня около шестидесяти процентов ученых кафедры представляют основные регионы страны в границах до 1991 г. Столь широкое представительство регионов с их спецификой позволило кафедре обеспечить необычное многообразие направлений исследований на кафедре.

В становлении и деятельности кафедры большую роль сыграли выдающиеся ученые В. А. Садовничий, С. В. Яблонский, О. Б. Лупанов, Ю. Л. Ершов, Ю. И. Журавлев, В. А. Ильин, Е. И. Моисеев. Творческие и деловые контакты с ними, их поддержка позволяют кафедре успешно решать ее стратегические и тактические задачи.

Заведует кафедрой автор. Его научные интересы лежат в области дискретной математики, математической кибернетики и информатики.

Ему принадлежат более 150 научных работ, среди которых 14 книг и более 30 патентов США по синтезу чипов. Он подготовил более 20 докторов и около 60 кандидатов наук.

Он является академиком АТН РФ и РАЕН, Заслуженным деятелем науки РФ, почетным доктором Белградского университета, почетным членом Совета Международного Биографического Центра в г. Кембридже, Заслуженным профессором МГУ.

После окончания механико-математического факультета по кафедре математической логики, учился в аспирантуре этой кафедры, а затем начал работать на ней ассистентом, позже доцентом. В 1964 г. защитил кандидатскую, а в 1972 г. — докторскую диссертацию по математике. В 1982 г. стал профессором кафедры дискретной математики. После открытия лаборатории ПТК в 1986 г. является ее заведующим.

С момента создания кафедры МаТИС в 1991 г. заведует ею. Он главный редактор журнала "Интеллектуальные системы" и зам. главного редактора журнала "Дискретная математика". В течение многих лет читал и читает специальные и обязательные курсы на механико-математическом, ВМиК, физическом, экономическом, биологическом, химическом и филологическом факультетах. Разработал ряд новых курсов "Теория автоматов", "Распознавание образов", "Клеточные автоматы", "Функциональные системы", "Интеллектуальные системы", "Теория логических функций" и др. Является руководителем международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки" и открытого семинара "Наука и культура". Регулярно приглашается в научные центры Америки, Европы и Азии. Большинство сотрудников кафедры и лаборатории являются его учениками.

Профессор С. В. Алешин является выпускником механико-математического факультета по кафедре математической логики. После обучения в ее аспирантуре начал работать на факультете ассистентом, затем после защиты кандидатской диссертации по теории автоматов — доцентом, а после защиты докторской по распознаванию образов — профессором.

Он ведет исследования в области теории автоматов, распознавания образов и приложений. Им опубликованы свыше 60 научных работ, среди которых монографии и американские патенты по микроэлектронике.

Им подготовлены 10 кандидатов наук.

Он регулярно читает специальные курсы и ведет исследовательские семинары по распознаванию образов и теории автоматов. С. В. Алешин активно проявляет себя в общественной и организаторской деятельности. Многие годы был на выборной общественной работе, руководил Русско-Германским институтом науки и культуры, сейчас является советником Ректора.

Профессор А. Е. Андреев также является выпускником механико-математического факультета по кафедре математической логики. После окончания её аспирантуры стал работать на кафедре ассистентом, затем после защиты кандидатской диссертации по распознаванию образов работал доцентом, а после защиты докторской по теории сложности стал профессором кафедры МаТИС. Несколько лет работал в Волгоградском университете, где заведовал кафедрой дискретной математики, был деканом факультета математики, а затем проректором этого университета.

Он ведет исследования в области распознавания образов, теории сложности и математико-компьютерных методов синтеза чипов. Он автор более, чем 40 научных работ и более 100 американских патентов по синтезу чипов.

Им подготовлено четыре кандидата наук.

Профессор Д. Н. Бабин после окончания механико-математического факультета по кафедре математической логики учился в ее аспирантуре. Защитил кандидатскую диссертацию по теории автоматов. На факультете начал работать научным сотрудником в лаборатории ПТК, затем работает на кафедре МаТИС, после защиты докторской диссертации по теории автоматов стал профессором кафедры; является заместителем заведующего лаборатории ПТК.

Его научные интересы связаны с теорией автоматов, распознаванием образов и компьютерным моделированием. Он автор около 40 научных работ.

Им подготовлено два кандидата наук.

Читает специальные курсы и ведет исследовательские семинары по теории автоматов и компьютерному моделированию.

Профессор В. А. Буевич является выпускником механико-математического факультета по кафедре математической логики. Аспирантуру окончил в ВЦ АН СССР. Защитил кандидатскую диссертацию по теории автоматов. На факультете начал работать на кафедре дискретной математики, затем работал на кафедре Ма-

ТИС, профессором которой стал после защиты докторской диссертации по теории автоматов. Он является специалистом в области теории автоматов, автором более 40 научных работ.

Им подготовлены четыре кандидата наук.

Читает специальные курсы и ведет исследовательские семинары по теории автоматов и алгоритмов.

Профессор Э. Э. Гасанов окончил факультет ВМиК по кафедре математической кибернетики, а затем ее аспирантуру. Защитил кандидатскую диссертацию по теории баз данных. На механико-математическом факультете начал работать в лаборатории ПТК. После защиты докторской диссертации по теории хранения и поиска информации стал профессором кафедры МаТИС; является заместителем заведующего кафедрой.

