



# НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

## ЛАУРЕАТЫ ЛЕНИНСКОЙ ПРЕМИИ

С.В. ЕМЕЛЬЯНОВ (1972), Ю.И. ЖУРАВЛЕВ (1966), А.Б. КУРЖАНСКИЙ (1976), С.С. ЛАВРОВ (1958), О.Б. ЛУПАНОВ (1966), Г.И. МАРЧУК (1961), А.Ф. НИКИФОРОВ (1962), Ю.С. ОСИПОВ (1976), Л.С. ПОНТРЯГИН (1962), Ю.В. ПРОХОРОВ (1970), А.А. САМАРСКИЙ (1962), А.Н. ТИХОНОВ (1966), В.Б. УВАРОВ (1962), С.В. ЯБЛОНСКИЙ (1966);

## ЛАУРЕАТЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИИ

Н.С. БАХВАЛОВ (1985), А.А. ДЕЗИН (1988), В.И. ДМИТРИЕВ (1976), Ю.Н. ДНЕСТРОВСКИЙ (1981), С.В. ЕМЕЛЬЯНОВ (1980, 1994), В.П. ИВАННИКОВ (1980), В.А. ИЛЬИН (1980), А.С. ИЛЬИНСКИЙ (1976), С.К. КОРОВИН (1994), Л.Н. КОРОЛЕВ (1969), Д.П. КОСТОМАРОВ (1981), Г.И. МАРЧУК (1979), Н.Н. МОИСЕЕВ (1980), Ю.С. ОСИПОВ (1993), Л.С. ПОНТРЯГИН (1953, 1975), Ю.П. ПОПОВ (1981), Г.С. РОСЛЯКОВ (1979), В.В. РУСАНОВ (1967), Г.Г. РЯБОВ (1974), А.А. САМАРСКИЙ (1999), С.А. СТЕПАНОВ (1975), А.Н. ТИХОНОВ (1953, 1976), А.Н. ТОМИЛИН (1969), М.Р. ШУРА-БУРА (1955, 1978);

## ЛАУРЕАТЫ ПРЕМИИ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР

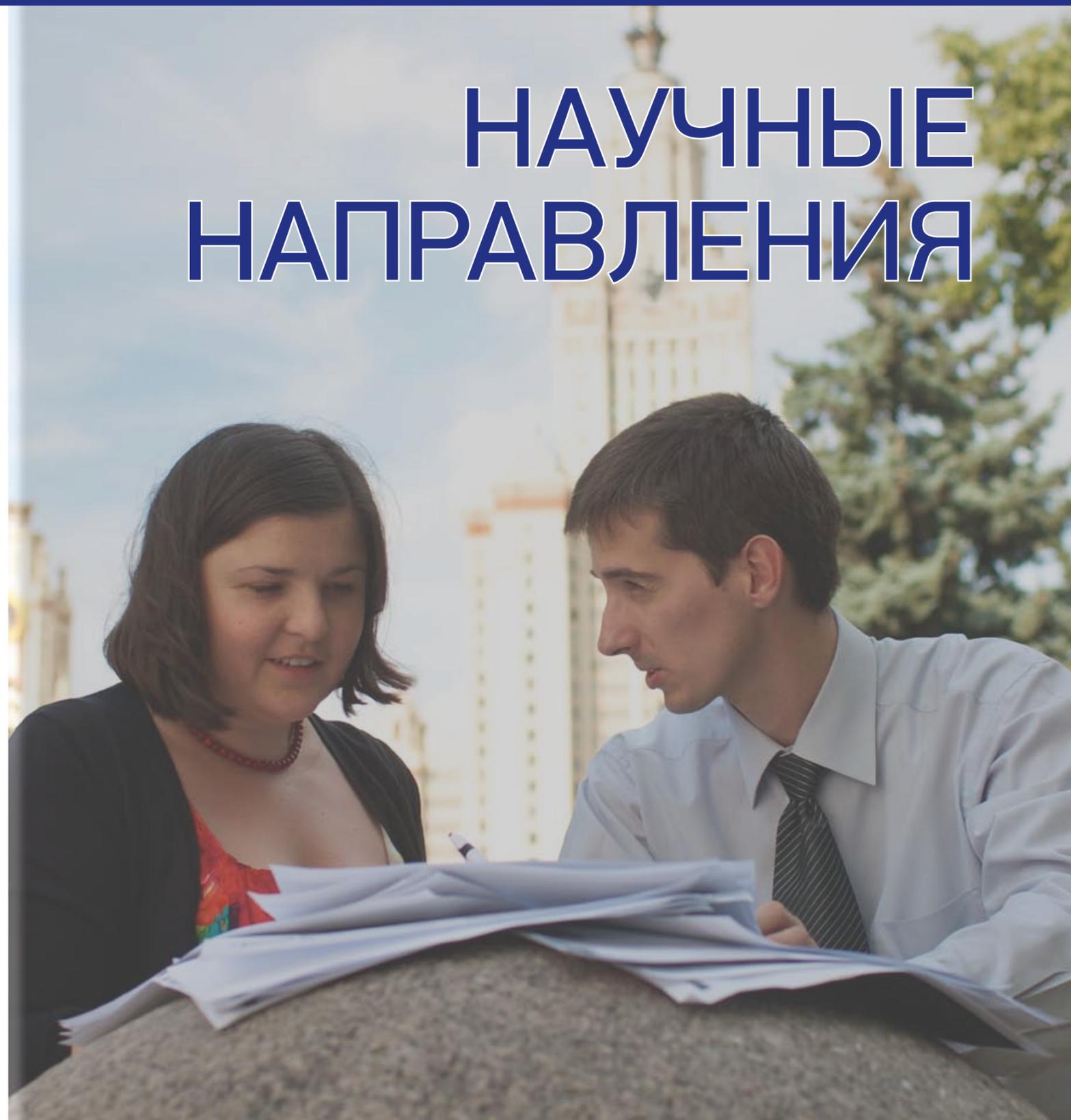
Н.П. БРУСЕНЦОВ (1982), В.Я. ГАЛКИН (1982), Н.Л. ГРИГОРЕНКО (1981), Е.И. ГУРЕВИЧ (1982), В.И. ДМИТРИЕВ (1986), П.Н. ЗАЙКИН (1982), А.С. ИЛЬИНСКИЙ (1986), Л.Н. КОРОЛЕВ (1982), П.С. КРАШОЩЕКОВ (1981), Н.Н. МОИСЕЕВ (1981), В.В. МОРОЗОВ (1981), Е.С. НИКОЛАЕВ (1986), В.М. ПАСКОНОВ (1982), А.Н. ТИХОНОВ (1981), В.В. ФЕДОРОВ (1981);

## ЛАУРЕАТЫ ЛОМОНОСОВСКОЙ ПРЕМИИ ЗА НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.Н. ТИХОНОВ (1963), В.А. САДОВНИЧИЙ (1973), В.В. ВОЕВОДИН, О.Б. АРУШАНЯН, С.С. ГАЙСАРЯН, Г.Д. КИМ (1974), Ю.Н. ДНЕСТРОВСКИЙ, Д.П. КОСТОМАРОВ, А.М. ПОПОВ (1976), В.А. ИЛЬИН (1980), В.И. ДМИТРИЕВ, Е.В. ЗАХАРОВ (1983), В.М. ПАСКОНОВ (1985), Б.М. ЩЕДРИН (1986), А.В. ГОНЧАРСКИЙ (1988), О.Б. ЛУПАНОВ (1992), Е.И. МОИСЕЕВ (1994), А.А. САМАРСКИЙ (1997), И.А. ШИШМАРЕВ (2000), С.В. ЕМЕЛЬЯНОВ, С.К. КОРОВИН, Н.А. БОБЫЛЕВ (2002), Ю.И. ЖУРАВЛЕВ, К.В. РУДАКОВ (2003), Ю.В. ПРОХОРОВ, В.Ю. КОРОЛЕВ И В.Е. БЕНИНГ (2005);

## ЛАУРЕАТЫ ЛОМОНОСОВСКОЙ ПРЕМИИ ЗА ПЕДАГОГИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В.А. ИЛЬИН (1992), В.Г. СУШКО (1994), Л.Н. КОРОЛЕВ (1995), Д.П. КОСТОМАРОВ (1995), В.Н. ПИЛЬЩИКОВ (1997), Л.Б. САРАТОВСКАЯ (1998), А.М. ДЕНИСОВ (2001).





## НА ФАКУЛЬТЕТЕ ВМК ПРОВОДЯТСЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ПРИОРИТЕТНЫМ НАУЧНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.

Спектральная теория линейных и нелинейных уравнений и задачи граничного управления неоднородными распределенными системами (руководитель – академик В.А.Ильин);  
Обратные задачи математической физики и методы их решения (руководители – профессор А.М.Денисов, профессор В.И.Дмитриев);  
Уравнения смешанного типа и задачи граничного управления (руководитель – академик Е.И.Моисеев)

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ.

Математическое моделирование и численные методы в естественно-научных задачах (руководитель – профессор А.В. Гулин);  
Суперкомпьютерное моделирование в вычислительной физике плазмы и смежных естественно-научных дисциплинах (руководитель – член-корреспондент РАН Д.П. Костомаров);  
Математическое моделирование процессов аэрогидродинамики, теплопереноса, электромагнетизма и задач нелинейной оптики (руководители – профессор Е.В. Захаров, профессор В.М. Пасконов);  
Развитие сеточных методов математической физики и численное моделирование прикладных задач (руководители – ведущий научный сотрудник Н.В. Арделян, ведущий научный сотрудник Е.С. Николаев);  
Методы математического моделирования и решения обратных задач в геофизических исследованиях (руководитель – профессор В.И. Дмитриев);  
Математические модели волновых процессов в электродинамике сверхвысоких частот (руководитель – профессор А.С. Ильинский);  
Математические модели нанооптики, плазмоники и оптоэлектроники (руководитель – ведущий научный сотрудник Ю.А. Еремин);  
Математическое моделирование динамики нелинейных неидеальных физико-химических систем (руководитель – профессор В.А. Трофимов);  
Обратные задачи исследования строения вещества и управления (руководитель – профессор Б.М. Щедрин);  
Исследование и разработка открытых информационных технологий, ресурсов и услуг глобальной информационной инфраструктуры в науке, образовании, бизнесе (руководитель – профессор В.А. Сухомлин);

Эффективные методы и технологии в задачах численного анализа и математического моделирования (руководитель – академик Г.И. Марчук);  
Математическое моделирование явлений самоорганизации в системах типа реакция-диффузия (руководитель – д.ф.-м.н. Е.С. Куркина);  
Математическое моделирование динамических процессов в электролизе металлов (руководитель – д.ф.-м.н. Н.П. Савенкова);

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ.

Методы решения динамических задач оптимизации и управления (руководитель – академик Ю.С. Осипов);  
Анализ и управление сложными динамическими системами в условиях неопределенности (руководитель – академик С.В. Емельянов);  
Методы оптимизации в задачах динамики и управления для сложных систем (руководитель – академик А.Б. Куржанский);

### ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА.

Методы вероятностно-статистического анализа сложных стохастических систем (руководитель – академик Ю.В. Прохоров);  
Математические модели случайных процессов и потоков в сложных технических системах (руководители профессор В.Г. Ушаков, к.ф.-м.н. Л.В. Назаров);

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ.

Развитие комбинаторных, алгебраических и статистических алгоритмов интеллектуального анализа данных и разработка на их основе методов решения прикладных задач (руководитель – академик Ю.И. Журавлев);  
Дискретные функциональные системы, дискретные структуры и алгоритмы (руководитель – профессор В.Б. Алесеев);  
Математическое моделирование процессов принятия решений в сложных системах (руководитель – академик П.С. Краснощенок);  
Теория синтеза, надежности и контроля дискретных управляющих систем, математические модели СБИС (руководитель – профессор С.А. Ложкин);

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ, РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ.**

Разработка математических методов и программ для суперкомпьютерного моделирования наносистем (руководитель – профессор А.М. Попов);  
Исследование, разработка и применение современных информационных технологий (руководитель – профессор И.В. Машечкин);  
Разработка и применение математических моделей и методов для решения задач обеспечения информационной безопасности (руководитель – к.ф.-м.н. В.А. Захаров);  
Моделирование динамики квантовых систем и квантовых информационных каналов (руководитель – профессор Ю.И. Ожигов);  
Развитие методов и алгоритмов обработки, анализа и синтеза мультимедийной информации (руководитель – доцент Ю.М. Баяковский);  
Методы анализа и выявления вредоносного программного обеспечения в современных сетях ЭВМ (руководитель – профессор Р.Л. Смелянский);  
Разработка компьютерной системы анализа умозаключений посредством трехзначного обобщения булевой алгебры (руководители – член-корреспондент РАН Л.Н. Королев, ведущий научный сотрудник Н.П. Брусенцов);

**ПРОГРАММНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ НА СОВРЕМЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.**

Разработка методов обработки данных на вычислительных комплексах высокой производительности (руководитель – член-корреспондент РАН Л.Н. Королев);  
Алгебраические и лингвистические методы в теории и практике программирования (руководитель – профессор М.Г. Мальковский);  
Теоретические основы и методы анализа и проектирования программ (руководитель – академик В.П. Иванников);  
Методы и инструментальные средства анализа функционирования и разработки встроенных систем реального времени (руководитель – профессор Р.Л. Смелянский);  
Интеллектуальные и мультимедийные системы для автоматизации научных исследований и обучения (руководители – профессор М.Г. Мальковский, ведущий научный сотрудник М.В. Леонов).

**СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ. ОБРАЗОВАНИЕ. БУДУЩЕЕ**

О суперкомпьютерах и суперкомпьютерных технологиях сегодня говорят многие, от студентов до первых лиц государства, быть может, только мотивация обращения к теме немного разная. Одни интуитивно чувствуют потенциал данной области, отсюда и интерес, другие в этом потенциале уверены, а потому и относят суперкомпьютерные технологии к числу важнейших направлений развития страны.

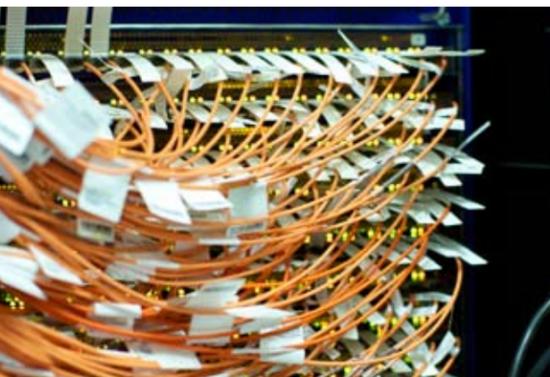
Область исключительно динамична. Суперкомпьютерная техника развивается невероятными темпами, что отражается в показателях производительности и масштабы современных вычислительных систем. За примерами далеко ходить не нужно, достаточно просмотреть список Top500 самых мощных компьютеров мира ([www.top500.org](http://www.top500.org)). Лидер текущего списка – японский суперкомпьютер «K computer», имеет производительность 8,7 Пфлопс (1 Пфлопс = 10<sup>15</sup> операций в секунду) и объединяет 548352 вычислительных ядра. Вторую строку списка занимает китайский суперкомпьютер Tianhe-1A, имеющий производительность 4,7 Пфлопс (1 Пфлопс = 10<sup>15</sup> операций в секунду), построенный из 7168 графических процессоров NVidia Tesla M2050 и 14336 процессоров Intel Xeon. Следом идет суперкомпьютер Cray Jaguar: производительность 2,3 Пфлопс. Производительность огромна, но она станет доступной пользователю только в том случае, если он сможет эффективно использовать все 224162 параллельно работающих вычислительных ядра этой машины... Как построить параллельный алгоритм решения задачи, который мог бы масштабироваться до таких значений? Как распределить данные по более чем 26000 узлов Cray Jaguar, чтобы минимизировать обмен данными? А можно ли построить такой алгоритм, чтобы обмена данными не было вообще? Вопросы не простые, и найти ответ без специальной подготовки сложно.

На четвертой строке списка с производительностью 2,98 Пфлопс расположен китайский суперкомпьютер Nebulae. В отличие от «K computer» и Cray Jaguar, этот суперкомпьютер опирается на использование графических процессоров NVidia Tesla C2050, являющихся сопроцессорами к традиционным процессорам Intel Xeon X5650. Как сформулировать алгоритм решения задачи, чтобы можно было бы отразить и SIMD-природу графических процессоров, и одновременно скрыть время передачи данных между основными процессорами и сопроцессорами? Не просто. Но если этого не сделать, то от 2,98 Пфлопс пиковой производительности пользователь получит лишь малые доли процента. Ярким подтверждением тому, насколько этот вопрос не простой, является эффективность суперкомпьютера Nebulae на тесте Linpack – всего 43% от максимальной возможной производительности! И это для теста, про который за 30 лет его использования известно абсолютно все, который крайне прост, регулярен и имеет высокую вычислительную мощность. А что же будет для реальных приложений?

Подобные рассуждения верны для всех представителей суперкомпьютерной области. Число процессоров и ядер в вычислительных системах неуклонно

**Вл.В.Воеводин**  
член-корреспондент РАН,  
заместитель директора НИВЦ МГУ





растет, что в совокупности с неоднородностью ставит исключительно нетривиальные задачи их использования. Если экстраполировать тенденцию развития суперкомпьютеров, то к 2018 году можно ожидать появление систем экзафлопной (Еха – это 10<sup>18</sup>) производительности, объединяющих миллиарды (!) параллельно работающих вычислительных ядер. И тут же возникает вопрос – а кто будет на них работать? Вернее, кто сможет на них работать? Кто будет в состоянии разработать метод, построить алгоритм, написать эффективную программу для подобных машин? Единицы. И не должно быть иллюзии, что эти вопросы актуальны только для систем наивысшего диапазона производительности, содержащих сотни миллионов ядер. Похожая ситуация к тому времени возникнет и на «обычных» настольных системах, которые будут иметь в десятки тысяч раз меньшую производительность, и объединяющих «всего» порядка 10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> ядер. Сейчас в это сложно поверить, но эти тысячи ядер будут в обычных ноутбуках и персоналках. Параллелизм станет массовым явлением. Именно поэтому необходимо уже сейчас начинать целенаправленную работу по развитию системы суперкомпьютерного образования, образования в области параллельных вычислительных технологий, чтобы готовить специалистов к реалиям будущего сверхпараллельного компьютерного мира. Замечу, все нынешние студенты будут жить в этом мире, но вот готовы ли они к этому?