Область его научных интересов — хранение и поиск информации. Он автор более 90 научных работ, в числе которых монография и более 20 американских патентов по синтезу чипов.

Им подготовлено четыре кандидата наук.

Он читает специальные курсы и ведет исследовательские семинары по кибернетике и теории информации.

Профессор В. Н. Козлов окончил физический факультет по кафедре биофизики, затем аспирантуру кафедры математической кибернетики факультета ВМиК. Сначала работал ассистентом этой кафедры, затем после защиты кандидатской диссертации по моделированию нервной деятельности — доцентом. После защиты докторской диссертации по моделированию распознавания зрительных образов живыми системами стал работать профессором кафедры МаТИС; является заместителем заведующего лаборатории ПТК.

Он занимается распознаванием образов и моделированием разумного поведения живых систем. Им опубликовано свыше 40 научных работ.

Он подготовил двух кандидатов наук.

Читает курсы и ведет семинары по математической биологии.

Профессор А. С. Подколзин является выпускником механико-математического факультета по кафедре математической логики. После окончания ее аспирантуры и защиты кандидатской диссертации по теории клеточных автоматов начал работать сначала ассистентом, а затем доцентом этой кафедры. После защиты докторской диссертации по теории решателей математических задач работает профессором кафедры МаТИС.

Область его научных интересов — теория автоматов, теория решателей интеллектуальных задач и теория синтеза чипов. Им опубликовано свыше 70 научных работ, в числе которых монографии и более двадцати американских патентов по микроэлектронике.

Им подготовлено 2 доктора и 8 кандидатов наук.

Он читает курсы и ведет семинары по теории автоматов, решателям интеллектуальных задач и компьютерному моделированию.

Профессор Ю. Н. Черемных окончил механико-математический факультет по кафедре дифференциальных уравнений, а затем аспирантуру этой кафедры. Работал ассистентом, а затем после защиты кандидатской диссертации — доцентом экономического факультета. После защиты докторской диссертации по глобальной экономике стал профессором кафедры математических методов экономики.

Область его научных интересов — математическая экономика и моделирование экономической динамики. Им опубликовано свыше 80 научных работ, среди которых несколько монографий и учебников.

Он подготовил 12 кандидатов наук.

Ю. Н. Черемных является академиком Международной академии менеджмента.

Читает основные курсы и ведет семинары по математической экономике на кафедре МаТИС.

Профессор А. В. Чечкин окончил механико-математический факультет по кафедре теории функций и функционального анализа, а аспирантуру по кафедре вычислительной математики и защитил кандидатскую диссертацию. Работал ассистентом и доцентом в военно-технических вузах Москвы, а после защиты докторской по методам синтеза излучающих систем — профессором.

Область его научных интересов — интеллектуальные системы. Им опубликовано свыше 100 работ, из которых 7 монографий и 7 учебных пособий.

Он является Лауреатом Государственной премии СССР; членом-корреспондентом АТН РФ.

Им подготовлено 10 докторов и свыше 20 кандидатов наук.

Читает специальные курсы и ведет семинары по математической информатике и интеллектуальным системам.

Доцент А. А. Ирматов окончил механико-математический факультет по кафедре высшей геометрии и топологии, а затем ее аспирантуру. Защитил кандидатскую диссертацию по алгебраической топологии и начал работать научным сотрудником в лаборатории ПТК. Долгое время был ее ученым секретарем, затем, став доцентом кафедры МаТИС, являлся сначала ее ученым секретарем, а затем стал заместителем заведующего кафедры.

Область его научных интересов — алгебраическая топология, функциональный анализ, комбинаторика, защита информации и математическая экономика. Им опубликовано 12 научных работ.

Он имеет специальное образование по экономике, менеджменту и финансам с присвоением ему звания MBA, полученного им после окончания бизнес-школы "IEDC-Bled School of Management" в Словении.

Он победитель конкурса МГУ молодых ученых. Он подготовил одного кандидата наук.

А. А. Ирматов активен в общественной деятельности. Он ученый секретарь международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки" и журнала "Интеллектуальные системы". Он ответственный секретарь семинара "Наука и Культура" и является директором упомянутого Русско-Германского Центра, официально именуемого "Московский научный Центр по культуре и информационным технологиям".

Читает курсы и ведет семинары по математической экономике, комбинаторике и защите информации.

Доцент А. С. Строгалов закончил факультет ВМиК по кафедре математической кибернетики, а затем ее аспирантуру. Работал ассистентом, а после защиты кандидатской диссертации по теории автоматов доцентом в МЭИ, затем стал научным сотрудником лаборатории ПТК. С открытием кафедры МаТИС работает на ней доцентом. Долгое время работал ученым секретарем лаборатории ПТК и кафедры. Сейчас является заместителем заведующего кафедры МаТИС.

Его научные интересы включают теорию автоматов, экспертных систем, обучающих компьютерных систем. Им опубликованы 45 научных работ.

Он подготовил одного кандидата наук

Активен в общественной деятельности: был депутатом Моссовета, является членом методического Совета МинВуза РФ, входит в аналогичный совет механико-математического факультета. Он является заместителем руководителя международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки", а также заместителем главного редактора журнала "Интеллектуальные системы". А. С. Строгалов — директор "Московского научного Центра по культуре и информационным технологиям".

Он читает курсы и ведет семинары по дискретной математике, математическому моделированию, экспертным системам.

Доцент А. П. Рыжов после окончания факультета ВМиК по кафедре математической кибернетики учился в ее аспирантуре. После защиты кандидатской диссертации по нечеткой логике стал работать научным сотрудником на кафедре МаТИС, а затем доцентом. Область его научных интересов — нечеткие множества и их приложения, а также математическая экономика. Им опубликованы свыше 50 научных работ.

Он, как и А. А. Ирматов, окончил бизнес-школу "IEDC-Bled School of Management" в Словении и имеет степень MBA.

Активно участвует в общественной и организаторской работе: он член ряда международных организаций по нечеткой математике, ученый секретарь журнала "Интеллектуальные системы", директор Научно-учебного центра "Интеллектуальные системы и нечеткие технологии МГУ — ВЦРАН — РГГУ".

Он читает курсы и ведет семинары по нечеткой математике.

Доцент А. А. Часовских после окончания механико-математического факультета по кафедре дискретной математики учился в её аспирантуре, затем стал работать на этой кафедре ассистентом. Защитил кандидатскую диссертацию по теории автоматов, затем стал доцентом кафедры МаТИС.

Область его интересов — теория автоматов, распознавание образов и информатика. Им опубликованы 15 научных работ.

Он является лауреатом конкурса молодых ученых МГУ.

Подготовил одного кандидата наук.

Активно участвует в общественной и организационной работе. Многие годы работал заместителем декана. Сейчас является директором школы-интерната им. А. Н. Колмогорова при МГУ.

Он читает курсы и ведет семинары по теории автоматов, распознаванию образов и теории сложности.

Ведущий научный сотрудник В. А. Носов окончил механико-математический факультет по кафедре теории вероятности и её аспирантуру. Защитил кандидатскую диссертацию. На кафедре выполнял обязанности заместителя заведующего. Сейчас работает также в ректорате по организации исследований и учебного процесса в области защиты информации.

Его научные интересы обращены к комбинаторике, теории информации и методам её защиты. Он опубликовал свыше 100 научных работ. Он подготовил 10 кандидатов наук и один из его учеников стал доктором наук.

Читает курсы и ведет семинары по теории защиты информации.

Старший научный сотрудник П. А. Алисейчик окончил механико-математический факультет по кафедре дискретной математики и ее аспирантуру. Защитил кандидатскую диссертацию по теории конечно-значных логик. Начал работать в лаборатории ПТК научным сотрудником. Область его научных интересов — функциональные системы, экспертные системы, информатика. Им опубликованы 17 научных работ и разработаны 10 компьютерных обучающих систем. Ведет семинары по дискретной математике и информатике; является заместителем заведующего лаборатории ПТК.

Старший научный сотрудник А. А. Золотых после окончания механико-математического факультета по кафедре высшей алгебры и её аспирантуры начал работать в лаборатории ПТК научным сотрудником. Защитил кандидатскую диссертацию по алгебре. Область его научных интересов — алгебра, теория автоматов, информатика. Опубликовал свыше 70 научных работ, среди которых монография и американские патенты по микроэлектронике; является ученым секретарем лаборатории ПТК.

Старший научный сотрудник М. В. Носов окончил механико-математический факультет по кафедре высшей алгебры. Защитил кандидатскую диссертацию по распознаванию образов. Работает в лаборатории ПТК. Область его научных интересов — распознавание образов, информатика. Опубликовал 12 научных работ. Читает лекции и ведет семинары по кибернетике.

Научный сотрудник А. Г. Беленький окончил МИРЭА и аспирантуру в ВЦРАН. Защитил кандидатскую диссертацию по информатике. Специалист по информационным технологиям. Автор 23 научных публикаций. Ведет семинары по технологиям информатики.

Научный сотрудник И. Л. Мазуренко окончил механико-математический факультет по кафедре МаТИС и её аспирантуру. Защитил кандидатскую диссертацию по автоматным методам распознавания речи. Автор 10 научных работ, из которых два российских патента по распознаванию речи. Является ученым секретарем лаборатории ПТК и журнала "Интеллектуальные системы". Ведет сайты кафедры МаТИС и лаборатории ПТК. Читает курс и ведет семинар по анализу и синтезу речи.

Научный сотрудник А. Е. Панкратьев окончил механико-математический факультет по кафедре высшей алгебры и её аспирантуру. Защитил кандидатскую диссертацию по алгебре. Научные интересы лежат в области алгебры и защиты информации. Он опубликовал 7 научных работ. Являлся ученым секретарем кафедры. Ведет семинары по дискретной математике и защите информации.

Младший научный сотрудник А. А. Кудрин окончил механико-математический факультет по кафедре МаТИС и её аспирантуру. Защитил кандидатскую диссертацию по автоматным вычислениям термов. Опубликовал три научные работы. Ведет семинар по нейросетям.