Введением одного-двух специальных курсов ситуацию принципиально не изменить, необходим комплексный подход, меняющий систему компьютерного образования в целом. Как в пятидесятых годах – время компьютерной революции, учили азам вычислительной техники, столь же важный момент и сейчас – нужно учить параллельным вычислениям. Все прежнее, наработанное годами, должно сохраниться, создание параллельного программного обеспечения невозможно без профессионального владения «обычным» последовательным программированием. Но ведь совершенно ясно и то, что житель будущего параллельного компьютерного мира, и уж тем более специалист в области суперкомпьютерных технологий, должны иметь новые знания и навыки. В их числе – информационная структура программ и алгоритмов, архитектура параллельных вычислительных систем, модели параллельных вычислений и методы анализа сложности алгоритмов, параллельные методы вычислений, параллельное программирование (языки, среды разработки, библиотеки) и многое другое. И, безусловно, разработка эффективных суперкомпьютерных программ для решения сложнейших научно-технических проблем невозможна без высочайшей квалификации в области математических наук.

Переход к новой системе компьютерного образования не требует революции (хотя, если честно, мы опаздываем с ее введением на несколько лет), многое можно делать постепенно. Если рассказывается численный метод решения задачи, то нужно сказать пару слов и о его параллельной структуре. Говорить не только о сложности алгоритмов, но и о параллельной сложности. В курсе программирования не забыть про технологии параллельного программирования. В курсе архитектур вычислительных систем рассказать про элементы параллельной обработки –

сегодня без этого вообще нельзя говорить об архитектуре компьютеров. И так практически по всем учебным курсам.

Летом 2009 года ректор Московского университета В.А.Садовничий представил идею проекта «Суперкомпьютерное образование» президенту Д.А.Медведеву и инициатива получила поддержку. На 2010-2012 годы запланирована широкая программа действий университетского сообщества России, направленная на создание национальной системы подготовки высококвалифицированных кадров в области суперкомпьютерных технологий. Программа получилась исключительно профессиональной и целостной. Там и создание сети научно-образовательных центров в федеральных округах, и предложения по модификации федеральных образовательных стандартов, подготовка и издание суперкомпьютерной литературы, проведение обучения в разных формах и для различных целевых групп, тесная интеграция с РАН, предприятиями промышленности и бизнеса, международное сотрудничество и многое другое. Инициаторы проекта – это Московский государственный университет и суперкомпьютерный консорциум университетов России, в котором наиболее активны ННГУ, ЮУрГУ, ТГУ и СПбГУИТМО. За время подготовки и выполнения первого этапа проекта сложился уникальный коллектив единомышленников, профессионалов, которому по плечу задача любой сложности. В том числе и создание национальной системы Суперкомпьютерного образования.

За последние годы суперкомпьютерные технологии в Московском университете сформировались в мощный научно-образовательный комплекс, отражающий тот высокий приоритет, которое придает государство суперкомпьютерным технологиям для инновационного развития России. В декабре 2008 года по инициативе МГУ, ННГУ, ТГУ и ЮУрГУ образован Суперкомпьютерный консорциум университетов России ([hpc-russia.ru](http://hpc-russia.ru)). В настоящее время Консорциум объединяет более 50 постоянных и ассоциированных членов, в числе которых крупнейшие университеты страны. Президент Консорциума – ректор Московского университета, академик В.А.Садовничий. Консорциум стал основным исполнителем проекта «Суперкомпьютерное образование» Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России, головной исполнитель проекта – Московский университет ([hpc-education.ru](http://hpc-education.ru)). В Московском университете сформирован Научно-образовательный центр «Суперкомпьютерные технологии», объединяющий представителей различных подразделений МГУ для эффективного использования потенциала суперкомпьютерных технологий в подготовке высококвалифицированных специалистов и поддержке фундаментальных научных исследований. Руководитель НОЦ «Суперкомпьютерные технологии» МГУ – В.А.Садовничий, заместители – декан факультета ВМК МГУ, академик Е.И.Моисеев и директор НИВЦ МГУ, профессор А.В.Тихонравов. НОЦ «Суперкомпьютерные технологии» МГУ стал головным в системе научно-образовательных центров, созданных в различных федеральных округах России в рамках проекта «Суперкомпьютерное образование», координируя их деятельность по распространению и развитию суперкомпьютерных технологий в различных регионах страны.

*МНОГИЕ, ОТ СТУДЕНТОВ ДО ПЕРВЫХ ЛИЦ ГОСУДАРСТВА ОТНОСЯТ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ К ЧИСЛУ ВАЖНЕЙШИХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СТРАНЫ*



## МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ

### А.М Попов

профессор кафедры автоматизации научных исследований, лауреат Ломоносовской премии

### ВВЕДЕНИЕ.

Суперкомпьютерные технологии – одно из важнейших направлений развития факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ. В данной статье рассказывается о том, как на факультете с применением суперкомпьютеров решаются математические задачи, необходимые для дальнейшего развития самих суперкомпьютеров.

Производительность компьютера пропорциональна количеству транзисторов на единице площади интегральной схемы. На процессорном чипе современного компьютера расположено до ста миллионов транзисторов, размещение намного большего числа транзисторов становится все более трудно. Самые совершенные технологии производства, использующие новые материалы, достигли своего пика. Критический элемент кремниевого транзистора, из-за которого нельзя сделать его намного меньше, — толщина изолирующего слоя оксида кремния между затвором и проводящим слоем. Несмотря на то что технологии производства изолирующего слоя оксида кремния совершенствуются и он становится тоньше, у него существует физический предел порядка 2 нм. В более тонких слоях начинаются неконтролируемые процессы туннелирования электронов и перегрева, которые нарушают работу вычислительной системы. Формирование интегральной схемы с меньшими размерами транзисторов невозможно на базе стандартной техники фотолитографии в силу квантовых законов. Для дальнейшего наращивания производительности микрочипов потребуется внедрение принципиально новых технологий.

Актуальность технологических исследований проводимых корпорациями, создающими суперкомпьютеры, обусловлена тем, что традиционная технология производства полупроводниковых приборов приблизилась к физическому пределу своих возможностей. Одним из вариантов решения проблемы теоретически может стать отказ от традиционных транзисторов в пользу молекулярных переключателей. Размеры будущего молекулярного транзистора будут на два порядка меньше самых миниатюрных кремниевых. Выигрыш в производительности может быть огромным, если уменьшить размер транзистора до молекулярных размеров порядка одного нанометра. Тогда на единице площади интегральной схемы поместится в миллион раз больше транзисторов. Более того, время отклика уменьшится до фемтосекунд (на шесть порядков) — а именно таково характеристическое время протекания элементарной стадии химической реакции, — то эффективность молекулярного компьютера может оказаться в 100 миллиардов раз выше, чем современного кремниевого. Для того чтобы использовать такую молекулу в качестве строительного блока более сложных молекулярных устройств, необходимо

глубокое понимание свойств таких молекулярных систем. Моделирование процессов такой высокой сложности на суперкомпьютерах с массовым параллелизмом способно предсказывать поведение сложных наносистем.

### 1. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ.

Создание молекулярных электронных устройств, которые можно переключать между состояниями с высоким и низким сопротивлением, является одним из важнейших направлений молекулярной электроники. Так как миниатюризация этих технологий продолжает развиваться, то фундаментальная проблема идентификации и понимания наименьших физических систем, которые способны к переключательному поведению, привлекает растущий интерес. Одиночные молекулы, несущие электрический ток между парой металлических электродов, могут быть использованы как электронные компоненты, такие как логические затворы, элементы памяти, транзисторы или переключатели. Суперкомпьютерное моделирование широко используется для моделирования молекулярных систем используемых в электронике. Таким образом, суперкомпьютерное моделирование новых технологических процессов и устройств становится необходимой частью создания новых технологий и совершенствования самих суперкомпьютеров.

Проводимые на факультете ВМК МГУ работы посвящены квантовомеханическому моделированию «из первых принципов» экспериментов по молекулярному переключению проводимости в молекуле нафтаलोцианина под действием тока сканирующего туннельного микроскопа (STM). Эксперименты проведены в 2007г. в научно-исследовательской лаборатории IBM в Цюрихе и работы по теоретическому исследованию наблюдаемых эффектов и оптимизация процесса переключения проводится на ВМК МГУ в сотрудничестве с этой лабораторией. Лаборатория является одной из ведущих в мире по созданию нанотехнологий. Для проведения эффективного исследования нами впервые разработана система визуализации для суперкомпьютеров, позволяющая анализировать результаты в реальном времени решения задачи.

В моделях из «первых принципов» предполагается, что молекулярная структура состоит из положительных ядер и отрицательных электронов, между которыми действуют кулоновские силы взаимодействия и в моделях отсутствуют какие-либо подгоночные параметры. Это позволяет изучать принципиальные механизмы эволюции молекулярной системы, происходящие химические реакции. Использование суперкомпьютера при моделировании многочастичной квантовой проблемы являются принципиальным.

Эксперименты показывают, что процесс молекулярной изомеризации может быть использован в рамках молекулы без изменения ее молекулярной геометрии. Бистабильность в позиции двух водородных атомов во внутренней области одиночной молекулы нафталоцианина представляет двухуровневую систему. Молекула состоит из атомов азота, углерода и водорода (рис.1(а,б)). Реакция водородной изомеризации состоит в том, что два атома водорода в центральной полости молекулы под действием внешнего потенциала, создаваемого STM, переходят от одних атомов азота к двум другим атомам азота. Такой процесс переключения эквивалентен повороту молекулы на 90 градусов в плоскости молекулы, причем ее геометрия во втором состоянии та же.

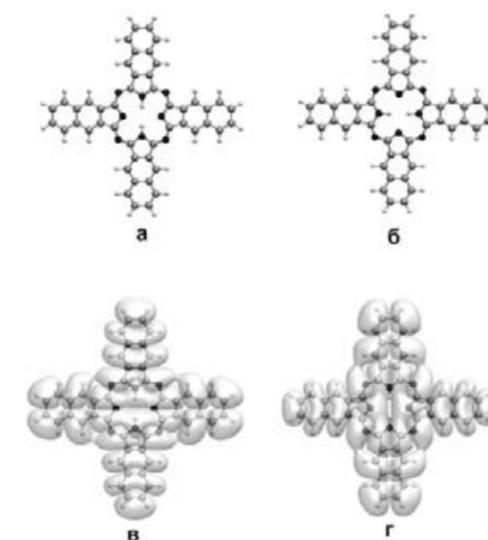


Рис. 1. Оптимизированная геометрия молекулы нафталоцианина на различных стадиях процесса метадинамики вычисленные с помощью кода CPMD:

а) начальная конфигурация молекулы нафталоцианина, б) конечная конфигурация, обладающая геометрией второго изомера, в) рассчитанная структура молекулярных орбиталей LUMO (нижняя незанятая молекулярная орбиталь) и г) орбитали LUMO+1.

Белые шары соответствуют ядрам водорода, черные - ядрам азота, серые - ядрам углерода.

Для компьютерного моделирования процесса изомеризации мы используем молекулярную динамику Кар-Парринелл. Этот метод реализован в численном квантовомеханическом коде молекулярной динамики «CPMD» (Car-Parinello Molecular Dynamics). Колебания всех ядер учитываются при нахождении пути химической реакции изомеризации. Основное внимание уделяется вычислению барьера на поверхности свободной энергии (FES), который необходимо преодолеть для прохождения реакции переключения. Нахождение пути реакции на рифленом ландшафте свободной энергии представляет важный шаг в понимании механизма реакции изомеризации. Поиск пути химической реакции представляет собой трудную задачу нахождения седловых точек в многомерном пространстве. Мы применяем метод Метадинамики для анализа поверхности свободной энергии Гиббса и нахождения энергетического барьера реакции, понимания механизма переключения.

Вычисления проводятся на суперкомпьютере IBM Blue Gene/P, установленном на факультете ВМК МГУ. В нано-размерных молекулярных системах могут содержаться тысячи ядер и электронов. Длительность расчета измеряется часами на суперкомпьютере, а для обычного компьютера сотнями лет. Таким образом, проведение таких исследований без использования суперкомпьютера было бы невозможным.

В проблемах переключателей молекулярного размера следует выделить несколько принципиальных задач, на которые направлены наши исследования. Это стабильность и оптимизация работы молекулярной системы. От установления физических механизмов, причин процесса переключения, напрямую зависит стоимость будущих технологий.

В реальных устройствах переключения должны быть реализованы на большой матрице молекулярного слоя на определенной кристаллической подложке. Поведение матрицы в целом может отличаться от переключения в отдельной свободной молекуле. Влияние подложки может отразиться в невозможности протекания процесса переключения. Стабильность работы такой системы является важной задачей и должна быть исследована. Эксперименты показывают, что переключение в одной молекуле могут привести к переключениям в другой в молекулярной матрице. Требуется найти причины таких нелокальных эффектов. Кроме того эффективность переключения зависит от места, над которым находится игла микроскопа даже в области одной молекулы.

## 2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЛОЖНОСТЬ КВАНТОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ПРИНЦИПАЛЬНАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.

Исследования проводятся на основе двух моделей и соответствующих им численных кодов. Первая подробная статистическая модель основана на коде CPMD и используется для нахождения термодинамического равновесия и профиля свободной энергии. Вторая модель, которая разработана нами, называется многомасштабной моделью и соединяет полученные на первом этапе профили свободной энергии и исследования устойчивости системы на основе возбужденных орбиталей.

При построении моделей молекулярной динамики из «первых принципов» исходят из уравнения Шредингера и кулоновского взаимодействия заряженных

частиц. Мы используем математическую модель молекулярной динамики Кар-Парринелло на основе приближения Борна-Оппенгеймера. В приближении Борна-Оппенгеймера считается, что движение массивных ядер может быть описано в классическом приближении. Силы, действующие на ядра со стороны электронов, рассчитываются на основе решения уравнения Шредингера для электронов в основном состоянии. Электронная структура получается для каждой молекулы решением стационарного уравнения Шредингера для каждого шага классической молекулярной динамики ядер. Мы используем квантовомеханическую формулировку, основанную на уравнениях функционала плотности («DFT»). Волновые функции – решения уравнений Шредингера представляются в виде разложения по плоским волнам.

Параллельные алгоритмы и программы для решения такой многочастичной квантовомеханической задачи становятся единственной возможностью их реализации на суперкомпьютерах. Компьютер, установленный на факультете ВМК МГУ имеет 2048 процессорных узлов, каждый из которых состоит из 4 ядер, с общей пиковой производительностью 27,8 терафлопс. Расчеты велись для систем, состоящих из 82, 130, 178 атомов. Один расчет для 82 атомов занимал 20 часов процессорного времени на 512 узлах, 97 часов для 130 атомов на 512 узлах, 94 часа для 178 атомов на 1024 узлах. В небольшой системе молекулярного переключателя, состоящей из 82 атомов, в расчете учитывалось 129 электронных орбиталей, 540000 плоских волн для каждой орбитали. Регулярные расчеты молекулярной динамики проводились с временным шагом EMBED Equation.3 = 0,1125 фс, пространственная сетка элементарной ячейки содержала 320x320x192 узлов.

Длительность расчета определяется не только количеством атомов, но и временем достижения термодинамического равновесия и процессом переключения.

## 3. ЧИСЛЕННАЯ ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОДА КВАНТОВОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ CPMD НА СУПЕР-ЭВМ IBM BLUE GENE/P.

Наиболее затратной в смысле времени вычислений является часть задачи связанная с параллельным расчетом электронной структуры молекулы. Уравнения Кона-Шэма (в теории функционала плотности) приводят к необходимости решения нелинейной задачи на собственные значения для волновых функций. Если QUOTE - число электронов в системе, тогда вычислительная сложность используемого алгоритма масштабируется как QUOTE. Для решения задачи используется прямое и обратное преобразование Фурье. Решение представляется в виде трехмерного ряда Фурье для каждого n-го электрона.

Для вычисления коэффициентов разложения используется трехмерный метод быстрого преобразования Фурье 3dFFT.

Несколько уровней распараллеливания определяют используемые параллельные стратегии. Крупноблочное распараллеливание используется на распределенной памяти. С помощью процедур MPI производится распределение коэффициентов Фурье волновых функций для всех электронных состояний на все процессоры. Используется 3dFFT для перехода в Фурье пространство и обратного перехода в реальное пространство. Распределение данных производится так, что

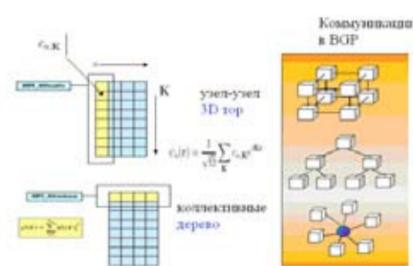


Рис.2. Стратегии распараллеливания в коде молекулярной динамики из первых принципов «CPMD».



**ЗДЕСЬ СЛИШКОМ МНОГО ТЕКСТА!!!!**

направлении координатной переменной приводит вытягиванию водородной связи и торсионных углов в начальном равновесии. Когда наступает переход через барьер, старые связи обрываются, и образуются новые связи. Этот процесс соответствует переключению молекулы. Были проведены численные эксперименты по поиску параметров, которые могли бы понизить барьер. Дополнительные ароматические кольца были добавлены к каждой руке молекулы, влияние подложки на процесс переключения, исследованы эффекты нелокальности на процесс.

Анализ структуры электронной плотности при переключении показывает роль возбужденных орбиталей в процессе переключения. На рис. 1г,д показана структура электронной плотности возбужденных орбиталей LUMO (низшая незанятая молекулярная орбиталь) и LUMO+1, объясняющая процесс молекулярного переключения. Компьютерная визуализация в реальном времени эволюции электронной плотности в процессе переключения представленная на рис.4 существенно помогает в анализе решений.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Представленное суперкомпьютерное моделирование «из первых принципов» молекулярного переключения на основе реакции изомеризации показывает необходимость создания мощных суперкомпьютеров следующего поколения. Показано, что многочастичная проблема квантовой молекулярной динамики, реализованная на петафлопных платформах, позволит рассматривать системы содержащие порядка 20000 атомов в течение времени порядка сотен пикосекунд. Прогресс в компьютерных технологиях предоставляет новые возможности в моделировании и предсказании физических свойств в наноэлектронике. Петафлопные компьютеры потребуют большого вклада в дизайн квантовомеханических кодов молекулярной динамики и растущих инвестиций в разработку новых кодов. Радикально новая архитектура кода должна быть разработана для того, чтобы взять все преимущества будущих платформ.

минимизируется число обменов с поддержанием загрузки в обоих пространствах. Для распараллеливания длинных циклов используется OMP распараллеливание с общей памятью на узле. Метод ``Taskgroups`` использует организацию процессоров в группы. Процессоры организованы как двумерная сетка. Такая схема требует в два раза меньше коммуникаций, чем обычная схема. Процессорные группы могут быть оптимально распределены по трехмерному тору межпроцессорных связей Blue Gene/P. Методы копирования используются для вычисления интегралов по траекториям в молекулярной динамике при квантовании ядер. Специальный метод параллельных многократных блужданий предложен в рамках Метадинамики. Отражение на архитектуру Blue Gene/P и использование встроенных процедур MPI показано на рис.2.