Младшие научные сотрудники А. В. Галатенко, А. Кирнасов, С. Б. Родин, А. Н. Сафиуллин и А. Б. Холоденко являются выпускниками кафедры МаТИС, Д. В. Алексеев — кафедры ТФФА механико-математического факультета, П. А. Пантелеев — МАТИ. Все они прохолили обучение в аспирантурах своих кафедр. Сейчас работают над кандидатскими диссертациями, участвуют в научных проектах и учебном процессе кафедры и лаборатории. Каждый из них специализируется в своей области исследований. Так А. В. Галатенко работает над задачами защиты информации и клеточных автоматов; А. Кирнасов и П. А. Пантелеев исследуют вопросы сложности тестирования автоматов; А. Н. Сафиулин изучает автоматные модели рыночных структур; А. Б. Холоденко — проблему аппроксимации реальных языков формальными; С. Б. Родин занимается автоматными методами синтеза изображений; Д. В. Алексеев подготовил кандидатскую диссертацию по теории аппроксимации действительных функций, специализируется в компьютерном моделировании проблем биологии. Все эти сотрудники активно трудятся в области информатики.

А. Б. Холоденко является ученым секретарем кафедры.

В.Б.Кудрявцев

- **С.В.Алешин**
  - **Д.Н.Бабин**
    - И.Л.Мазуренко
    - И.Хазбун* (Иордания)
    - *А.Б.Холоденко*
  - *Н.Ф.Анисимов*
  - Б.В.Гецко
  - В.Лашхиа (Грузия,Япония)
  - А.В.Макаров
  - В.В.Макаров
  - В.И.Малыгин
  - М.В.Носов
  - В.В.Переяславский
  - *С.Б.Родин*
  - А.А.Часовских → А.А.Кудрин
  - Р.Шчепанович (СиЧ,США)
- **Д.Н.Бабин**
- **А.Е.Андреев** (РФ,США)
  - И.А.Вихлянцев (РФ,США)
  - Т.Игамбердыев* (Узбекистан,США)
  - А.А.Кибкало*
  - М.Н.Назаров
- **В.А.Буевич**
  - С.А.Богомолов*
  - А.В.Ключников
  - А.З.Насыров
  - М. аль Наеф (Сирия)
- **В.Н.Козлов**
  - А.П.Рыжов*
  - Л.Минчич (Словакия)

Л.В.Крушинский → **В.Н.Козлов**

- **А.С.Подколзин**
  - **Э.Э.Гасанов**
  - Р.М.Джавадов* (Азербайджан,РФ)
  - *А.Кирнасов*
  - В.В.Кудрявцев
  - Г.Ю.Кудрявцев
  - Нгуен Ким Ань* (Вьетнам)
  - *П.А.Пантелеев*
  - А.В.Рябинин* (РФ,Канада)
  - **Ш.Ушчумлич*** (СиЧ)
  - Абдул Саттар (Ирак)
- **Э.Э.Гасанов**
  - Абдул Саттар (Ирак)
  - Г.Н.Аркабаева* (Киргизия)
  - Н.Ю.Демин
  - А.А.Шакиров* (Киргизия,РФ)

С.В.Яблонский

- П.А.Алисейчик
- В.Ангелова (Болгария)
- Л.Арутюнян (Армения,РФ)
- А.А.Болотов
  - М.Миличич* (СиЧ)
  - А.Шайеб* (Сирия)
- **К.Вагнер** (ФРГ)
- **К.Вебер** (ФРГ)
- *А.В.Галатенко*
- В.И.Грунская
- **И.С.Грунский** (все Украина)
  - Г.Г.Пономаренко*
  - В.А.Козловский*
  - В.Негурица*
- **Данг Зуй Руан** (Вьетнам)
- В.Ш.Дарсалия (Грузия,РФ)
- **Ю.Дассов** (ФРГ)

А.М.Богомолов → **И.С.Грунский**

- **Я.Деметрович** (Венгрия)
- **А.Н.Дмитриев**
- О.А.Долотова
- Доу Жу Цзын (Китай)
- А.В.Думов
- **Е.В.Дюкова**
- Л.В.Кальянов
- С.И.Карташев
- **Г.Килибарда** (СиЧ)
- К.В.Коляда
- З.Е.Королева
- В.О.Красавчиков
- **Д.Лау** (ФРГ)
- Р.Луканова (Болгария,США)

А.М.Богомолов → Л.В.Кальянов, **В.Г.Скобелев**, **А.А.Сытник**

- Н.Ф.Нефидов (Грузия,Греция)
- **Г.Р.Погосян** (Армения,Япония)
- *А.Н.Сафиуллин*
- **В.Г.Скобелев**
- **А.А.Сытник**
- Б.Стоматович (СиЧ)
- А.С.Строгалов
  - Е.В.Тимофеев
  - *К.В.Харин*
- **Б.Тальхайм** (ФРГ)
- **В.Харнау** (ФРГ)
- **К.Н.Чимев** (Болгария)
- И.А.Чижова
- Й.Шторм (ФРГ)
- О.А.Щербина (Украина)

Д.В.Алексеев
А.Г.Беленький
А.А.Золотых
А.А.Ирматов → Ж.Ковиянич (СиЧ)
В.А.Носов → 10 учеников кандидатов наук и 1 доктор наук
А.Е.Панкратьев
Ю.Н.Черемных → 13 учеников кандидатов наук

Примечания.

Сотрудники кафедры и лаборатории выделены подчеркиванием.
Доктора наук – **жирным шрифтом**.
Кандидаты наук – обычным шрифтом.
Не кандидаты наук – *курсивом*.
Руководство В.Б.Кудрявцева с соруководителем помечено *.
Стрелки ведут от учителя к ученику.
Если страна не указана, то – Россия.
Ученики В.А.Носова, Ю.Н.Черемных будут размещены при поступлении соответствующей информации.

Сокращения.

РФ – Россия, СиЧ – Сербия и Черногория, США – Соединенные Штаты Америки, ФРГ – Германия.

Литература

1. К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. Изд-во "Мир", М., 1963 г., стр. 1–830.

2. А. Тьюринг. Может ли машина мыслить? Изд-во "Мир", М., 1962 г., стр. 1–81.

3. Дж. Фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов. Изд-во "Мир", М., 1971 г., стр. 1–384.

4. А. А. Ляпунов. О некоторых общих вопросах кибернетики. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 1, Изд-во "Наука", М., 1958 г., стр. 5–22.

5. С. В. Яблонский. Основные понятия кибернетики. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 2, Изд-во "Наука", М., 1959 г., стр. 7–38.

6. А. Н. Колмогоров. Основные понятия теории вероятностей. Наука, М., 1974 г.

7. N. Winer. Cybernetics. J. Wiley, N. Y., 1948.

8. В. М. Глушков. Введение в кибернетику. Изд-во АН УССР, Киев, 1964 г., стр. 1–324.

9. Ю. И. Журавлев. Труды по математической кибернетике. Наука, М., 2000 г.

10. О. Б. Лупанов. Об одном подходе к синтезу управляющих систем — принцип локального кодирования. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 14, Изд-во "Наука", М., 1965 г., стр. 31–110.

11. А. И. Берг, А. И. Китов, А. А. Ляпунов. О возможностях автоматизации управления народным хозяйством. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 6., Изд-во "Наука", М., 1961 г., стр. 83–100.

12. Л. В. Крушинский. Изучение экстраполяционных рефлексов у животных. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 2., Изд-во "Наука", М., 1959 г., стр. 213–228.

13. Н. В. Тимофеев-Ресовский. Микроэволюции. Ботанический журнал, 43, № 3, 1958 г., Изд-во "Наука", М.

14. П. С. Новиков. Элементы математической логики. Изд-во "Наука", М., 1959 г., стр. 1–400.

15. А. П. Ершов. Операторные алгорифмы. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 3., Изд-во "Наука", М., 1960 г., стр. 5–48.

16. А. А. Марков. Теория алгорифмов. Тр. МИАН СССР, 42, М., 1954 г., стр. 1–374.

17. И. А. Чегис, С.В. Яблонский. Логические способы контроля работы электрических схем. Тр. МИАН им. В.А. Стеклова, т. 51,

1958 г., Изд-во АН СССР, М., стр. 270-360.

18. А. Н. Дмитриев, Ю. И. Журавлев, Ф. П. Кренделев. О математических принципах классификации предметов и явлений. Сб. "Дискретный анализ", № 7., 1966 г., Изд-во "Наука" СОАН СССР, Новосибирск.

19. Р. М. Константинов, З. Е. Королева, В. Б. Кудрявцев. Комбинаторно-логический подход к задачам прогноза рудоносности. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 31, Изд-во "Наука", М., 1976 г., стр. 25–41.

20. В. Е. Кузнецов. Об одном стохастическом алгоритме вычисления информационных характеристик таблиц по методу тестов. Сб. "Дискретный анализ", вып. 23, 1973 г., Изд-во "Наука" СОАН СССР, Новосибирск, стр. 8–23.

21. Е. В. Дюкова. Асимптотически оптимальные тестовые алгоритмы в задачах распознавания. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1979 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–127.

22. А. Е. Андреев. О качественных и метрических свойствах тестовых алгоритмов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1981 г., стр. 1–145.

23. А. А. Кибкало. О **Т**-алгоритмах распознавания, использующих короткие тесты. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1988 г., стр. 1–153.

24. М. В. Носов. Функциональные характеристики тестовых алгоритмов распознавания образов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1989 г., стр. 1–80.

25. А. Шайеб. Исследование свойств линейных метрических алгоритмов распознавания. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1985 г., стр. 1–126.

26. В. В. Переяславский. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1985 г., стр. 1–80.

27. Б. В. Гецко. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1989 г., стр. 1–70.

28. И.Л. Мазуренко. Автоматные методы распознавания речи. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 2001 г., стр. 1–119.

29. Э. Э. Гасанов, В. Б. Кудрявцев. Теория хранения и поиска информации, 2002 г., Изд-во Физматгиз, М., стр. 1–288.

30. B. Thalheim Abhangigkeiten in Relationen. Dissertation fur doctor B. Uni Dresden, 1985, p. 1–205.

31. А. С. Подколзин. О моделировании процессов решения математических задач. Докторская диссертация по мат. кибернетике. 1994 г., ВЦ РАН, стр. 1–304.