На Blue Gene/P в МГУ при моделировании молекулярных переключателей мы получили масштабирование системы из 100 атомов до 2000 процессоров с 70-ти процентной эффективностью и длительностью производственного цикла порядка 600 пс в неделю.

#### **4. СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ МЕТОДОМ МЕТАДИНАМИКИ**

Стохастический немарковский метод (метод метадинамики) в рамках молекулярной динамики позволяет нам найти профиль свободной энергии Гиббса (FES) вдоль координатной переменной и получить энергетический барьер реакции изомеризации.

Путь химической реакции обычно анализируется в терминах координатных переменных. Для изучения реакции водородной изомеризации, происходящей в молекуле нафталицианина, была предложена координатная переменная, которая принимает во внимание координаты двух атомов водорода и двух атомов азота в центральной полости молекулы (см. рис. 1,а). Целью метода метадинамики является эффективный анализ поверхности свободной энергии EMBED Equation.3 как функции EMBED Equation.3 (длины связей и торсионных углов). В систему динамических уравнений добавляется зависящий от времени искусственный потенциал EMBED Equation.3, который добавляется в систему вдоль траектории в некоторые моменты времени EMBED Equation.3. Этот потенциал есть сумма отталкивающихся потенциальных холмов в форме Гауссианов, каждый из которых имеет высоту EMBED Equation.3. Потенциал вынуждает систему посещать те точки в конфигурационном пространстве, которые соответствуют яме реагента. Метадинамика искусственной частицы и сопутствующий искусственный потенциал добавляет холмы в состояние реагента до тех пор, пока не скомпенсирует первую яму свободной энергии так, что теперь система может найти низшее переходное состояние к следующему локальному минимуму (продукту реакции). В результате профиль EMBED Equation.3 может быть получен с произвольной точностью как взятый с обратным знаком потенциал EMBED Equation.3.

Найденный нами профиль поверхности свободной энергии вдоль координатной переменной для молекулы нафталицианина показан на рис. 3. Полученная высота барьера равна 52 кДж/моль с точностью вычислений, равной 1 кДж/моль. Видно, что зависимость свободной энергии имеет два основных минимума и соответствует двум состояниям переключения. Влияние силы в

## **ДОСТИЖЕНИЯ КАФЕДР И ЛАБОРАТОРИЙ**

### **КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ**

#### **СЛОЖНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

*(проф. В.Б. Алексеев, проф. А.А. Вороненко, доц. С.Н. Селезнева)*

На кафедре математической кибернетики изучается сложность решения задач в различных моделях вычислений. В рамках этой тематики разрабатываются быстрые алгоритмы решения задач, исследуется их сложность. Полученные результаты можно применять в таких приложениях, как обработка данных, защита информации, программирование.

Наряду с широко известными принципами построения эффективных алгоритмов, такими как «разделяй и властвуй», «динамическое программирование» и др., на кафедре разрабатываются новые. В.Б. Алексеевым развивается перспективная алгебраическая модель построения алгоритмов, опирающаяся на принцип «расширения модели», ведется сотрудничество с Маркусом Блейзером (Markus Bläser, Германия), работающим в области алгебраической сложности. На основе этой модели В.Б. Алексеевым получены линейные или почти линейные оценки сложности решения задач распознавания свойств дискретных функций. А.А. Вороненко найден алгоритм распознавания монотонности булевых функций с почти линейной оценкой сложности, также построен фрагмент теории тестирования булевых функций. С.Н. Селезневой найдены быстрые алгоритмы распознавания свойств многозначных функций.

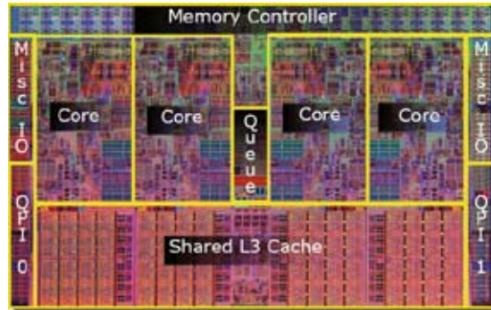
В 2010-11 гг. проводимые исследования были поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований и Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

#### **ДИСКРЕТНЫЕ МОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ ИНФОРМАТИКИ**

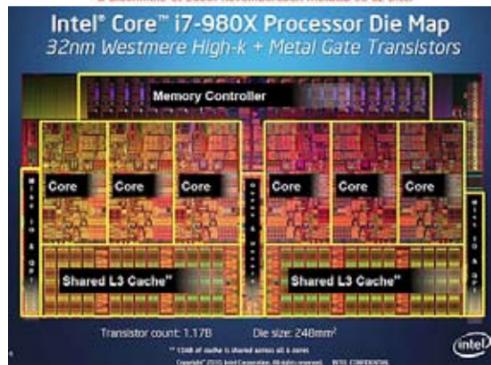
*(проф. В.Б. Алексеев, проф. А.А. Вороненко, проф. С.С. Марченков, проф. А.А. Сапоженко, доц. С.Н. Селезнева, к.ф.-м.н. А.Б. Дайняк, А.С. Нагорный)*

На кафедре математической кибернетики разрабатываются и развиваются дискретные модели в применении к задачам информатики. В рамках этой тематики рассматриваются модели, основанные на булевых, многозначных, автоматных функциях, графовых структурах. Полученные результаты можно применять в таких приложениях, как обработка, хранение и сжатие данных, распознавание образов, защита информации, программирование.

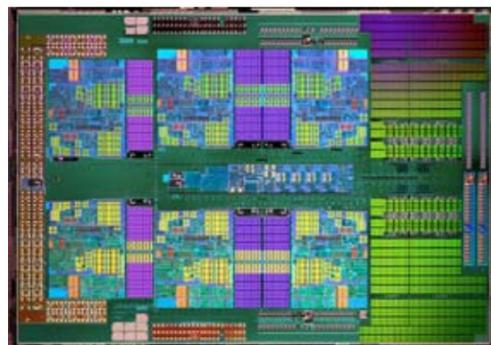
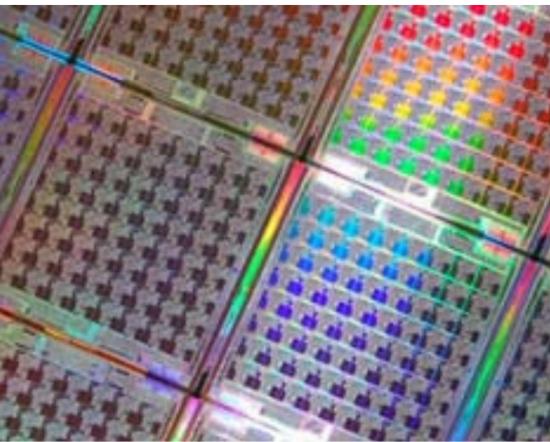
В.Б. Алексеевым, А.А. Вороненко, С.С. Марченковым, А.С. Нагорным получены существенные результаты о строении решеток классов различных дискретных функций. В частности, найдено описание значимых фрагментов континуальных решеток этих классов. А.А. Сапоженко, А.А. Дайняком разрабатываются



Az első integrált memóriavezérlőt tartalmazó processzor, a Bloomfield-et 2008. novemberében mutatta be az Intel



Transistor count: 1.17B Die size: 248mm<sup>2</sup>



комбинаторный и графовый подходы к решению задач информатики. На основе этих подходов А.А. Сапоженко установлены принципиальные результаты о количествах комбинаторных объектов определенного вида. Среди них асимптотически точные оценки числа антицепей в унимодальных частично упорядоченных множествах, а также числа множеств, свободных от сумм. С.Н. Селезневой развивается алгебраический подход к задачам информатики с применением полиномиальных заданий дискретных функций. В рамках этого подхода получены оценки сложности задания дискретных функций в различных классах полиномиальных форм.

В 2010-11 гг. проводимые исследования были поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований и Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

### ТЕОРИЯ СИНТЕЗА, НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ ДИСКРЕТНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СБИС

(проф. С. А. Ложкин, проф. А. М. Марченко, доц. Д. С. Романов, м.н.с. М.С.Шуплецов)

На кафедре математической кибернетики изучаются различные вопросы теории синтеза, надёжности и контроля дискретных управляющих систем, исследуются возможности и способы применения научных результатов, полученных в данной области, при решении ряда задач проектирования современных сверхбольших интегральных схем (СБИС) и, в частности, СБИС наноуровня.

Значительная часть исследований по теории синтеза и сложности схем ведется в рамках традиционного для отечественной школы математической кибернетики. На кафедре математической кибернетики изучается сложность решения задач в различных моделях вычислений. В рамках этой тематики разрабатываются быстрые алгоритмы решения задач, исследуется их сложность. Полученные результаты можно применять в таких приложениях, как обработка данных, защита информации, программирование.

Наряду широко известными принципами построения эффективных алгоритмов, такими как «разделяй и властвуй», «динамическое программирование» и др., на кафедре разрабатываются новые. В.Б. Алексеевым развивается перспективная алгебраическая модель построения алгоритмов, опирающаяся на принцип «расширения модели», ведется сотрудничество с Маркусом Блейзером (Markus Bläser, Германия), работающим в области алгебраической сложности. На основе этой модели В.Б. Алексеевым получены линейные или почти линейные оценки сложности решения задач распознавания свойств дискретных функций. А.А. Вороненко найден алгоритм распознавания монотонности булевых функций с почти линейной оценкой сложности, также построен фрагмент теории тестирования булевых функций. С.Н. Селезневой найдены быстрые алгоритмы распознавания свойств многозначных функций.

В 2010-11 гг. проводимые исследования были поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований и Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

### ТЕОРИЯ СИНТЕЗА, НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ ДИСКРЕТНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СБИС

(проф. С. А. Ложкин, проф. А. М. Марченко, доц. Д. С. Романов, м.н.с. М.С.Шуплецов)

На кафедре математической кибернетики изучаются различные вопросы теории синтеза, надёжности и контроля дискретных управляющих систем, исследуются возможности и способы применения научных результатов, полученных в данной области, при решении ряда задач проектирования современных сверхбольших интегральных схем (СБИС) и, в частности, СБИС наноуровня.

Значительная часть исследований по теории синтеза и сложности схем ведется в рамках традиционного для отечественной школы математической кибернетики асимптотического подхода, предложенного в работах К. Шеннона, О.Б.Лупанова, С.В.Яблонского. В этой области интенсивно развивается созданное С.А.Ложкиным новое направление, которое связано с разработкой методов синтеза, позволяющих получать асимптотические оценки высокой степени точности для сложности реализации «типичной» или самой «сложной» функции в различных классах систем. Указанные оценки установлены как для многих рассматривавшихся ранее моделей дискретных управляющих систем, так и для некоторых новых классов схем таких, например, как предикатные схемы (М.С.Шуплецов).

С.А.Ложкиным и его учениками получен также целый ряд результатов по исследованию сложности и структуры оптимальных схем для функций, встречающихся в приложениях (линейные функции, мультиплексорная функция и др.)

Как при реализации самых «сложных» функций, так и в области «индивидуального» синтеза изучаются различные модели «вложения» схем в те или иные «геометрические» структуры (плоские прямоугольные решетки, единичные кубы и др.), разрабатываются эффективные методы построения и оптимизации таких вложений. С.А.Ложкиным и его учениками получены, в частности, существенные результаты о сложности клеточных схем, которые являются «грубой» топологической моделью СБИС, о вложении двоичных и троичных деревьев в плоские прямоугольные решетки, о построении в единичных кубах с частично раскрашенными вершинами систем так называемых одноцветных связывающих поддеревьев и др.

Теория надежности и контроля схем являются важной и быстро развивающейся областью математической кибернетики. Д.С.Романов и его ученики ведут исследования в данной области, разрабатывают методы построения тестов различных типов, получают верхние и нижние оценки их длины. В результате этих исследований предложен, в частности, метод мультиразбиений, позволяющий получать «хорошие» тесты для блочных периодических контактных схем, созданы методы построения проверяющих и диагностических тестов для локальных кратных слияний входов схемы и др.

Научно-исследовательская работа по математическим проблемам автоматизации синтеза СБИС проводится на кафедре под руководством А.М.Марченко, который является руководителем научно-исследовательского

подразделения фирмы Нангейт — мирового лидера в области разработки средств автоматизированного проектирования библиотечных элементов нанометрового диапазона и официальным экспертом госкорпорации Роснано, с участием представителей ряда внешних организаций таких, как компаний Интел ([www.intel.com](http://www.intel.com)), Нангейт ([www.nangate.com](http://www.nangate.com)) и др.

Проводимые исследования направлены на создание методов автоматизации проектирования топологии СБИС, синтеза библиотечных элементов, верификации схем и др. Основные задачи, которые необходимо при этом решать, относятся к классу NP-полных задач, то есть являются алгоритмически сложными. Для их решения используются разные методы теории алгоритмов, теории графов, вычислительной геометрии, линейного, нелинейного и целочисленного программирования.

С 2009 года на кафедре функционирует магистерская программа «Математические модели и методы проектирования СБИС» ([master.cmc.msu.ru](http://master.cmc.msu.ru)), которая предназначена для подготовки магистров в области математического и программного обеспечения систем автоматизации проектирования. Основными математическими разделами той части программы, которая определяет ее специализацию, являются: структурная теория схем, сложность комбинаторных алгоритмов, математические модели EDA, теория графов и комбинаторика, языки описания схем и проблемы верификации, теория надежности и контроля схем и др. Во время обучения по данной программе студенты овладевают также современными средствами автоматизации проектирования ведущих фирм (Cadence, Synopsys и др.), получают необходимые для практической работы навыки. При выполнении квалификационных работ студентам предоставляется возможность проходить практику в фирмах Интел и Нангейт.

Около 10 выпускников кафедры, которые специализировались в области теории управляющих систем и методов синтеза СБИС, работают в настоящее время в ряде фирм, связанных с проектированием СБИС (Интел – 1, Нангейт – 3, LSI Logic – 2, Cadance – 1 и др.).

### РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММ

(проф. Р.И. Подловченко, доц. В.А. Захаров)

Одной из центральных задач математической кибернетики является задача анализа поведения сложных информационных систем (микроэлектронных схем, компьютерных программ, сетевых протоколов и др.). Для решения этой задачи применяются математические модели и методы теории автоматов и формальных языков, алгебры, математической логики, теории булевых функций. Разработанные модели и методы применяются, в частности, для решения задачи верификации программ – проверки того, что вычисления программы удовлетворяют заданным требованиям, предъявляемым к ее поведению. Сотрудники кафедры математической кибернетики внесли существенный вклад в исследование этой задачи. Для решения проблем эквивалентности и эквивалентных преобразований программ была разработана и развита теория алгебраических моделей программ, на основе которой были созданы эффективные алгоритмы проверки эквивалентности программ и полные системы эквивалентных преобразований

программ. В тесном сотрудничестве с лабораторией вычислительных комплексов факультета ВМК и Институтом системного программирования РАН проводятся исследования в области обфускации (маскировки) программ, а также в области верификации распределенных программ и встроенных систем.

В 2010-11 гг. проводимые исследования были поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований и Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

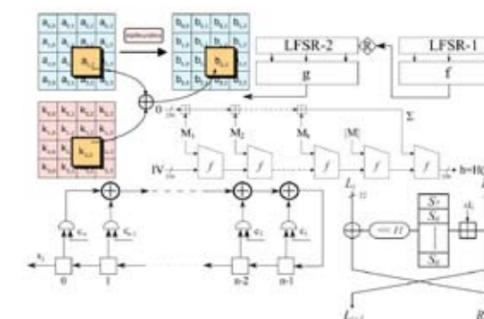
### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

(доц. Э.А. Применко, доц. Г.А. Карпунин, к.ф.-м.н. М.Л. Буряков, к.ф.-м.н. И.В. Чижов)

На кафедре математической кибернетики ведется научно-исследовательская работа по математическим проблемам защиты информации. Научные исследования проводятся под руководством как сотрудников факультета, так и представителей внешних организаций – Института Проблем Информационной Безопасности МГУ имени М.В. Ломоносова, Федеральной Службы Безопасности РФ, Научно-Исследовательского Вычислительного Центра МГУ имени М.В. Ломоносова, Ассоциации Защиты Информации.

Получен ряд значимых научных результатов, относящихся к свойствам криптосистем с открытым ключом (структурные свойства и новые оценки мощности ключевого пространства криптосистемы Мак-Элиса–Сидельникова), свойствам криптографических хэш-функций (найжены наилучшие параметры хэш-функции MD4 в рамках методов дифференциального криптоанализа), криптографическим свойствам булевых функций (свойства уровня аффинности булевых функций, свойства совершенно уравновешенных булевых функций, методы построения аннигиляторов низкой степени для булевых функций), методам криптографического анализа (построение атак на фильтрующие генераторы с функциями, близкими к алгебраически вырожденным, свойства методов логического криптоанализа, построение алгоритмов решения систем нелинейных булевых уравнений), символической динамике и p-адическому анализу (построение не допускающих локального обращения эндоморфизмов динамических s-систем, разработка потоковых криптосистем с использованием методов p-адического анализа).

С 2004 года на кафедре функционирует магистерская программа «Математическое и программное обеспечение защиты информации». Программа предназначена для подготовки магистров в области математического и программного обеспечения защиты информации в компьютерных системах. Основными разделами программы являются: теоретические основы компьютерной безопасности; математические основы криптографии; криптографические протоколы; аппаратно-программные методы и средства защиты информации; системы электронных платежей. Во время обучения по данной программе студенты овладевают также современными программно-аппаратными средствами защиты информации





и необходимыми для работы практическими навыками. Используется опыт ведущих отечественных научно-исследовательских и производственных организаций, разрабатывающих системы защиты информации.

#### КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Наряду с фундаментальными направлениями теории вероятностей и математической статистики такими, как теория предельных теорем, характеристические задачи, исследование асимптотических свойств статистических критериев, на кафедре активно ведутся исследования, результаты которых имеют непосредственное и важное практическое значение. В частности, на кафедре получены первоклассные результаты в области теории массового обслуживания, теории надежности, стохастической томографии. Некоторые результаты, имеющие важное прикладное значение, будут описаны подробнее.

#### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ РИСКА И ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

*(руководители: академик РАН Ю. В. Прохоров, профессор В. Ю. Королев, профессор В. Е. Бенинг)*

Традиционные рекомендации по применению математических методов для оценки риска или анализа надежности информационных или технических систем, в том числе закрепленные в действующих стандартах, базируются на классических методах теории риска и теории надежности, которые ориентированы на их реализацию в идеальных ситуациях. Это, к сожалению, на практике приводит к недооценке риска экстремальных событий (например, экономических, финансовых, экологических или техногенных катастроф) или отказов технических или информационных систем и к недооценке величины соответствующего возможного ущерба. При этом оценки надежности технических или информационных систем наоборот, ошибочно завышаются. Дело в том, что классические методы разработаны для их применения в тех ситуациях, когда анализируемая система воспринимается как замкнутая, то есть функционирующая в определенном смысле изолированно от внешней среды. Для исследования риска и надежности в ситуациях, когда анализируемая система функционирует в нестационарно изменяющейся среде, предложены новые рандомизированные модели и методы. Их смысл в том, что при статистическом анализе рискованных ситуаций и надежности сложных систем в силу открытости (незамкнутости) анализируемых объектов помимо самих статистических данных случайными следует считать также объем выборки и (или) параметры распределений рассматриваемых характеристик.

Важное место в этих исследованиях занимает асимптотический подход, основанный на предельных теоремах теории вероятностей. В рамках этого подхода удалось получить новые более гибкие математические модели рискованных ситуаций. Подобные результаты чрезвычайно важны при решении задач анализа риска в условиях стохастической неопределенности. Описаны аналитические механизмы возникновения таких моделей. Показано, что такими механизмами являются предельные переходы для статистик, построенных по

выборкам случайного объема, и сумм случайного числа случайных слагаемых. Они успешно объясняют отклонения реально наблюдаемых (эмпирических) распределений от классических моделей (в частности, дают убедительное объяснение эффекта возникновения так называемых «тяжелых хвостов», заключающегося в том, что на практике большие значения наблюдаемых характеристик встречаются намного чаще, чем предписывают классические модели).

Разработаны адекватные математические модели, позволяющие успешно оценивать риски, связанные с неоднородными потоками экстремальных событий. В частности, создана асимптотическая теория обобщенных процессов риска, описывающих динамику резерва страховых компаний. Разработаны конкретные процедуры для вычисления вероятностных характеристик катастроф, в частности, прогнозов «ожидаемого времени» катастрофы и продолжительности периода, в течение которого вероятность катастроф пренебрежимо мала. В частности, разработанные методы успешно применены к прогнозированию вероятностей катастрофических столкновений Земли с потенциально опасными астероидами, кометами и другими небесными телами. Это позволило аналитически и статистически доказать утверждение, известное в палеобиологии как «гипотеза Шивы», согласно которому в среднем один раз в 25 миллионов лет номенклатура биологических видов, населяющих Землю, радикально обновляется.

Также разработана математическая теория надежности модифицируемых информационных систем, вбирающая в себя вероятностно-статистические методы анализа надежности программного обеспечения. Созданы новые уникальные методы оценивания и прогнозирования надежности программного обеспечения на базе новых нетрадиционных методов математической статистики, уникальность которых заключается в том, что оцениваемые параметры изначально зависят от объема выборки, что делает невозможным применение классических методов математической статистики.

Цикл работ Ю. В. Прохорова, В. Ю. Королева и В. Е. Бенинга по аналитическим методам теории риска в 2005 отмечен Ломоносовской премией МГУ.

Исследования в данном направлении ведутся в тесном контакте с Институтом проблем информатики РАН.

#### Литература:

В.Ю. Королев, В.Е. Бенинг, С.Я. Шоргин. *Математические основы теории риска. 2-е издание, переработанное и дополненное.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011, 620 с.

В.Ю. Королев, И.А. Соколов. *Математические модели неоднородных потоков экстремальных событий.* – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2008, 192 с.

В.Е. Бенинг, В.Ю. Королев, И.А. Соколов, С.Я. Шоргин. *Рандомизированные модели и методы теории надежности информационных и технических систем.* – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007, 256 с.

В.Ю. Королев, И.А. Соколов. *Основы математической теории надежности модифицируемых систем.* – М.: Изд-во ИПИРАН, 2006, 108 с.

V.Bening, V. Korolev. *Generalized Poisson Models and their Application in Insurance and Finance.* – Utrecht: VSP, 2002, xix + 434 pp.

## МЕТОДЫ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(руководитель: профессор В. Ю. Королев)

Взрывоподобное развитие производительности высокопроизводительных вычислительных систем выдвигает на первый план фундаментальную проблему создания новых математических и алгоритмических методов для решения задач математического моделирования и оптимизации, применимых к объектам большой сложности, – методов, которые ранее не могли быть разработаны из-за отсутствия соответствующей вычислительной техники. Одним из перспективных направлений в этой части является развитие новейших методов и технологий исследования случайных процессов, описывающих информационные потоки в сложных системах.

Среди математических моделей, описывающих информационные потоки и другие процессы в сложных информационных системах (например, процессы, описывающие динамику финансовых индексов или плазменной турбулентности) важное место занимают подчиненные винеровские процессы (процессы броуновского движения со случайным временем), образующие широкий и удобный класс математических моделей стохастических хаотических процессов. В качестве дополнительных аргументов в пользу указанных моделей предложены предельные теоремы для обобщенных дважды стохастических пуассоновских процессов, которые являются в определенном смысле наилучшими математическими моделями неоднородных и даже нестационарных хаотических потоков на временных микромасштабах. Такой подход дает возможность получить не только сами формальные вероятностные модели хаотических стохастических процессов, но и в некотором смысле дать разумное теоретическое объяснение их адекватности на основе минимальных предположений о внутренней структуре изучаемых характеристик. В рамках предложенного подхода удастся дать удобное определение волатильности хаотического процесса, допускающее многомерную интерпретацию, и установить тесную взаимосвязь трендов и волатильностей реальных процессов, например, процессов эволюции финансовых индексов и процессов плазменной турбулентности. Для статистического анализа хаотических случайных процессов предложен квази-непараметрический метод скользящего разделения смесей, который позволяет спонтанно разложить волатильность рассматриваемого процесса на объективно существующие динамическую и диффузионные компоненты. Показано, что, подобно тому, как с помощью призмы можно разложить белый свет на составляющие его цвета радуги, с помощью этого метода наблюдаемый интегральный индекс, характеризующий состояние изучаемой сложной системы, можно в определенном смысле разложить на составляющие его компоненты, то есть выявить его внутреннюю стохастическую структуру.

В силу большого количества настраиваемых параметров, огромного объема исходной информации и большой алгоритмической сложности решаемых задач численная реализация СРС-метода представляет собой очень сложную проблему. Разработаны принципиально новые эффективные статистические алгоритмы решения многопараметрических задач, в частности, так называемые

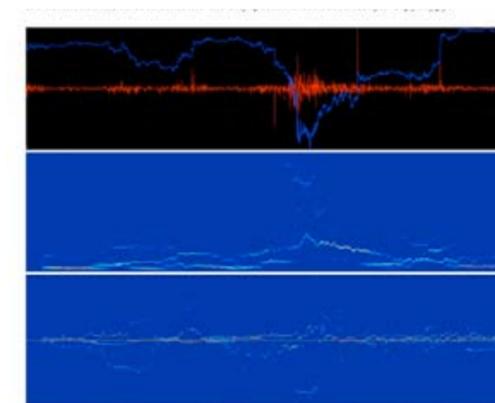


Рис.1. Пример декомпозиции волатильности индекса XETRA DAX: «эхо» взрывов в лондонском метро. Вверху: индекс XETRA DAX (синий) и его приращения (красный); в середине: портрет диффузионного спектра волатильности, полученный СРС-методом; внизу: портрет динамических компонент волатильности, полученный СРС-методом.

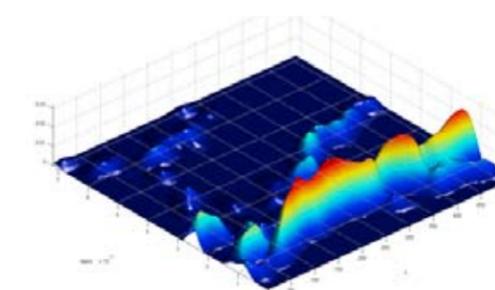


Рис. 2. Трехмерный «портрет» волатильности индекса XETRA DAX.

«сеточные методы» разделения смесей вероятностных распределений, позволяющие решать задачу декомпозиции волатильности хаотических процессов в режиме реального времени.

Разработанные методы успешно применены к анализу стохастической структуры некоторых конкретных сложных систем, в частности, плазменной турбулентности и информационных потоков в сложных телекоммуникационных и вычислительных системах.

Исследования в этом направлении ведутся в тесном сотрудничестве с Институтом общей физики и Институтом проблем информатики РАН.

#### Литература:

*В.Ю. Королев. Вероятностно-статистические методы декомпозиции волатильности хаотических процессов. – М.: Изд-во Московского университета, 2011, 510 с.*

*V. Korolev, N. Skvortsova (Eds.). Stochastic Models of Structural Plasma Turbulence. – Utrecht: VSP, 2006, ix + 400 pp.*

#### ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

*(руководитель: член-корреспондент Академии криптографии профессор А. А. Грушо)*

По мере проникновения компьютерных и компьютеризированных систем во все сферы человеческой деятельности актуальность проблем компьютерной безопасности и защиты компьютерных систем становится все более актуальной. Очень важно понимать, что такое защищенность компьютерной системы и на чем должна быть основана уверенность, что требуемая защищенность имеется. Исторический опыт показывает, что формализацию как определения защищенности, так и обоснования защищенности следует искать математическими методами и в рамках математических моделей.

В рамках исследований, проводимых на кафедре под руководством профессора А. А. Грушо, разработаны математические методы анализа защищенности распределенных компьютерных систем. Впервые в России построены примеры доказуемо защищенных компьютерных систем. Получены существенные результаты в области разработки методов контроля информационных потоков в компьютерных системах. Впервые проведены исследования свойств скрытых от контроля информационных потоков в распределенных компьютерных системах. Доказана возможность скрытой передачи информации через такие сильные средства защиты как межсетевые экраны и криптография. Эти результаты нашли практическое подтверждение. С помощью доказательства утверждений о не существовании состоятельных последовательностей статистических критериев для выявления признаков искомого канала удалось доказать «невидимость» некоторых информационных потоков. Используемые методы являются новыми в математической статистике.

#### МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ

*(руководитель профессор В.В. Ульянов)*

Традиционные методы многомерной статистики основаны на приближениях, предполагающих значительный объем исходных данных. Однако с ростом размерности данных точность приближений значительно ухудшается. Вместе с тем сложные стохастические системы с большим или теоретически бесконечным числом характеристик возникают во все увеличивающемся числе приложений, в частности при анализе финансовых рынков и деятельности финансовых организаций, в социологии, генетике, биологии и математической физике. Тем самым возникает настоятельная потребность в пересмотре классических подходов в многомерной статистике с целью создания нового инструментария для решения прикладных задач с данными высокой размерности.

Другим важным аспектом является вопрос об оценке точности приближений для возникающих многомерных статистик. Как правило, ограничиваются качественными характеристиками аппроксимации, то есть указывается, что распределения статистик при определенных условиях можно приближенно считать принадлежащими известному классу распределений, например, нормальных, хи-квадрат или F-распределений. В лучшем случае приводится порядок такой аппроксимации в терминах объема выборки. Однако такой информации в действительности недостаточно, так как в прикладных стохастических моделях мы имеем дело не с бесконечными величинами, а с вполне конкретными конечными значениями размерности наблюдений и объема выборки. Поэтому желательно иметь вычислимые оценки погрешностей предлагаемых приближений.

В многомерной статистике также важно уметь решать задачу по уменьшению числа исходных переменных, по выделению так называемых главных компонент с тем, чтобы сделать статистические выводы обозримыми и их интерпретацию более простой и эффективной. Один из подходов – применение деревьев решений, с помощью которых можно анализировать данные разной природы: и числовые, и порядковые, и номинальные, а также данные с пропущенными значениями, что важно для приложений. Тем не менее, для наблюдений высокой размерности лучше использовать не отдельные деревья решений, а случайные леса – прием, получивший развитие лишь в последние годы.

Результаты, полученные в указанных направлениях исследований, включены в монографию В.В. Ульянова, Я.Фуджиоши и Р.Шимицу «Multivariate Statistics: High-Dimensional and Large-Sample Approximations», опубликованную в издательстве John Wiley & Sons, Inc. в 2010 г., первую книгу, в которой рассматриваются различные подходы для анализа данных большой размерности, когда размерность данных сравнима с объемом выборки.

## ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

(руководители к.ф.-м.н О.В. Шестаков и к.ф.-м.н. Т.В. Захарова)

На кафедре также ведутся исследования в новом научном направлении, посвященном задачам обработки и анализа изображений статистическими методами, в которых используются методы вейвлет-анализа. Это сравнительно новая область прикладной математики, получившая признание в научных кругах. Данная работа проводится в тесном сотрудничестве с Научно-исследовательским институтом механики МГУ, ФГУ «Российский центр судебно-медицинской экспертизы» и Институтом космических исследований РАН.

В современном мире применение вейвлетов многообразно. Во многих областях физики, техники, промышленности – везде, где используется обработка сигналов и изображений, велика значимость вейвлет-анализа. Классическое применение вейвлетов – сжатие (компрессия) данных и удаление шума, – дополнено использованием в таких предметных областях как медицина, метеорология, связь, прогнозирование и анализ финансовых рынков.

Вейвлеты и вейвлет-преобразования – это новый способ обработки и исследования сигналов, теория которого разработана относительно недавно благодаря появлению быстродействующих компьютеров, так как требует большого объема вычислений. Условно вейвлет-преобразование можно считать трехмерным спектром, где по оси X откладывается время, по оси Y – частота, а по оси Z – амплитуда гармоники с данной частотой в данный момент времени. Обычно на двумерной плоскости ось Z отображают в виде градаций серого цвета. При этом черный цвет – минимальная амплитуда, а белый – максимальная. Значимые изменения сигнала отображаются белым цветом.

На рисунке 3 приведен пример сигнала ЭКГ человека и его вейвлет-преобразование. С помощью вейвлет-преобразования ЭКГ можно построить так называемую ритмограмму, используемую для диагностики различных сердечных заболеваний. На кафедре разработан уникальный метод удаления из ритмограммы эктопических импульсов, затрудняющих ее спектральный анализ.

Методы вейвлет-анализа оказались очень полезны для решения некоторых задач вычислительной томографии. В частности, с помощью этих методов можно частично локализовать задачу реконструкции томографического изображения, что позволяет снизить дозу облучения, необходимую для сбора проекций. Кроме того, пороговая обработка вейвлет-коэффициентов позволяет осуществлять нелинейную регуляризацию метода реконструкции и очищать восстанавливаемое изображение от шума. Разработанные на кафедре методы анализа риска пороговой обработки дают возможность количественно оценивать погрешности в томографических изображениях. Кратномасштабный вейвлет-анализ применяется для исследования явлений атмосферной турбулентности, которая характеризуется локализованными событиями. На рисунке 4 приведены теневое изображение турбулентной струи и

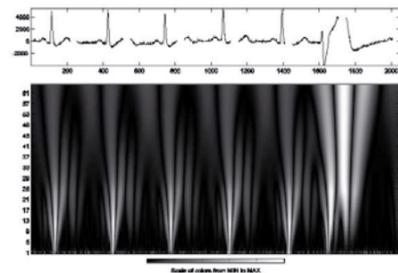


Рис. 3. Сигнал ЭКГ и его вейвлет-преобразование

коэффициенты вейвлет-преобразования для двух различных пространственных масштабов. Вейвлет-обработка экспериментальных данных позволяет количественно оценить поведение турбулентных потоков на разных масштабах.

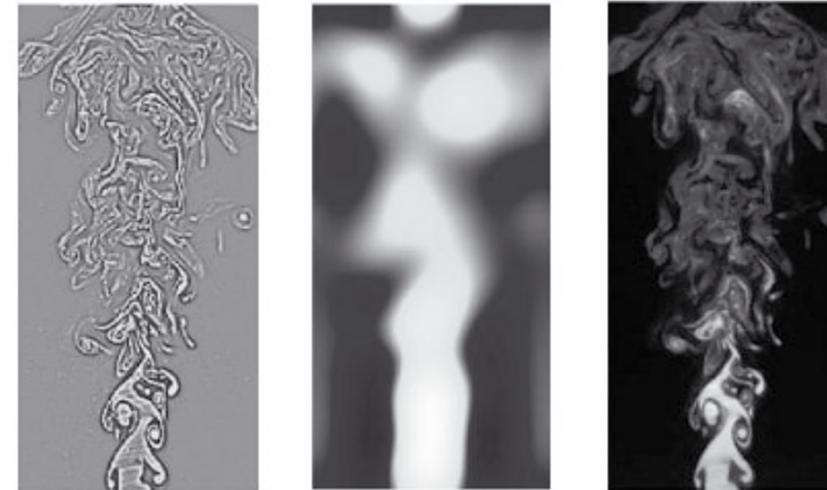


Рис. 4. Турбулентная струя и ее вейвлет-преобразование на разных масштабах

Также была проведена обработка аэродинамических снимков тел обтекания. При этом проведен не только качественный, но и количественный анализ снимка. Решена задача восстановления цветности цветных теневых картин эксперимента, в результате чего удалось провести высокоточные расчеты плотности аэродинамического потока.

На кафедре ведутся работы, связанные с еще одним интересным приложением вейвлет-обработки – анализом космических снимков водной поверхности Земли. Разработан метод, позволяющий выявить тонкие связи и закономерности в поле водяного пара Земли, что позволило локализовать зоны однородности и существенно уточнить границы поля. Впервые была построена так называемая частотная карта водной поверхности, которая может служить новым инструментом при прогнозировании определенных атмосферных явлений, в частности, тропических циклонов.

Отделом «Исследование Земли из космоса» Института космических исследований РАН отмечено, что предложенный метод обработки является уникальным для задач геофизики и не имеет аналогов в мировой практике.