32. V. B. Kudryavtsev, K. Vashik, A. S. Strogalov, P. A. Aliseichik, V. V. Peretrukhin. On the automation model of the learning process. Discrete mathematics and applications, VSP, Utrecht, the Netherlangs, Tokyo, Japan, Vol. 6, № 6, 1996, 533–539.

33. Э. Мур. Умозрительные эксперименты с последовательностными машинами. Сб. Автоматы, 1956 г., Изд-во "Мир", М., стр. 179–210.

34. И. С. Грунский. Поведение автомата в окрестностях состояний и его распознавание. Кандидатская диссертация, 1975 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–110.

35. Г. Г. Пономаренко. Об **r**-неотличимости конечных автоматов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, ИПММ АН УССР, Донецк, 1983 г., стр. 1–75.

36. С. А. Богомолов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1987 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–90.

37. А. В. Ключников. О синтезе автоматов по конечным фрагментам их поведения. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1993 г., мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–80.

38. В. А. Козловский. О распознавании локальных неисправностей автоматов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, ИПММ АН УССР, Донецк, 1981 г., стр. 1–104.

39. Л. В. Кальянов. Устойчивость поведения автоматов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1993 г., СГУ им. Н. Г. Чернышевского, стр. 1–115.

40. В. Г. Скобелев. Алгоритмы и сложность распознавания внутренних состояний конечного автомата. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, ИПММ АН УССР, Донецк, 1980 г., стр. 1–120.

41. Г. Р. Погосян. О сложности проверяющих тестов для логических устройств. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1982 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–73.

42. О. А. Долотова. О сложности контроля логических схем типа Поста. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1991 г., мехмат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–101.

43. E. Post. Two-valued iterative systems of mathematical logic. Prinston, 1941, p. 1–145.

44. С. В. Яблонский, Г. П. Гаврилов, В. Б. Кудрявцев. Функции алгебры логики и классы Поста. Изд-во "Наука", М., 1966 г., стр. 1–90.

45. С. К. Клини. Представление событий в нервных сетях и конечных автоматах. Сб. Автоматы, Изд-во "Мир", М., 1956 г., стр. 15–67.

46. В. М. Глушков. Синтез цифровых автоматов. Изд-во Физматгиз, М., 1962 г., стр. 1–320.

47. S. Uscumlich. O kvalitativnim i metrickim svojstvima algoritama analize i sinteze koacnih automata. Doktorska disertacija, 1979, Universitet Beograda Jugoslavija, p. 1–100.

48. А. В. Рябинин. Автоматная реализация функций вещественного переменного. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1988 г., мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–102.

49. А. С. Подколзин. О сложности распознавания автоматов-генераторов. Сб. Дискретный анализ, Новосибирск, Ин-т Мат. СОАН СССР, 1972 г., вып. 21, стр. 31–61.

50. L. Budach. Automata and labyrinth. Mathematische Nachrichten, 1978, v. 86, p. 195–282.

51. В. Б. Кудрявцев, С. В. Алёшин, А. С. Подколзин. Введение в теорию автоматов. Изд-во "Наука", М., 1985 г., стр. 1–320.

52. В. Б. Кудрявцев, Ш. Ушчумлич, Г. Килибарда. О поведении автоматов в лабиринтах. Ж-л Дискретная математика, т. 4, вып. 3, 1992 г., стр. 3–28.

53. Г. Ю. Кудрявцев. О времени решения лабиринтных задач конечными автоматами. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1991 г., стр. 1–127.

54. А. Н. Зыричев. О синтезе автомата, обходящего плоские лабиринты с ограниченными дырами. Ж-л Дискретная математика, т. 3, вып. 1, 1991 г., стр. 105–113.

55. А. А. Золотых. Обход лабиринтов с ограниченными в фиксированных направлениях дырами. Ж-л Дискретная математика, т. 5, вып. 1, 1993 г., стр. 59–69.

56. А. З. Насыров. О поведении автоматов, оставляющих отметки в вершинах лабиринтов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 2001 г., стр. 1–77.

57. В. И. Грунская. О некоторых свойствах траекторий автоматов в лабиринтах. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике,

ф-т ВМиК МГУ им. М. В. Ломоносова, 1994 г., стр. 1–190.

58. J. Storm. Uber Verhalten von endlichen Automaten in determinierten Umgebungen. Dissertation der Doktor, 1978, Uni Rostock, p. 1–140.

59. Ю. И. Янов, А. А. Мучник. О существовании **k**-значных замкнутых классов, не имеющих конечного базиса. ДАН СССР, т. 127, № 1, 1959 г., стр. 144–146.

60. С. В. Яблонский. Функциональные построения в **k**-значной логике. Труды МИАН СССР, т. 51, Изд-во "Наука", М., 1958 г., стр. 5–142.

61. А. И. Мальцев. Итеративные алгебры Поста. Изд-во НГУ, 1976 г., стр. 1–100.

62. I. Rosenberg. Uber die functionale Vollstandigkeit in dem mehrwertigen Logiker. Rozpravy Cs. Akademie Ved. Ser. Math. Nat. Sci., 80, 4, 1970, 3–93.

63. Е. Ю. Захарова, В. Б. Кудрявцев, С. В. Яблонский. О предполных классах в **k**-значных логиках. ДАН СССР, т. 186, № 3, 1969 г., стр. 509–512.

64. В. Б. Кудрявцев. Функциональные системы. Изд-во МГУ, М., 1982 г., стр. 1–159.

65. D. Lau. Eigenschaften gewisser abgeschlossener Klassen in Postschen Algebren. Dissertation fur Doktor, 1977, Uni. Rostock, Germany, p. 1–147.

66. W. Harnau. Die Struktur Vertauschbarketsmengen der **k**-wertigen Logik. Dissertation A, 1973, Uni. Rostock, Germany, p. 1–115.

67. В. Харнау. Обобщенное понятие отношения и модифицированное понятие суперпозиции для алгебры многозначной логики. Докторская диссертация по математике, 1983 г., Университет Дрездена. Германия, стр. 1–180.

68. Л. А. Арутюнян. О характере глубины замкнутых классов неоднородных функций. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1993 г., стр. 1–120.

69. Р. М. Джавадов. Об ϵ-полноте множеств функций алгебры логики. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1982 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–145.

70. П. А. Алисейчик. О максимальной длине базиса в конечнопорожденных замкнутых классах **k**-значной логики. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1988 г., стр. 1–121.

71. С. И. Карташов. Вопросы выразимости для функциональных систем типа алгебр Поста. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1987 г., стр. 1–126.

72. Доу Жу Цзын. О функциональных системах типа алгебр Поста. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1990 г., мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–137.

73. А. В. Макаров. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1988 г., стр. 1–80.

74. В. В. Кудрявцев. Условия выразимости и полноты для функциональных систем пучков функций **k**-значных логик. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М.В.Ломоносова, 1997 г., стр. 1-51.

75. В. Ш. Дарсалия. Проблема полноты для функциональных систем полиномов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1998 г., стр. 1–116.

76. Я. Деметрович. О некоторых гомоморфизмах и отношениях для предельных логик. Сб. Проблемы кибернетики, вып. 30, Изд-во "Наука", М., 1975 г., стр. 5–42.

77. В. В. Лашхиа. Об условиях полноты **k**-значных логик. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1995 г., стр. 1–80.

78. Г. Килибарда. О двух характерных моделях функциональных систем автоматов с операциями замыкания. Докторская диссертация, 1989 г., Белградский университет, Югославия, стр. 1–127.

79. В. Б. Кудрявцев. Вопросы полноты для некоторых функциональных систем, связанных с автоматами. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1963 г., стр. 1–110.

80. М. И. Кратко. Алгоритмическая неразрешимость проблемы распознавания полноты для конечных автоматов. ДАН СССР, т. 155, № 1, 1964 г., стр. 35–37.

81. В. А. Буевич. Решение проблемы τ-полноты для автоматов. Докторская диссертация по мат. кибернетике, 1992 г., мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–329.

82. Б. Тальхайм. Условия полноты и выразимости для стабильных автоматов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1979 г., МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет ВМиК, стр. 1–167.

83. J. Dassow. Ein modifizierter Vollstandigkeitsbegriff in einer Alge-

bra von Automatenabbildungen. Dissertation fur Doktor B. Uni Rostock, Germany, 1978, p. 81–120.

84. А. С. Строгалов. Об ϵ-моделировании поведения конечных автоматов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, ф-т ВМиК МГУ им. М. В. Ломоносова, 1985 г., стр. 1–122.

85. И. Хазбун. Об условиях полноты и выразимости в точной алгебре автоматов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1992 г., стр. 1–60.

86. К. В. Коляда. Вопросы полноты для регулярных отображений. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1987 г., стр. 1–84.

87. Д. Н. Бабин. Решение проблемы классификации автоматных базисов Поста по разрешимости свойств полноты и **A**-полноты. Докторская диссертация по мат. кибернетике, 1999 г., мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–244.

88. А. А. Часовских. Условия полноты для линейных автоматов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1993 г.

89. С. В. Алешин. Относительно суперпозиций автоматных отображений. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1973 г., мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–60.

90. Е. Голод, И. Р. Шафаревич, в кн.: Труды международного конгресса математиков, М., 1968, с. 248–289.

91. В. Б. Кудрявцев, А. С. Подколзин, А. А. Болотов. Основы теории однородных структур. Изд-во "Наука", М., 1990 г., стр. 1–296.

92. А. В. Думов. О росте конфигураций в однородных структурах. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1997 г., МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет ВМиК, стр. 1– 102.

93. С. В. Яблонский. Введение в дискретную математику. Изд-во "Наука", М., 1975 г., стр. 1–320.

94. А. Е. Андреев. О синтезе функциональных сетей. Докторская диссертация по мат. кибернетике, 1985 г., мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1– 250.

95. А. Е. Андреев. Об одном методе получения нижних оценок сложности индивидуальных монотонных функций, ДАН СССР, т. 282, № 5, 1985, с. 1033–1037.

96. А. Е. Андреев, А. А. Часовских. Сложность автоматов, вычисляющих значения формул, Вестник МГУ, серия 1, Математика, Механика, 1996, № 4, с. 22–24.