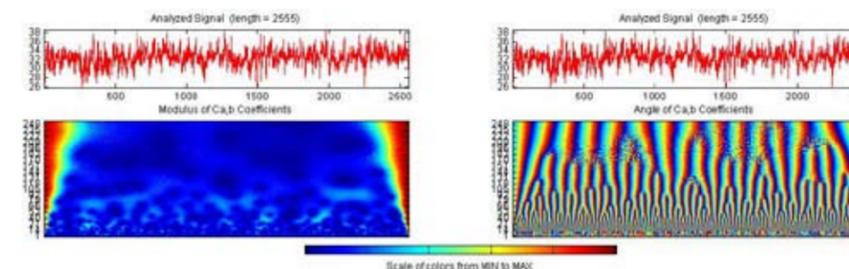


Рис. 8. Пример декомпозиции временного ряда значений плотности водяного пара

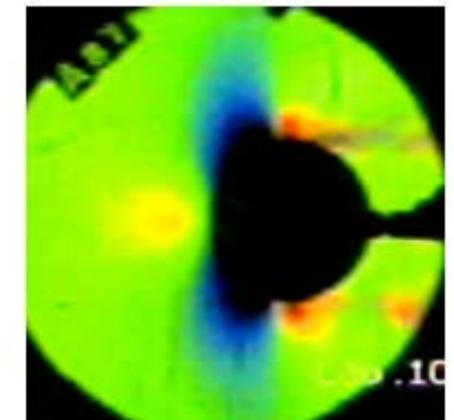


Рис. 5. Цветная теневая картина обтекания аэродинамического потока

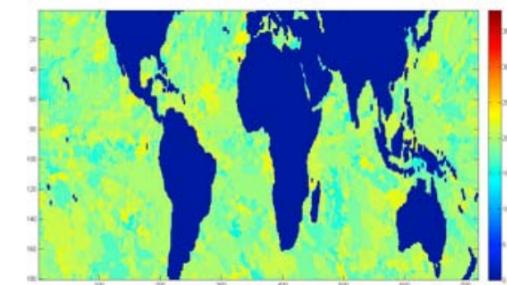


Рис. 6. Карта частот водяного пара Земли

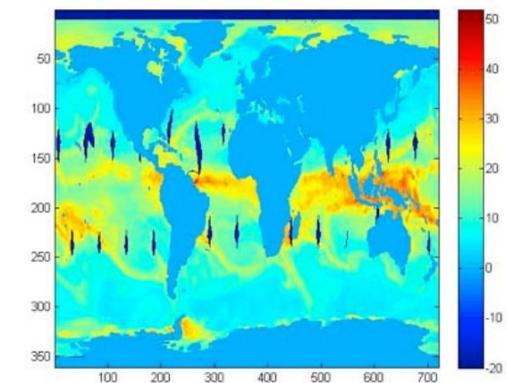


Рис. 7. Поле водяного пара на Земле 01.01.1999 г.

## КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Известно, что математика — язык естествознания. Но не только. Опираясь на непрерывно развивающиеся компьютерные средства, она является и языком высоких технологий, порождающих поток новых оригинальных теоретических вопросов и вычислительных задач. Она также служит языком исследований в области биологии, экономики и финансов, природоведения и многих других областях.

На кафедре системного анализа ведется активная научная работа, в которой рассматриваются математические модели, отражающие современные киберфизические системы, вместе с соответствующей информационной средой. Изучаемые задачи мотивированы новыми проблемами автоматизации и управления движением, в том числе групповым, вопросами повышения надежности и безопасности систем управления, проблемами дистанционного управления, использованием компьютерных сетей. Результаты исследований находят применение в навигации, мехатронике, при решении назревших промышленных, транспортных и энергетических задач, проблем управления ресурсами и окружающей среды. Наряду с этим, рассматриваются актуальные задачи математического анализа, моделирования, управления и оптимизации экономико-финансовых систем и медико-биологических процессов.

Проводимые исследования нацелены на разработку методов решения упомянутых задач, опирающихся на совершенствование существующих и разработку новых математических средств. Их реализация предусматривает среду, позволяющую организовать процесс принятия решений на основе эффективных вычислительных методов и передовых информационно-компьютерных технологий.

Обучение на кафедре проходит по следующей схеме. Основой учебных математических курсов, начиная с третьего года обучения, являются теоретические разделы в области нелинейного, в том числе, многозначного анализа, проблем нелинейной динамики и методов динамической оптимизации, теории процессов управления и вариационных принципов естествознания, дополнительных разделов теории дифференциальных уравнений в частных производных, стохастического анализа и теории риска. На их основе строятся курсы математических моделей системного анализа в сфере управления движением, экономики и финансов, биомедицинских процессов и проблем окружающей среды. Изучение прикладных задач сопровождается компьютерным практикумом с целью приобретения знаний в области классических и новых методов вычислений и разработки современного программного обеспечения, включая применение параллельных вычислений.

В 2010-11 гг. проводимые на кафедре исследования были поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований и Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

С 2007 года на кафедре функционирует магистерская программа «Математические модели сложных систем: теория, алгоритмы, приложения» (<http://master.cmc.msu.ru/> <http://master.cmc.msu.ru/>). Она направлена на преподавание

основ теории, алгоритмов и программного обеспечения для новых классов актуальных задач моделирования, принятия решений и управления в сложных системах. Программа имеет целью готовить специалистов, сочетающих серьезные теоретические знания с умением применять их к реальным проблемам.

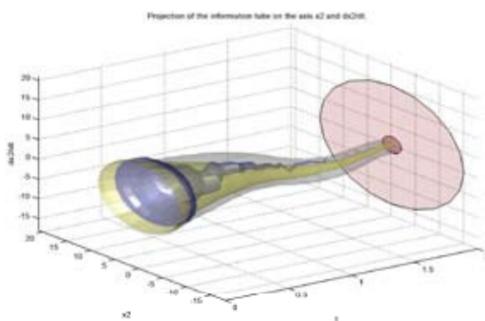
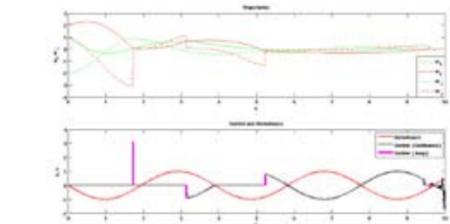
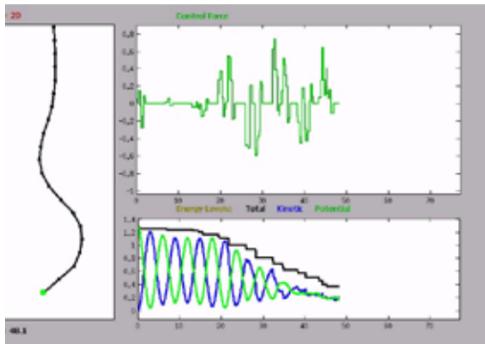
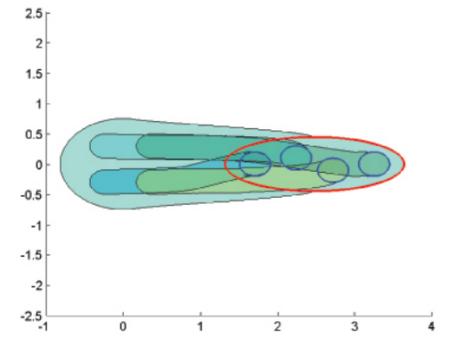
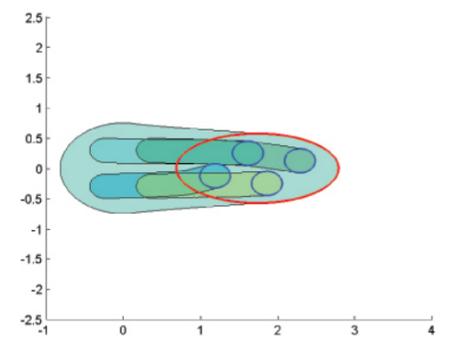
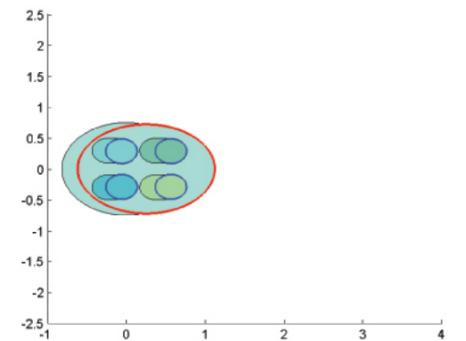
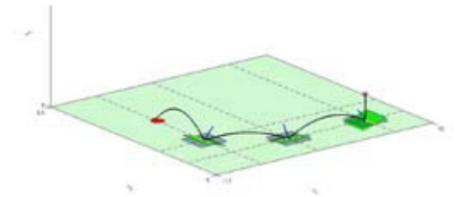
**СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕПОЛНЫХ ДАННЫХ.**

(академик А.Б.Куржанский, доцент А.Н.Дарьин, доцент И.А.Дигайлова, ассистент И.В.Востриков, ассистент П.А.Точилин)

Синтезированные управления, обеспечивающие обратную связь в системе, опираются на доступные измерения (наблюдения), как правило, неполные. Порождаемые ими движения к тому же нередко подвержены неопределенным возмущениям различной природы. Предлагаемые решения учитывают упомянутые обстоятельства. Для задач целевого управления они представимы в виде многозначных функций («трубок разрешимости») и применимы к моделям, где неизвестные возмущения могут иметь как вероятностное, так и множественное описание (помехи могут быть либо случайны, либо известны с точностью до множества, их ограничивающего, либо комбинацией обоих классов). Предложенный подход применим и к системам с запаздываниями. Соответствующие вычислительные процедуры позволяют решать задачи для систем более высоких порядков, чем в принятых подходах. На рисунке 1 показана динамика двумерных проекций на заданную плоскость многомерных трубок разрешимости задачи целевого управления при неполной информации при различных типах возмущений и наблюдении лишь скорости движения. Трубка голубого цвета отвечают случайные помехи, равномерно распределенные по ограничивающему множеству, трубке желтого цвета – релейные помехи, трубке серого цвета – нулевые помехи. На рисунке 2 показана структура решения задачи целевого управления для линейной системы при неполных измерениях и неизвестных, но ограниченных возмущениях. Синим цветом обозначена трубка, отражающая гарантированную погрешность оценки неопределенности в системе, зеленым — траектория управляемой составляющей общего решения. Движение совокупной системы — сумма зеленой траектории и синей трубки.

К числу сложных, относятся системы с гибридной структурой, сочетающие непрерывную динамику с дискретной. Сюда входят и задачи с переключениями. На рисунке 3 приведена иллюстрация простой гибридной системы: рассмотрена задача поиска управления отскоком шарика от управляющей плоскости, обеспечивающего попадание в заданную лунку. На участках между отскоками рисунка 3 движение гибридной системы имеет различную динамику. Соответствующие участки фазовой траектории изображены при помощи многолистной поверхности на рисунке 4.

Быстрые управления позволяют решать задачи целевого управления в линейных системах при помощи ограниченных воздействий за время существенно меньшее, чем при помощи традиционных релейных функций. Последнее объясняется тем, что быстрые управления являются аппроксимациями импульсных воздействий высоких порядков, допускающих высшие производные дельта-функций. Подобные аппроксимации могут быть, в частности, представлены быстро



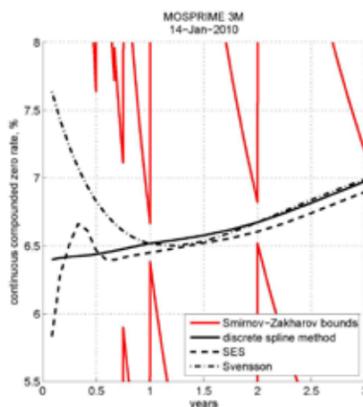
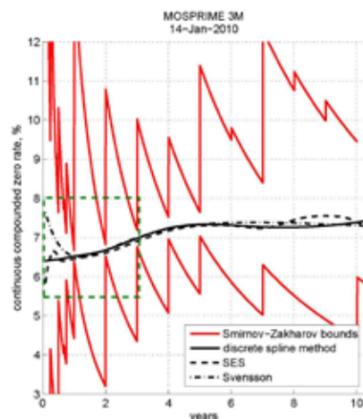


Рис. 8 Схема модели для среднесрочного анализа экономики России

колеблющимися кусочно-постоянными функциями переменной амплитуды. На рисунке 5 отражен этап решения задачи успокоения системы из трех пружинок за счет управления, аппроксимирующего импульсные воздействия и допускающего вторые производные импульсов. На рисунках 6 и 7 проиллюстрировано решение задачи об успокоении системы из 20 пружинок, аппроксимирующей неоднородную гибкую струну, при помощи конечных функций — приближений импульсных воздействий, допускающих высшие производные.

В числе рассматриваемых проблем – задачи коллективного («группового») управления. Набор элементов образует группу («стаю»), если члены стаи не слишком близки, но и не слишком далеки друг от друга. Они должны находиться внутри виртуального контейнера (например, эллипсоида) постоянного объема. Для избежания внешних препятствий элементам группы приходится осуществлять перегруппировку (реконфигурацию), оставаясь стаей. На рисунке 8 приведены траектории такой перегруппировки для системы из четырех элементов, реализующих динамику второго порядка, когда стая, выпущенная из круга, должна вытянуться «гуськом». На рисунке 9 приведен этап движения неоднородной стаи, состоящей из двух больших и шести малых элементов. Будучи выпущенной из левого зеленого круга, стая, ради огибания препятствий, должна перестроиться в две группы, движущиеся гуськом, и вновь собраться в правом зеленом круге.

### ПРОБЛЕМЫ СРЕДНЕСРОЧНОГО АНАЛИЗА РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

(профессор А.А. Шанин, ассистент А.В. Рудева)

В результате относительной стабилизации отечественной экономики в начале XXI-го века, в России возобновился интерес к построению среднесрочных прогнозов макроэкономического развития.

Для эффективного решения проблемы подобного прогнозирования необходима методика, которая позволила бы учитывать особенности российской производственной системы и оперативно строить прогнозы в случае изменения внешнеэкономических условий и возникновения структурных сдвигов. На кафедре системного анализа разрабатываются теория и математические модели, необходимые для среднесрочного анализа современного состояния российской экономики и прогнозирования динамики её макроэкономических показателей в зависимости от вариантов экономической политики государства (на рисунке 10 представлена блок-схема модели для среднесрочного анализа экономики России).

Для этого необходимо развитие новых фундаментальных математических моделей классической экономической теории и сопутствующих математических методов, позволяющих описывать поведение экономических агентов с учетом особенностей изменяющихся российских экономических условий. Можно выделить следующие ключевые проблемы: разработку математических моделей для описания функционирования производства в обрабатывающих отраслях промышленности, с учетом неэффективности и влияния развивающейся торговой инфраструктуры; развитие моделей инвестиционной деятельности в приложении к моделированию инвестиций в капиталоемких секторах экономики

в условиях несовершенного рынка кредитов. Построение на основе развитого математического аппарата среднесрочных моделей деятельности нефтегазового и электроэнергетического секторов с учетом особенностей инвестиционной деятельности в каждом секторе; разработку и исследование модели сберегательного поведения населения, учитывающие несбалансированность российского рынка депозитов и кредитов. Построение на их основе описания динамики сбережений населения как источника инвестиций в экономику России.

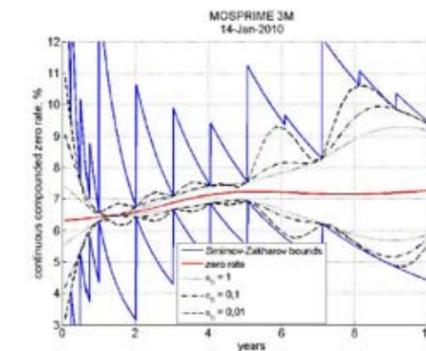
### ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ СРОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК.

(доцент С.Н. Смирнов, ассистент В.А. Лапшин)

Одним из важных направлений по тематике математических финансов является построение стохастической динамики срочной структуры процентных ставок. Безусловным требованием к таким моделям является отсутствие арбитражных возможностей; без этого невозможно решать задачи ценообразования для производных финансовых инструментов на процентные ставки. Используемые на практике (малопараметрические) модели дают нереалистичную картину. Существуют теоретические результаты, показывающие, что класс безарбитражных моделей с конечным числом параметров достаточно узок. Оказалось, что добиться реалистичности можно при помощи бесконечномерных (непараметрических) моделей. Наиболее гибкий подход к построению такого сорта моделей описывается стохастическим дифференциальным уравнением со значением в функциональном пространстве Соболева. Параметры этой модели могут быть оценены по рыночным данным при помощи байесовского подхода, включающего в себя фильтрацию сомнительных сделок и котировок, а также учитывающего ликвидность рынка, которая используется для оценки точности метода. Данная модель прошла тестирование на реальных рыночных данных и показывает устойчивую работу даже в кризисный период.

На рисунке 11 приведены графики кривой бескупонной доходности для процентной ставки Mosprime 3M, построенные согласно некоторым наиболее распространенным методикам (метод Свенссона и метод синусоидально-экспоненциальных сплайнов). На правом конце поведение кривой достаточно правдоподобно, чего нельзя сказать о ее форме для малых сроков. На рисунке 12 приведено приближение левого конца, на котором явно видны нереалистичная форма и перегибы кривых. Несмотря на неточность методов, можно рассчитать верхнюю и нижнюю границы возможного расположения кривой, используя лишь предположения о безарбитражности. На рисунках 11 и 12 представлены данные границы, имеющие вид «пилы». Неровная форма границ может быть сглажена при помощи сплайновых методов. На рисунке 13 показано, как меняется гладкость границ в зависимости от величины параметра сглаживания.

Другой немаловажной задачей в сфере финансовой инженерии является проблема ликвидации позиции большого объема на рынке, движимом заявками, при наличии доступа к информации книги лимитированных заявок. В настоящее время ведутся исследования, цель которых – построение более реалистичной модели ликвидности рынка, нежели существующие.



## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫЙ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАНИЦЫ ПАРЕТО.

(профессор А.В. Лотов)

За последние два десятилетия коллективом ученых под руководством проф. А.В.Лотова была разработана новая информационная технология поиска эффективных решений в условиях конфликта критериев выбора, основанная на аппроксимации и визуализации многомерных тел (размерностью от трех до восьми-девяти). При использовании методики осуществляется аппроксимация множества достижимых критериальных векторов и диалоговая визуализация его неуправляемой (паретовой) границы, что позволяет облегчить поиск компромиссных решений. В настоящее время происходит как разработка и изучение новых методов, так и их применение к прикладным задачам. Таким образом, в процессе исследования решаются как математические, так и прикладные проблемы. Методы аппроксимации развиваются как для выпуклых, так и для невыпуклых задач. При применении метода к динамическим управляемым системам обычно осуществляется аппроксимация множеств достижимости динамических систем.

Методика является универсальной, поэтому круг прикладных задач, в которых она применяется, весьма широк. В качестве объектов применения методики в последнее время изучались задачи поиска эффективных стратегий управления Енисейско-Ангарским каскадом ГЭС с учетом экологических требований со стороны озера Байкал, улучшения качества воды в реках Каталонии, лечения ВИЧ-инфекции и т. д.

На рисунке 14 представлена карта решений, на которой достижимые значения двух показателей загрязнения воды в реке даны разными цветами в зависимости от стоимости проекта  $F$ . Связь стоимости (млрд. руб.) и цвета дана в шкале под картой решений. Крестом указана выбранная пользователем предпочтительная неуправляемая точка (достижимая цель).

## ПРЕДЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ РЕПЛИКАТОРНЫХ СИСТЕМ

(профессор А.С. Братусь)

В 1970 году М. Эйгеном и его коллегами была предложена математическая модель процесса образования макромолекул, в котором учитываются основные принципы биологической эволюции: способность к самовоспроизведению, изменчивость, существование естественного отбора. Эта модель получила название системы гиперциклической репликации или модели гиперцикла.