97. А. А. Кудрин. Автоматная сложность вычисления формул. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 2000 г., стр. 1–99.

98. О. А. Щербина. Исследование некоторых локальных алгоритмов решения квазиблочных задач дискретного программирования. Кандидатская диссертация, 1979 г., ВЦ АН СССР, стр. 1– 127.

99. Г. Н. Аркабаева. Оценка сложности методов сортировки данных. Кандидатская диссертация, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1996 г., стр. 1–103.

100. K. Weber. Uber verschiedene Komlizirtheitma?e bei Alternativen Normalformen. Dissertation B. Uni Rostock, Germany, 1975, p. 1–75.

101. Нгуен Ким Ань. О некоторых характеристиках алгоритмов минимализации булевых функций. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1982 г., стр. 1–147.

102. Т. М. Игамбердыев. О числе решений систем булевых уравнений и методах их поиска. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1988 г., стр. 1–102.

103. Р. Шчепанович. Диссертация, Университет Белграда, Югославия, 1987 г., с. 1–70.

104. А. Е. Андреев. Об одной модификации градиентного алгоритма, Вестник МГУ, серия Математика, Механика, № 3, 1985 г., с. 29–35.

105. A. A. Irmatov. Arrangements of Hyperplanes and the Number of Threshold Functions, Acta Applicandae Mathematicae, V. 68, Nos. 1–3, 2001, p. 211–226.

106. K. Wagner. Berechenbare Funktionen uber n-dimensionalen Worten. Dissertation fur Doktor, Uni Jena, Germany, 1973, p. 1–171.

107. В. Н. Козлов. О математическом моделировании некоторых процессов управления в биологии, связанных с поведением. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, 1978 г., МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет ВМиК, стр. 1–91.

108. Р. Луканова. Ситуационно-семантический анализ естественного языка. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет ВМиК, 1991 г., стр. 1– 154.

109. А. А. Шакиров. Логико-алгебраические способы описания геометрических фигур. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1997 г., стр. 1–83.

110. А. П. Рыжов. О выборе качественных признаков описания объектов средствами теории нечетких множеств. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, ф-т ВМиК МГУ им. М. В. Ломоносова, 1992 г., стр. 1–127.

111. Ф. Н. Нефидов. Построение модели лечения детей с некоторыми острыми заболеваниями в брюшной полости (на примере острой кишечной непроходимости). Кандидатская диссертация, 1977 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–143.

112. З. Е. Королева. Анализ эффективности некоторых комбинаторно-логических алгоритмов распознавания (на примере решения геологической задач). Кандидатская диссертация, 1975 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–102.

113. И. А. Чижова. Оценка роли признаков в комбинаторнологических задачах распознавания. Кандидатская диссертация, 1988 г., ВЦ АН СССР, стр. 1–165.

114. В. О. Красавчиков. Модификация тестового подхода к анализу таблиц описаний на основе понятия тупикового табличного свойства. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, ВЦ АН СССР, 1982 г., стр. 1–163.

115. В. Н. Козлов. Математическое моделирование процессов визуального восприятия и распознавания. Докторская диссертация по мат. кибернетике, 1997 г., МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет ВМиК, стр. 1–211.

116. С. В. Алешин. Распознавание динамических образов. Изд-во МГУ, М., 1996 г., стр. 1–98.

117. В. Б. Кудрявцев, А. С. Подколзин, Ш. Ушчумлич. Введение в теорию абстрактных автоматов. Изд-во МГУ, М., 1985 г., стр. 1–180.

118. Д.Н. Бабин. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике. СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 1987 г., стр. 1–90.

119. М.Н. Назаров. Параллельное вычисление булевых функций как модель доступа к распределенным информационным ресурсам. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, Волгоградский гос. университет, 2003 г., стр. 1–105.

120. Ал-Доври Абдул Саттар Абдул Джабар. Функиональная мера сложности вычислений в автоматных схемах. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1994 г., стр. 1–127.

121. Н. Ю. Демин. О восстановлении безопасных сетевых про-

токолов по обмену их сообщениями. Кандидатская диссертация по техническим наукам, РГГУ, 2003 г., стр. 1–122.

122. Л. Минчич. Об одной математической модели восприятия зрительных образов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, ф-т ВМиК МГУ им. М. В. Ломоносова, 1988 г., стр. 1–120.

123. И. А. Вихлянцев. О синтезе разделительных схем. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, Волгоградский гос. университет, 1992 г., стр. 1–104.

124. Мохамед аль Наеф аль Хадж Юнис. Об **A**-полноте системы автоматов, реализующих множество всех простых экспериментов. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 1989 г., стр. 1–107.

125. В. В. Макаров. Кандидатская диссертация по мат. кибернетике, мех-мат ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, стр. 1–75.

126. Е. В. Тимофеев. О моделировании мимической компоненты в обучающих информационных системах. Кандидатская диссертация по техническим наукам, РГГУ, 2002 г., стр. 1–203.

127. М. Миличич. О соответствиях Галуа для алгебр функций с задержками. Диссертация. Белградский университет, 1981 г., стр. 1–100.