В дальнейшем модель была существенно обобщена на более широкий класс систем, которые получили название репликаторных. Эти системы описываются с помощью нелинейных дифференциальных уравнений, причем сумма относительных концентраций макромолекул остается неизменной в течение всего времени.

Целью исследований проводимых на кафедре являются изучение предельного поведения репликаторных систем с учетом пространственного распределения

макромолекул при условии воздействия на них однородных диффузионных процессов. Показано, что наличие диффузии может оказывать на систему дестабилизирующее воздействие, если интенсивность диффузии достаточно мала. В некоторых случаях удается найти необходимое и достаточное условие на коэффициенты диффузий, при которых происходит эта дестабилизация. Как и в сосредоточенном случае, имеются аналогии между предельным поведением распределенных репликаторных систем и теорией игр. В частности, вводится понятие распределенного положения равновесия по Нэшу, которое является устойчивым положением равновесия по Ляпунову соответствующей стационарной распределенной системы.

На рисунке 15 показаны стационарные, пространственно неоднородные положения равновесия гиперцикла длиной три, которые возникают в результате бифуркации пространственно однородного положения равновесия при достаточно малых коэффициентах диффузии.

## ЛИТЕРАТУРА

- Избранные труды А.Б.Куржанского / М.: Изд-во МГУ, 2009. 750 стр.  
 A. V. Kurzban, A. N. Daryin. Dynamic Programming for Impulse Controls // Annual Reviews in Control V. 32. N. 2. 2008 pp. 213-227.  
 Обросова Н.К., Рудева А.В. Флерова А.Ю., Шананин А.А. «Динамическая модель экономики России с выделенной энергетикой» // М: ВЦ РАН, Москва, 2007, 96с.  
 Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. П. Динамические системы и модели биологии. 2010. ФИЗМАТЛИТ. 400 с..  
 Смирнов С.Н., Захаров А.В., Рачков Р.В., Лапшин В.А., Здоровенин В.В., Евстратов С.А. Методика построения бескупонной кривой доходностей: стандарт Европейской комиссии по облигациям – М. «Анкил», 2011. – 88 с.  
 Lotov A.V., Bushenkov V.A., Kamenev G.K. Interactive Decision Maps. Approximation and Visualization of Pareto Frontier. Boston: Kluwer, 2004, 310 p.

КАФЕДРА ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ

**ТЕОРИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ИГР И КОЛЛЕКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ**

*(академик РАН П.С. Краснощеков, профессор А.А. Васин, доцент В.В. Морозов)*

На кафедре разрабатываются и исследуются математические модели коллективного поведения для целей изучения проблем оптимизации государственных структур контроля. Результаты и методы этих исследований могут быть применены в процессе реформ иерархических структур государственной власти.

На кафедре исследуются математические модели иерархической контрольной структуры в государственной инспекции. Следует отметить, что в настоящее время во многих странах мира, в том числе и в России, коррупция считается одной из главных проблем, препятствующих развитию государства. Последние 20 лет в мире активно развивается направление исследований, связанное с математическим моделированием коррупционных процессов и методов подавления коррупции. Для этих моделей А.А. Васиным поставлена и решена задача оптимальной организации инспекции: найдена стратегия, обеспечивающая невыгодность правонарушений и коррупционных сделок при минимальных затратах на функционирование инспекции. Применение теоретико-игрового подхода к задаче подавления коррупции позволяет рассматривать взаимодействие коррумпированных агентов как игру, в которой каждый игрок, в том числе и государство, пытается максимизировать свою среднюю прибыль. В работах А.А. Васина используется подход, известный как «принципал-исполнитель-агент», при котором государство принуждает контролируемых агентов к правильному с его точки зрения поведению. Разработаны модели, в которых государство организует инспекцию с иерархической структурой проверок, причём вероятности проверок, штрафы, количество уровней проверки и зарплаты инспекторов являются экзогенными параметрами. На примере налоговой инспекции получено, что возможно организовать инспекцию, подавляющую коррупцию, при относительно небольших затратах – всего около 4% от общего налогового сбора. Ведутся разработки моделей, учитывающих разнородность инспекторов, различные способы их стимулирования и разбиение проверяемых агентов на схожие группы.

На кафедре исследуются математические модели голосования. И.И. Поспеловой получены оценки шансов одного игрока на продвижение своего кандидата при выборе из 4-х кандидатов голосованием с правом вето – в зависимости от наличия у игроков строгих или нестрогих предпочтений, а также возможности управлять порядком ходов (ветования) со стороны выделенного игрока. Изучен результат применения побочных платежей при голосовании по правилу большинства с преимущественным правом первого игрока. А.А. Васиным исследована устойчивость коалиционных структур в неоднородных популяциях. Получены условия возникновения устойчивых коалиционных структур в случае, если исходная структура перестает быть устойчивой.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ В СТРАХОВАНИИ И ФИНАНСАХ**

*(доценты В.В. Морозов, Д.В. Денисов, Г.А. Белянкин)*

На кафедре изучаются математические модели страхования и финансов. В рамках этой тематики исследуются задачи принятия решений в этих областях при наличии стохастической неопределенности. Полученные результаты можно применять в финансовой и страховой сферах.

На кафедре исследованы различные постановки задачи стимулирования агентов принципалом и построения оптимального страхового контракта. Построены оптимальные стратегии и вычислена максимальная прибыль, которую может получить принципал в рамках моделей с произвольной стимулирующей схемой, возрастающей стимулирующей схемой и выпуклой схемой. Причём для модели с произвольной стимулирующей схемой оптимальной оказалась точечная схема, когда оплачиваются только один или два конкретных результата, а вознаграждение за любой другой результат равно нулю. Г.А. Белянкиным и А.В.Таразевичем были получены оптимальные схемы мотивации страхового посредника в задачах «Агент-принципал» для детерминированного случая с агентами двух и более типов. Д.В. Денисовым задача стимулирования страхователя поставлена как система задач линейного программирования. В.В. Морозовым были получены верхние и нижние оценки опционов на два актива. Верхняя оценка строится путем построения кусочно-линейной аппроксимации множества немедленного исполнения и решения соответствующих интегральных уравнений для стоимости опциона. Для построения нижней оценки рассматривается класс решающих правил, для каждого из которых выписывается соответствующая краевая задача. Решение задачи получается в виде быстро сходящегося параметрического ряда. Оптимизация по параметрам этого ряда дает оценку снизу.

В игровых задачах взаимодействия государства и граждан Г.А. Белянкиным и Д. Господариком построена оптимальная функция перераспределения для государства, максимизирующая суммарное производство. Задача решена в различных ограничениях, включая ограничение на минимальный уровень потребления для каждой из групп граждан; для непрерывного и дискретного случаев. Результаты непрерывного случая использованы для построения оптимальной пенсионной системы максимизирующей суммарное производство на протяжении жизненного цикла граждан.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ЭКОНОМИКЕ**

*(профессор А.А. Васин, доценты М.Р. Давидсон, Н.М. Новикова, И.И. Поспелова.)*

На кафедре изучаются математические модели рынков однородных товаров. В рамках этой тематики исследуются широкий спектр задач принятия решений в конкурентной среде.

На кафедре исследованы математические задачи оптимизации управления энергосистемой по правилам оптового рынка электроэнергии в России, т.е. выбора электростанций для работы и планирования их загрузки по

результатам торгов электроэнергией. Специфика аукциона электроэнергии в отличие от других аукционов заключается в необходимости планирования режима работы энергосистемы в соответствии с его результатами. Это приводит при расчете результата торгов к сложной задаче оптимизации, учитывающей сетевую структуру связей в системе и нелинейные уравнения перераспределения потоков электроэнергии. Такую же задачу приходится решать и при управлении энергосистемой в условиях, близких к реальному времени, но требования к скорости расчета и к точности учета ограничений только усиливаются. Н.М. Новиковой и М.Р. Давидсоном последовательно описаны математические модели оптимизации, применяемые для планирования на различных временных горизонтах, причем с увеличением горизонта задача только усложняется (возникает элемент целочисленности), даны подходы к их решению, учитывающие преемственность возникающих задач. Разработана математическая модель учета различных тепловых состояний оборудования при его пуске и останове, а также функционирования ТЭЦ в режиме комбинированной выработки. Исследуются математические модели ценообразования для основных этапов принятия управляющих решений. Предложена долгосрочная модель рынка мощности и модель учета ограничений по пропускной способности контролируемых сечений в правилах биржи по заключению свободных договоров на электроэнергию с мощностью. Показано, что влияние на узловые равновесные цены потерь и ограничений по пропускной способности контролируемых сечений в рассматриваемых задачах аналогично изученному ранее в рамках работы настоящего научного коллектива, что позволяет применить разработанные алгоритмы (и полученные теоретические результаты) к анализируемым моделям. В частности, исследована задача вычисления максимальных объемов активной мощности, которая может быть произведена либо потреблена в произвольно выбранном узле сети переменного тока, в случае, когда мощности узлов пропорциональны квадратам модулей напряжений в соответствующих узлах.

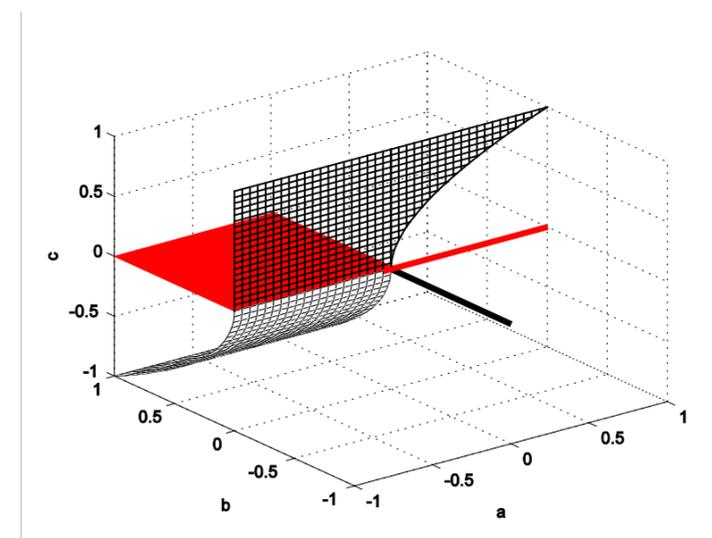
На кафедре исследуются задачи диспетчеризации в системе транспорта и добычи газа как оптимизационная сетевая задача, исследованы вопросы оптимизации электронной площадки для торговли газом. Исследуются задачи создания биржи железнодорожных вагонов по правилам сетевого аукциона. Формально изучаются соответствующие игры двух лиц (продавцы и покупатели) с векторными критериями и многих лиц со связанными ограничениями, обусловленными сетевой структурой ограничений. Ведутся исследования по влиянию сетевой структуры систем на иерархию управления (на примере Газпрома, РЖД и Федеральной сетевой компании). И.И. Пospelовой изучены свойства классических игровых схем для постановок, приближенных к реальным условиям принятия решений (многокритериальность, наличие неопределенности, возможность «побочных платежей»), в том числе различных схем голосования при выборе одного из множества альтернативных кандидатов (голосование по большинству голосов и по правилу вето).

## ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

(профессор А.Ф. Измаилов, доцент М.Г. Фуругян)

На кафедре изучаются широкий круг задач оптимизации, к которым относятся как задачи классической непрерывной оптимизации, так задачи дискретной оптимизации, задачи теории расписаний. Эти задачи имеют очень широкий круг приложений в экономике, программировании и технике.

На кафедре исследуются задачи нерегулярной оптимизации, для которых получены новые условия оптимальности, построены эффективные методы решения. А.Ф. Измаиловым предложена общая схема неточного метода Джозефи-Ньютона и неточного метода последовательного квадратичного программирования; разработана теория их локальной сходимости. В рамках данной схемы получены тонкие результаты о локальной сходимости различных ньютоновских методов условной оптимизации и вариационного анализа. Получены новые тонкие результаты о локальной сверхлинейной сходимости стабилизированного метода последовательного квадратичного программирования в более слабых предположениях, чем использовавшиеся ранее. Разработан усеченный метод последовательного квадратичного программирования, использующий методы внутренней точки для приближенного решения подзадач. Получены результаты о сходимости и скорости сходимости. Разработаны новые ньютоновские методы для задач оптимизации с комплементарными и исчезающими ограничениями, в том числе с использованием идеи регуляризирующего «поднятия» задачи, иллюстрацией которого является приводимый рисунок. М.Г. Фуругяном разработан алгоритм решения задачи составления допустимого расписания с прерываниями в многопроцессорной системе в случае, когда длительности выполнения работ линейно зависят от количества выделенного им дополнительного ресурса.



## КАФЕДРА АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЯЗЫКОВ

**ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ «СЛУЖБА ТЕМАТИЧЕСКИХ ТОЛКОВЫХ СЛОВАРЕЙ»**

(руководители профессор М.Г.Мальковский, профессор С.Ю.Соловьев)

В интернет-эпоху на кафедре стали интенсивно развиваться исследования так или иначе связанные с разработкой принципиально новых веб-ресурсов.

Значительным достижением в этом направлении стал общенациональный ресурс [www.glossary.ru](http://www.glossary.ru) «Служба тематических толковых словарей».

Ежедневно десятки тысяч пользователей посещают [www.glossary.ru](http://www.glossary.ru), где получают квалифицированную терминологическую помощь.

Основу проекта составляет скрытая от пользователей работа по систематизации научной и деловой терминологии, результатом которой является гигантская сеть разнородных связей между терминами.

Как выяснилось сама по себе деятельность по систематизации нуждается в научном осмыслении и компьютерной автоматизации, а также приводит к переоткрытию известных истин и постановке новых интересных задач, которые, в свою очередь, также нуждаются в научном осмыслении и компьютерной автоматизации.

В процессе систематизации терминологии еще раз подтвердилось, что:

Ресурс: [Glossary Commander](http://www.glossary.ru)  
Служба тематических толковых словарей

[Rambler's Top100](#) >> [Наука](#) >> Статистика [на 10.11.2010]

Посещаемость сайта с момента регистрации/очистки счетчика данные просуммированы по месяцам			
Период	Уникальные адреса (хосты)	Посетители	Показы страниц (хиты)
Декабрь 2000	505	-	682
Декабрь 2001	26 387	28 267	94 926
Декабрь 2002	52 840	57 026	192 993
Декабрь 2003	116 965	126 752	395 590
Декабрь 2004	157 682	175 901	548 667
Декабрь 2005	189 332	210 040	602 168
Декабрь 2006	310 058	364 610	960 047
Декабрь 2007	570 225	696 640	1 666 499
Декабрь 2008	812 014	962 967	2 760 727
Декабрь 2009	970 754	1 090 801	4 053 217

**Glossary Commander**  
Служба тематических толковых словарей

Глоссарий: Макроэкономическая нестабильность

Входы: Денежная масса >>, Макроэкономика >>, Платежный баланс страны >>, Трудовые ресурсы >>, Цены товаров >>, Экономика >>

В. Экономика  
Макроэкономическая нестабильность  
Макроэкономическая нестабильность - нарушения макроэкономического равновесия, проявляющиеся:  
- в безработице;  
- в инфляции;  
- в циклической экономике развития;  
- в устойчивом дефиците платежного баланса.

Выходы: >> Безработица >>, >> Инфляция >>, >> Экономические циклы >>

Новая функция: Вернуть глоссарий

Тематическая группировка • Расширить глоссарий • Основные темы

## Формула\* глоссария

Глоссарий / понятие: Макроэкономическая нестабильность

- представленный прямоугольником 146 x 132
- оперирующий 4 терминами
- задействованный в 1 понятии
- пересекающийся с 5 понятиями
- отвечающий формуле  $0 + 0 + 4 + 1 + 5$



Формула-со-звездочкой наглядно представляет ближайшее окружение глоссария: составляющие его статьи и под-глоссарии, а также его вхождения в глоссарии более высокого ранга. Здесь же представлены глоссарии-соседи, "контактирующие" с основным глоссарием по той или иной составляющей. Интерактивные картинки генерируются автоматически в процессе выполнения запросов. Программа генерации картинок реализована на языке Free Pascal с использованием freeware библиотеки WritGif.

мир един и «крепко шит», а его разделение на отрасли, факультеты и даже кафедры всего-лишь дань традиции; систематизация есть отличный прием обучения. Одновременно открылись удивительные феномены систематизированного

## КАФЕДРА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ***(руководитель профессор Григоренко Н.Л.)*

Технологический паспорт месторождения минералов, разрабатываемого открытым способом, включает таблицу оценок эффективности инвестиционных вложений в добывающее и перерабатывающее оборудование, динамику экономических показателей производственного цикла и правила управления процессом разработки в режиме реального времени. Эти характеристики могут быть получены в результате решения оптимизационных задач, среди которых отметим задачу построения блоковой модели месторождения по результатам бурения, задачу разбиения месторождения на фазы разработки, задачу оптимизации послойной разработки фазы по текущей информации о плотности вскрываемой породы и предистории биржевых цен на добываемые минералы. При решении таких задач используются результаты теории приближений, выпуклого анализа, оптимального управления, управления в условиях неопределенности [1]-[4]. В соответствующих задачах оптимального управления, фазовые переменные - характеристики выкапываемой руды, дисконтированный объем прибыли, динамика изменения фазовых переменных описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями, управляемыми параметрами являются инвестиции в добывающее и перерабатывающее оборудование и интенсивность разработки месторождения, терминальный функционал качества - значение дисконтированного объема прибыли в момент окончания разработки фазы карьера. Результаты решения перечисленных задач доставляют численные значения экономических показателей, на основании которых принимаются инвестиционные решения и решения по управлению процессом разработки. На Рис.1 приведен вид разведанного геологическими работами к разработке месторождения, на рис.2. его блоковая модель, на рис.3. вариант решения задачи разбиения на фазы, на рис. 4 результат расчета управления процессом интенсивности разработки месторождения цинка (как функции параметров месторождения и предистории биржевых цен на цинк в 2000-2010 годах).

**Литература:**

Понтрягин Л.С. Болтянский В.Г. Гамкрелидзе Р.В, Мищенко Е.Ф., Математическая теория оптимальных процессов, М. Наука, 1976, 392 с.  
Избранные труды Л.С.Понтрягина, М.МАКС Пресс, 2004, 552 с.  
Избранные труды Ю.С.Осипова, М.Издательство МГУ, 2009, 656 с.  
Васильев Ф.П. Методы оптимизации, М.МЦИМО. 2011, 620 с.

## КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ***(руководители проф. В.Б. Андреев, проф. А.В. Гулин, проф. Г.Г. Еленин, чл.кор. РАН проф. Б.Н. Четверушкин)*

Проведено изучение разностных схем для уравнения теплопроводности с нелокальными граничными условиями. Найдены необходимые и достаточные условия устойчивости по начальным данным в специальном образом построенной энергетической норме для двухслойных операторно-разностных схем. Построены априорные оценки, выражающие устойчивость разностных схем по правой части. Предложены и рассмотрены разностные схемы для уравнения теплопроводности с нелокальными граничными условиями, содержащими два вещественных параметра. Получены оценки энергетической нормы решения разностной задачи через такую же норму начальных данных.

Для сингулярно возмущенного уравнения реакции-диффузии в прямоугольнике рассмотрена смешанная краевая задача и получена оценка точности. Получены оценки скорости сходимости разностных схем для сингулярно возмущенных уравнений типа конвекции-диффузии по граничному слою. Для сингулярно возмущенного стационарного уравнения конвекции-диффузии в прямоугольнике с регулярными пограничными слоями на двух смежных сторонах исследована монотонная разностная схема на сетке Шишкина. Для двумерного сингулярно возмущенного уравнения конвекции-диффузии с постоянными коэффициентами в полуплоскости, граница которой ортогональна направлению конвекции, получены анизотропные по малому параметру априорные оценки решения и его производных в равномерной метрике при минимальных предположениях о гладкости правой части уравнения и граничной функции.

Исследована консервативность двухстадийных симметрично-симплектических методов Рунге-Кутты. Предложен почти всюду консервативный двухстадийный симметрично-симплектический вычислительный метод решения задачи Коши для гамильтоновых систем. Детально изучены многообразия различных порядков аппроксимации в пространстве параметров двух- и трехстадийных симплектических методов Рунге-Кутты. Построено однопараметрическое семейство двухстадийных адаптивных симметрично-симплектических консервативных методов Рунге-Кутты второго и четвертого порядка аппроксимации.

Предложен метод построения потоковых разностных схем годовского типа, аппроксимирующих систему уравнений вязкого сжимаемого газа в цилиндрической системе координат. Построены разностные схемы для расчета течений вязкого сжимаемого газа в цилиндрических координатах первого и повышенного порядка аппроксимации на основе вычисления потоков методом Роу-Ошера. Численно исследованы стационарные течения газа между двумя вращающимися цилиндрами.



Одним из направлений научной деятельности кафедры вычислительных методов являлись исследования в области новых алгоритмов, ориентированных на использование высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем и решение с их помощью различных задач механики сплошной среды. Эти работы проводились под руководством чл.-корр. РАН, проф. Б.Н. Четверушкина. В рамках этих исследований получили дальнейшее развитие оригинальные кинетические схемы, которые опираются на представление о сплошной среде как совокупности большого числа дискретных частиц (молекул). Главное направление связано с непосредственным использованием конечно-разностных моделей для одночастичной функции распределения. Метод частиц, в отличие от разностного подхода, основанного на аппроксимации уравнений в частных производных на заданной сетке, моделирует исходные процессы переноса путем замены огромного числа молекул или сплошной среды набором конечного числа частиц. Тем самым в модель закладывается физическая корректность. Широкие возможности кинетических подходов к моделированию сложных задач газовой динамики, вызванные легкой параллельной реализацией алгоритмов, поставили на повестку дня необходимость исследований по ряду направлений. Кинетические схемы относительно просто строятся при использовании неструктурированных пространственных сеток. В связи с этим успешно развиваются методы генерации пространственно-трехмерных сеток. Интенсивно ведется разработка параллельных алгоритмов для решения задач линейной алгебры. Эти исследования являются интеллектуальной основой создаваемого пакета прикладных программ для решения пространственно-трехмерных задач механики сплошной среды на многопроцессорных системах.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В АККРЕЦИОННОМ ДИСКЕ ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДНОЙ СИСТЕМЫ

(руководители чл.-корр. РАН Ю.П. Попов, доц. М.В. Абакумов, проф. С.И. Мухин)

Проведено математическое моделирование газодинамических процессов в двойной звездной системе. В современной астрофизике данная задача является актуальной, поскольку большинство известных в настоящее время звезд входят в состав кратных и, в частности, двойных систем. Для двойных звездных систем характерно перетекание газа между компонентами системы и образование газовых дисков, вращающиеся вокруг звезд, которые называют аккреционными. Процессы в аккреционных дисках оказывают существенное влияние на эволюцию звезд и часто являются источниками рентгеновского излучения, что особенно важно для наблюдений. Однако возможности наблюдений звездных систем по-прежнему ограничены, поэтому основным средством их исследования является математическое моделирование.

В ходе работы моделировался процесс эволюции аккреционного диска двойной звездной системы. Аккреционный диск описывался системой

нелинейных уравнений газовой динамики. Учитывались силы гравитации обеих компонент и, в силу выбора вращающейся системы координат, центробежная и кориолисова силы. Для решения соответствующей задачи были проведены двумерные и трехмерные газодинамические расчеты на неравномерных разностных сетках. Показано, что характерной для аккреционных дисков двойной системы является структура, содержащая две спиральные волны, которые являются одним из важных механизмов перераспределения углового момента в веществе диска.

## КОМПЛЕКСНОЕ НЕЛОКАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

(руководители М.В. Абакумов, А.Я. Буничева, В.Б. Кошелев, В.А. Лукин, С.И. Мухин, Н.В. Соснин, А.П. Фаворский, А.Б. Хруленко)

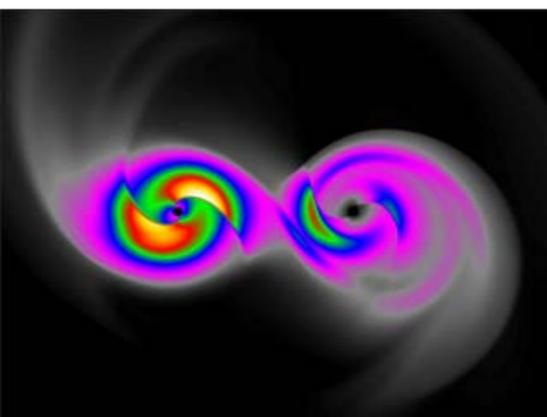
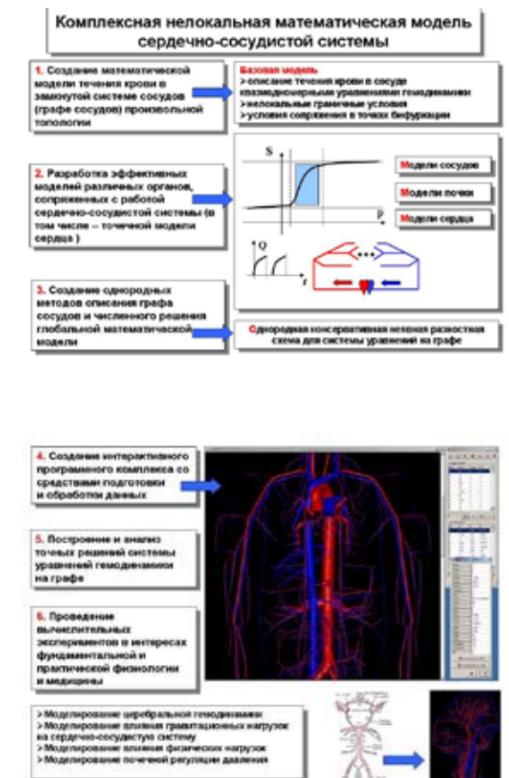
Цель данного проекта связана с исследованием гемодинамики кровеносной системы человека в целом методами компьютерного моделирования

Рассматривается иерархическая последовательность моделей, в том числе нелинейных, описывающих как эластичные кровеносные сосуды, так и основные органы (сердце, почка и др.). Разработана методика и алгоритм численного решения соответствующей квазилинейной системы уравнений в частных производных на графе сосудов. Разработанные методы реализованы в программном комплексе CVSS (Компьютерный диалоговый комплекс моделирования сердечно-сосудистой системы человека).

Данная модель используется в качестве базовой для учета влияния различных факторов на систему кровообращения в целом как в научных, так и практических целях. На основе полученной гидродинамической картины течения крови (нормы) имеется возможность моделировать различные последствия патологических изменений в топологии сосудов и их свойств (стенозы, тромбозы магистральных артерий), исследовать перераспределения потоков крови во время интраоперационных манипуляций с сосудами, оценивать локальные и глобальные изменения гемодинамики в результате воздействия лекарственных препаратов, осуществлять проверки различных физиологических гипотез и исследовать функционирование систем регуляции артериального давления.

Разработанный программный комплекс и системы моделей позволяют заменить дорогостоящие или опасные медицинские эксперименты сериями вычислительных экспериментов. Например, прежде чем осуществлять операцию шунтирования, можно расчетным путем установить, как предполагаемое изменение сосудистой топологии отразится на кровотоке. Другой пример – воспроизведение воздействия перегрузок на работу сердечно-сосудистой системы без проведения эксперимента с участием испытуемого.

Программный комплекс и модели могут быть использованы и в других областях, например для расчета трубопроводных систем водоснабжения, гидравлических и транспортных сетей.



Спиральные структуры аккреционных дисков в двойной звездной системе

**Некоторые публикации сотрудников кафедры ВМ:**

Монографии.

А. А. Самарский, А. В. Гулин. Устойчивость разностных схем. 3-е изд. Книжный дом «Либроком», М., 2009

Статьи в реферируемых журналах.

1. Gulin A., Ionkin N., Morozova V. Stability criterion of difference schemes for the heat conduction equation with nonlocal boundary conditions // *Comp. Meth. App. Math.* 2006. 6. N 1. P. 31-55.

2. Андреев В.Б. О точности сеточных аппроксимаций негладких решений сингулярно возмущенного уравнения реакции-диффузии в квадрате // *Дифференц. уравн.* 2006. 42. № 7. С. 895-906.

3. Фаворский А.П., Тыглиян М.А., Тюрина Н.Н., Галанина А.М., Исаков В.А. Численное моделирование распространения гемодинамических импульсов. *Математическое моделирование*, 2009, т.21, №12 с.21-с.34

4. Г. Г. Еленин, П. И. Шляхов. О консервативности двухстадийных симметрично-симплектических методов Рунге-Кутты и метода Штермера-Верле. *Дифференциальные уравнения*, т. 46, N 7, 2010, 983-989.

5. В. В. Терновский, М. М. Хапаев, «Об использовании прямых вариационных методов в прикладных задачах» доклады академии наук, 2010, том 435, No. 5, с. 1-3

6. Моисеев Т.Е. Об условной разрешимости задачи Трикоми со смешанными краевыми условиями. // *Дифференциальные уравнения*, Т.46, N 10, стр.1513-1515.

**КАФЕДРА ОБЩЕЙ МАТЕМАТИКИ****ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
РАЗЛИЧНЫХ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

(академик В.А. Ильин, профессора В.В. Власов, И.С. Ломов, доценты А.Б. Будаков, В.Н. Денисов, Л.В. Крицков, В.С. Панфёров, И.В. Садовническая, В.В. Тихомиров)

Многие вопросы математической физики приводят к задаче определения собственных значений и собственных функций операторов и разложения произвольной функции в ряд (или интеграл) по собственным функциям. Так, например, к такого рода вопросам приходят всегда, применяя метод Фурье для нахождения решения смешанной задачи для дифференциального уравнения в частных производных. В задачах управления некоторые критерии управляемости объектами связаны с базисностью корневых функций дифференциальных операторов. Также в методе регуляризации сингулярных возмущений для точного описания особенностей решения задачи используется спектр предельного оператора, а правые части уравнений разлагаются в ряды по системам корневых функций этого предельного оператора.

Исследуемые задачи возникают при расчёте ядерных реакторов, при исследовании задач об устойчивости плазмы, при изучении различных колебательных процессов, в том числе и процессов, протекающих с диссипацией, то есть с затуханием, а также при изучении сверхзвуковых и дозвуковых течений газа.

На кафедре общей математики проводятся исследования по спектральной теории самосопряженных эллиптических операторов, по спектральной теории несамосопряженных дифференциальных операторов, по теории кратных рядов и интегралов Фурье, по спектральной теории операторов Шредингера с сильно сингулярными потенциалами и функционально-дифференциальных операторов. Полученные результаты применяются для решения актуальных задач математической физики.

Основополагающий характер здесь имеет созданный В.А. Ильиным в конце 1960х – начале 1970х годов универсальный метод изучения спектральных разложений, отвечающих произвольным самосопряженным расширениям эллиптических операторов. Хотя вопросам локализации и равномерной сходимости спектральных разложений посвящены многочисленные исследования, только указанный метод позволил для произвольной области или многообразия и любого спектра установить точные условия равномерной сходимости как самих спектральных разложений, так и их средних Рисса.

Позже, в 1994-1997 гг., этот метод был плодотворно применен для изучения самосопряженных расширений оператора Шредингера, заданного на всей числовой прямой или во всем пространстве, с потенциалом, удовлетворяющим условию Като.

Выдающимся вкладом в науку является цикл работ В. А. Ильина и его учеников, опубликованный в 1975–2011 гг., по спектральной теории несамосопряженных дифференциальных операторов. Предшествовавшие этим результатам работы



М. В. Келдыша о полноте системы корневых (т.е. собственных и присоединенных) функций широкого класса дифференциальных операторов не дали ответ на весьма актуальный для приложений вопрос о том, образует ли такая система базис, т.е. можно ли произвольную функцию из некоторого класса разложить в биортогональный ряд по этой системе.

В основе развитых методов построения спектральной теории несамосопряженных дифференциальных операторов лежит отказ от задания краевых условий в каком-либо конкретном виде и рассмотрение корневых функций только как регулярных решений соответствующих дифференциальных уравнений со спектральным параметром. Заменяли краевые условия конструктивные и легко проверяемые условия на собственные значения и системы корневых функций, т.е. рассматриваются некоторые сужения максимального оператора. Это позволяет охватить случаи совершенно произвольных (двухточечных, многоточечных, нелокальных, интегральных, зависящих произвольным образом от спектрального параметра) краевых условий, а также дифференциальные операторы, в область определения которых входят разрывные функции.

Были получены необходимые и достаточные условия безусловной базисности систем корневых функций, локальной базисности, условия локальной равносходимости биортогональных разложений функций тригонометрическим рядом Фурье, равносходимости этих разложений на всем отрезке, исследовано распределение собственных значений широкого класса дифференциальных и функционально-дифференциальных операторов.

#### Монографии

1. Ильин В.А. *Спектральная теория дифференциальных операторов. Самосопряженные дифференциальные операторы.* М.: Наука. 1991 (*Spectral Theory of Differential Operators*. 1995. NY: Plenum Publ. Corp.).
2. Моисеев Е.И. *Уравнения смешанного типа со спектральным параметром.* М.: Изд. Моск. ун-та. 1988.
3. Дезин А.А. *Дифференциально-операторные уравнения. Метод модельных операторов в теории граничных задач // Труды МИАН имени В.А.Стеклова.* 2000. Т. 229. С. 1-175.
4. Дьяконов Е.Г. *Энергетические пространства и их применение.* М.: Изд. Моск. ун-та. 2001.
5. Ломов С.А., Ломов И.С. *Основы математической теории пограничного слоя.* М.: Изд. Моск. ун-та. 2011.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ВЫРОЖДЕНИЯМИ

(профессор М.В. Коровина)

Решена задача, сформулированная Л. Фадеевым о построении полуограниченного самосопряженного расширения оператора Лапласа с начальной областью определения состоящей из функций, обращающихся в ноль в некоторой окрестности пучка плоскостей. Для решения этой задачи была создана теория, позволившая изучить свойства операторов трансляции

и сформулировать необходимые и достаточные условия разрешимости задачи Соболева на стратифицированном многообразии.

Внесен вклад в теорию дифференциальных уравнений с вырождениями. Построены асимптотики решений дифференциальных уравнений с коническими и реберными вырождениями в пространствах с асимптотиками, После этого был сделан шаг к изучению дифференциальных уравнений с произвольными полиномиальными вырождениями в коэффициентах. Основной результат-теорема о том, что решения всех линейных дифференциальных уравнений с полиномиальными вырождениями в коэффициентах с ресургентной правой частью являются ресургентными функциями. Эта теорема сформулирована как для обыкновенных дифференциальных уравнений, так и для уравнений в частных производных. Этот результат открывает возможность нового подхода к теории дифференциальных уравнений с вырождениями в коэффициентах, а именно возможность применения методов ресургентного анализа к построению асимптотик их решений. На настоящий момент, с помощью этого метода построены асимптотики для некоторых классов подобных уравнений. Исследования в этом направлении продолжаются.

#### Монографии

М. В. Коровина. *Теория функциональных пространств и дифференциальные уравнения.* 2007. М.: МАКС ПРЕСС. 117 стр.

#### АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

(профессор М.М. Хапаев, доценты В.В. Терновский (кафедра ВМ), А.И. Фалин)

Предложено обобщение второго метода Ляпунова, ослабляющее оба условия метода, ориентированное на исследование устойчивости в критических ситуациях. С его помощью проведено исследование на устойчивость параметров орбит в планетной задаче трех тел на основе предложенной им гидродинамической модели планет, учитывающей размер планеты, расстояние до Солнца, сплюснутость и наклон оси вращения планеты к плоскости орбиты. С помощью усреднения изучено также влияние этих факторов на эволюционное изменение параметров орбит.

Впервые в СССР построены математические модели для тонких магнитных пленок, изучались статические и динамические процессы в тонкопленочных материалах. В настоящее время изучаются магнитные процессы в новейших наноструктурах. Для описания динамических процессов в магнитных материалах предложено учитывать непостоянство длины вектора намагниченности, зависимость длины вектора от интенсивности обменного взаимодействия. Поправки вводятся через вторые производные от поля намагниченности.

В работах по физике плазмы впервые были введены в рассмотрение сингулярные интегральные многообразия, на которых правые части дифференциальных уравнений обращаются в бесконечность. Предложено использование сингулярных многообразий в задачах условной оптимизации и управления, а также в задачах обработки результатов наблюдения и экспериментов по методу наименьших квадратов Гаусса. Введенные в схему



обработки результатов сингулярные многообразия позволяют учесть ошибки наблюдения и эксперимента. При этом, естественно, схема усложняется и становится нелинейной.

Им доказана теорема о предельном переходе для сингулярно возмущенной системы, аналогичная теореме А.Н. Тихонова, в случае, когда вырожденная система имеет не корни, на которых правые части обращаются в 0, а сингулярные многообразия, на которых правые части обращаются в  $\infty$ . В последнее время он вновь обратился к сингулярно возмущенным задачам, сконцентрировав внимание на некорректности сингулярно возмущенных задач для уравнений с частными производными. Полученные результаты дают представление о существовании множества решений с внутренними погранслоями с учетом некорректности задачи.

#### Монографии

Хапаев М.М. *Усреднение в теории устойчивости*. 1986. М.: Наука. (Averaging in the theory of stability).

#### РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

(член-корреспондент РАН И.А. Шишмарёв, ст. преподаватель М.В. Комаров)

Продолжено изучение вопросов о глобальном во времени существовании и об асимптотическом поведении при больших временах решений нелинейных эволюционных уравнений и систем уравнений.

Рассмотрены периодические задачи для многомерного комплексного уравнения Ландау-Гинзбурга и для широкого класса одномерных нелинейных уравнений, включающего многие известные уравнения такие, как уравнение Кортевега-де Фриза-Бюргерса, уравнение Курамото-Сивашинского, уравнение Отто-Судана-Островского и др. Исследованы случаи как малых, так и произвольных начальных условий, получены достаточные условия сглаживания решений. Построены асимптотики различного характера для решений при больших временах – растущие, убывающие и осциллирующие во времени.

Найдены асимптотики при больших временах решений начально-краевой задачи на полупрямой для нелинейного нелокального уравнения Шредингера и уравнения Кортевега-де Фриза-Бюргерса.

Изучена задача Коши для весьма широкого класса многомерных (по пространственной переменной) систем нелинейных эволюционных уравнений с диссипацией в суперкритическом и критическом случаях. Рассмотрены вопросы локального и глобального во времени существования решений. Построены асимптотики для решений системы уравнений поверхностных волн Буссинеска и двумерной системы уравнений Навье-Стокса; в критическом случае асимптотика при больших временах имеет автомодельный характер.

#### Монографии

Shishmarev I.A., Naumkin P.I. *Nonlinear nonlocal equations in the theory of waves*. AMS Transl. Math. Monographs. 1994. V.133.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ И МАТРИЧНОГО АНАЛИЗА

(профессор Х.Д. Икрамов)

Исследуется широкий круг вопросов теоретической и вычислительной линейной алгебры: численная устойчивость прямых методов для решения систем линейных алгебраических уравнений, матричные задачи с обобщенными симметриями, обратные задачи на собственные значения, классификационные проблемы линейной алгебры, и др. В ряде случаев целью ставилось создание конечных алгоритмов для того или иного набора разрешенных операций. Например, известно, что задача вычисления собственных значений комплексных матриц не может быть решена в радикалах (для порядков пять и более). Это тем более относится к вычислению собственных подпространств. Однако оказалось, что, например, сумма собственных подпространств недиагонализуемой матрицы может быть найдена конечным вычислением.

Наиболее весомый вклад внесен в развитие теории унитарных подобий и создание параллельной теории унитарных конгруэнций. Самые значительные результаты в этом направлении получены совместно с казанским математиком Ю.А. Альпиным. Впервые в алгебраической литературе нами предложены конечные алгоритмы типа Шпехта—Пирси для решения следующих задач: а) проверка одновременного унитарного подобия для двух конечных матричных ансамблей; б) проверка унитарной конгруэнтности для пары комплексных матриц.

#### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

(ассистент В.В. Сазонов)

При изучении практических проблем естествознания и техники часто возникает потребность использовать специальные геометрические методы. На кафедре общей математики исследуются вопросы построения устойчивых геометрических алгоритмов и специальных способов представления кривых и поверхностей для решения прикладных задач различной природы. Ведутся работы по разработке программных продуктов для решения задач, связанных с управляемыми и неуправляемыми космическими полетами.

В.В. Сазоновым был разработан новый эффективный алгоритм отыскания освещенных участков поверхностей в плоскопараллельном световом потоке, который был применен для анализа неуправляемого движения относительно центра спутника Фотон-11, совершавшего полет в 2005 году и для математического моделирования движения космического аппарата с солнечным парусом.

Ведутся работы по моделированию электромагнитного поля вокруг Международной космической станции при работе радиолокационного оборудования во время процесса сближения и стыковки космических кораблей. Исследования 2011-12 года поддержаны грантом Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых.

Фоменко Т.Н.?

Денисов В.Н.?



## КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## ТЕОРИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ИГР И КОЛЛЕКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ

(член - корреспондент РАН Д. П. Костомаров, доц. И.Н. Иновенков, доц. Е.Ю. Ечкина)

На кафедре ведется широкий круг исследований в области компьютерного моделирования сложных систем и процессов

.В последние годы большое внимание уделяется изучению процессов взаимодействия сверхсильных и сверхкоротких лазерных импульсов с веществом. Эти процессы представляют огромный интерес, как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения многочисленных приложений. Одним из наиболее интересных и важных является создание компактных лазерных ускорителей для широкого применения адронной терапии при лечении онкологических заболеваний.

Создание подобного ускорителя невозможно без детального полномасштабного компьютерного моделирования взаимодействия лазерных импульса с веществом. Единственно пригодным методом является создание виртуальной компьютерной среды, состоящей из десятков и сотен миллиардов частиц. Для получения реалистических результатов в разумное время необходимо использование суперкомпьютеров.

Корпускулярные методы компьютерного моделирования находят широкое применение для проектирования масс-спектрометров нового поколения, позволяющих с чрезвычайно высокой степенью точности определить массы составных частей биомолекул. Решение этой проблемы особенно важно для задач протеомики и исследовании структур протеинов. Это является важнейшим элементом в разработке новых лекарственных препаратов, действующих на клеточном уровне. Кроме того, в рамках реализации этой программы на кафедре создан новый код идентификации протеинов, превышающий по эффективности существующие аналоги. Принципиальной особенностью этих задач является необходимость использования новейших технологий параллельного программирования.

Сейчас большое внимание в России и других развитых странах мира уделяется термоядерной энергетике и проблеме управляемого термоядерного синтеза. Сотрудники кафедры стояли у истоков создания вычислительной физики плазмы и накопили большой опыт в решении многомерных нелинейных задач высокотемпературной физики плазмы.

В этих задачах большую роль играет явление перезамыкания магнитного поля, которое представляет фундаментальный физический процесс, ответственный, в частности, за солнечные вспышки, ионосферные бури и ускорение космических лучей вследствие возникновения тонких областей с очень большим электрическим током, так называемых токовых слоев. Компьютерное моделирование процесса перезамыкания требует виртуозного владения всем арсеналом современной вычислительной математики, компьютерной графики и методов параллельного программирования. На кафедре созданы уникальные

трехмерные коды, позволяющие детально исследовать это явление.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

(проф. Ф.С. Зайцев, снс А.А. Лукьяница, снс А.Г. Шишкин)

На кафедре автоматизации научных исследований рассматриваются широкий круг задач прикладной математики, возникающих как в естественных, так и в социальных науках. В рамках настоящего семинара представлены многие классические и современные аспекты прикладной математики, такие как развитие математических моделей сложных процессов различной природы; развитие и применение адаптивных методов, подходов data mining и техники искусственного интеллекта к решению задач анализа экспериментальных данных в различных областях науки: физике, экономике, медицине, геологии и др.; цифровая обработка сигналов различного характера: изображений, звука, речи, фильмов, биометрических данных; классификация и визуализация многомерных данных; проведение вычислительного эксперимента на новейших вычислительных комплексах и компьютерах с параллельной архитектурой с использованием технологий GRID и MPI. Участники семинара работают над созданием научно-практической базы для проекта «Виртуальный токамак». Проект обобщает достижения российской научной школы в решении проблемы управляемого термоядерного синтеза (УТС), полученные во взаимодействии с ведущими российскими центрами: РНЦ «Курчатовский институт», ТРИНИТИ, Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН, НИИСИ РАН, МГУ, ИПМ РАН, МГТУ, ИПУ РАН и другие. Полноценная реализация комплекса «Виртуальный токамак» на основе применения и развития новых информационных технологий является одним из стратегических направлений в решении проблемы УТС, повышающим эффективность разработки и сокращающим сроки перехода к термоядерной энергетике. Нами осуществляется научное сотрудничество с ведущими институтами и компаниями: UKAE Fusion (Великобритания), EFDA JET (Евросоюз), Samsung (Корея), Hitachi (Япония), Институт ядерного синтеза (Россия), ВНИИЭФ (г. Саров, Россия), Газпром (Россия), Главное военно-медицинское управление МО РФ, DDC микроэлектроника (США), ITV системы безопасности и видеонаблюдения (Россия), Сеульский национальный университет (Корея), Ливерпульский университет (Великобритания). Проводимые в рамках семинара исследования имеют высокий международный научный уровень, и были поддержаны грантами Президента РФ, Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Москвы, Министерства науки и образования, Министерства атомной энергии.

## Литература:

Ф.С. Зайцев. Математическое моделирование эволюции тороидальной плазмы. – Москва: МАКС Пресс, 2005, 524 с.

А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин. Цифровая обработка видеоизображений. – М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009, 518 с.



## КАФЕДРА СИСТЕМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

**РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ***(академик В.П. Иванников, кандидат ф.-м.нау. Д.Ю. Турдаков)*

На кафедре ведется разработка распределенных систем для анализа сверхбольших объемов данных. Совместно с Институтом системного программирования РАН был создан набор инструментов для интеллектуального анализа текстов, основанный на инновационных методах обработки, с использованием онтологий, автоматически извлекаемых из Веб-ресурсов. Разработчикам удалось создать полностью автоматические решение для организации и мониторинга коллекций документов без дорогостоящих модификаций, которые необходимы в современных системах. Это позволило кардинально улучшить существующие техники и предоставить новую функциональность, такую как тематическая группировка ключевых слов и построение выразительной иерархической онтологии, описывающей коллекцию текстов.

На основе предложенного набора инструментов для анализа текстов была разработана инновационная система для исследования контента, позволяющая производить семантический поиск и навигацию по контенту, описание контента, рекомендацию контента и источников контента, автоматическое описание источников контента. Система значительно повышает эффективность поиска и навигации путем ранжирования результатов, которое учитывает семантику, и путем добавления фасетной навигации. Разработанная система может использоваться для мониторинга новостей и анализа информации, извлекаемой из традиционных периодических изданий и сети Интернет; организации библиотек электронных документов; анализа различных документов в организациях для построения корпоративных баз знаний или повышения эффективности систем документооборота.

Кроме того, ведутся работы по анализу социальных взаимосвязей в Вебе. Разрабатываются распределенные алгоритмы для решения таких задач как поиск статических и динамических групп в социальных сетях; анализ потоков распространения информации и определение наиболее влиятельных персон; идентификация пользователей на основе анализа структуры социального графа. Разработанные алгоритмы используются для создания масштабируемых систем с использованием открытых технологий в области облачных вычислений, таких как Apache Hadoop.

Проводимые исследования поддерживаются грантами Российского фонда фундаментальных исследований. Результаты работ в данных областях опубликованы в трудах наиболее известных международных конференций.

**АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММ***(профессор С.С. Гайсарян)*

На кафедре системного программирования ведутся исследования по оптимизации программ в компиляторах GCC и LLVM для современных архитектур (ARM, x86) с применением межпроцедурных оптимизаций, машинно-зависимых оптимизаций, инструментов автоматической настройки компилятора для данной программы и архитектуры, а также динамической компиляции с учетом конкретного профиля пользователя. Совместно с Институтом системного программирования РАН проводятся работы по созданию инструментов выявления дефектов и уязвимостей в исходном коде программ с помощью статического и динамического анализа, а также работы по анализу бинарных программ для восстановления их алгоритмов и структур данных на разных процессорных архитектурах. Исследуются технологии эмуляции (на базе QEMU) и виртуализации процессорных архитектур, в том числе для высокопроизводительных вычислений. Кроме того, изучаются компиляторные технологии для поддержки эффективного программирования многоядерных, гибридных (содержащих акселераторы типа GPU) и массивно-параллельных архитектур, создаются инструменты профилирования и анализа кода для помощи программисту при распараллеливании программ на эти архитектуры.

В 2010-2011 годах работы поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований, программами отделения математики Российской академии наук, государственными контрактами в рамках федеральных целевых программ с Министерством образования и науки РФ, а также коммерческими контрактами с отечественными и зарубежными компаниями.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ***(профессор В.А. Крюков, кандидат ф.-м.наук В.А. Бахтин)*

Эта работа ведется кафедрой совместно с сотрудниками ИПМ имени М.В. Келдыша РАН.

Созданная в рамках этих работ система DVM широко известна, применяется при разработке прикладных программ для решения на параллельных вычислительных системах различных научно-технических задач, используется для обучения параллельному программированию на факультете ВМК и в некоторых других ВУЗах.

Основные направления работ следующие:

1. Использование гибридных языков высокого уровня, объединяющих разные модели параллельного программирования;
2. Использование языков с неявным параллелизмом (например, стандартных языков Фортран или Си), при программировании на которых не требуется знать архитектуру параллельной ЭВМ, а отображение таких программ на параллельные машины осуществляется автоматически;
3. Автоматизация преобразования имеющихся последовательных программ в эффективные параллельные программы на гибридных языках или языках с неявным параллелизмом.



### ТЕХНОЛОГИИ БАЗ ДАННЫХ

*(профессор С.Д. Кузнецов)*

На кафедре ведутся разработки технологий управления данными. Осуществляется как мониторинг новых алгоритмов, используемых при разработке систем управления базами данных, так и разработка собственных подходов. Работы ведутся в области реляционных СУБД и в популярном сегодня направлении NoSQL СУБД.

В ходе исследований были разработаны новый метод управления параллельными транзакциями на основе концепции версионности, метод хранения полуструктурированных данных на основе описывающей схемы, новые структуры данных для поддержания индексов. Данные работы легли в основу множества научных публикаций, по основным полученным результатам аспирантами кафедры защищены диссертации.

Особое внимание уделяется практической части. Большинство новых алгоритмов внедряется в XML СУБД Sedna. Sedna является полноценной СУБД с поддержкой ACID транзакций, триггеров, индексов и моделью данных XML. В качестве языка запросов в Sedna используется язык XQuery. Эта система разработана силами сотрудников кафедры системного программирования и Института системного программирования. В XML СУБД Sedna используется большинство технологий, применяемых в современных СУБД. В частности, на её основе работает система управления контентом отдела верификации фактов Большой российской энциклопедии, а так же система запросов к Википедии wikiXMLDB.

Проводимые исследования поддерживаются грантами Российского фонда фундаментальных исследований.

### КОРРЕКТНОСТЬ ПРОГРАММ

*(профессор А.К.Петренко)*

На кафедре развиваются методы проектирования, анализа и верификации программного обеспечения и моделей микропроцессоров, позволяющие достичь высоких характеристик надежности, безопасности и интероперабельности сложных программных и аппаратных систем. В основе работ лежат формализация и моделирование требований, автоматизация работы с получаемыми моделями и интегральная инструментальная поддержка всех фаз жизненного цикла программных разработок, сфокусированная на обеспечении корректности и контроле соответствия создаваемых моделей и программного кода.

В рамках полученных результатов развиваются методы автоматического построения тестов на базе формальных моделей в виде сочетания конечных автоматов с программными контрактами, методы автоматической генерации тестовых данных на основе комбинаторных подходов и автоматического разрешения ограничений, методы верификации кода на основе интеграции статического анализа и проверки моделей с «ленивой» абстракцией на основе контрпримеров. Разработана унифицированная архитектура

средств автоматизации тестирования, позволяющая сочетать строгость и мощь методов тестирования на основе формальных моделей с гибкостью и расширяемостью, необходимыми для успешного применения в практике разработки программ.

Подобные подходы используются в программных инструментах автоматизации построения тестов на основе формальных моделей, входящих в технологию UniTESK ([www.unitesk.com](http://www.unitesk.com)), в инструментах генерации тестов для имитационного тестирования моделей микропроцессоров (<http://hardware.ispras.ru>), в инструментарии обеспечения интероперабельности и совместимости приложений ОС Linux с различными дистрибутивами этой операционной системы (<http://ispras.linuxfoundation.org>), в комплексе инструментов для анализа требований, проектирования и тестирования программного обеспечения авионики, в инструментах автоматической верификации драйверов ОС Linux, в инструментах тестирования библиотек математических функций и др.

Исследования в этих областях ведутся совместно с лидерами развития информационных технологий как Microsoft, Intel, Fraunhofer, а также рядом европейских университетов. В России результаты этих исследований активно внедряются в процессы промышленной разработки программ в компаниях телекоммуникационного сектора и компаниях-разработчиках программного и аппаратного обеспечения, в первую очередь, авионики и других критических приложений.

### ИНТЕРНЕТ, РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВЫЕ БИБЛИОТЕКИ

*(профессор В.А.Серебряков)*

Под руководством профессора В.А. Серебрякова в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН работает исследовательская группа, включающая студентов и аспирантов и выпускников кафедры системного программирования. Этим коллективом разработаны концептуальная модель и открытая архитектура федеративной распределенной среды информационных систем по научно-технической информации.

Главные направления исследований – изучение и освоение формальных основ и технологий современных подходов к построению распределенных информационных систем, в частности, цифровых библиотек в Интернет. Основой являются технологии Semantic Web, образующие так называемую пирамиду Semantic Web.

Результаты исследований используются также и в учебном процессе - на спецсеминарах студенты изучают элементы этой пирамиды и обучаются технологиям применения полученных знаний для реализации практических систем

## КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ

### КВАНТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

(профессор Ю.И.Ожигов)

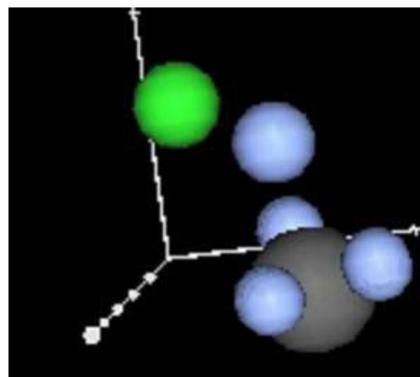


Рис.1. Рассеяние с образованием молекулы метанола ( кадр видеоклипа)



Рис.2. Устройство для квантовой криптографической связи

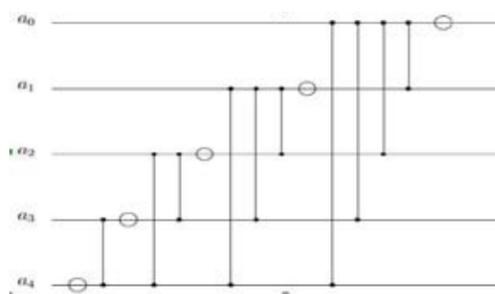


Рис.3. Реализация обратного преобразования Фурье на квантовом компьютере

Научно-исследовательская работа кафедры связана с проектом квантового компьютера – абстрактного устройства, производящего особый тип вычислений – квантовые вычисления. С их помощью можно было бы строить реалистические динамические модели сложных систем. Подобное моделирование является пока нерешенной фундаментальной проблемой; например, до сих пор еще не создано надежного компьютерного симулятора химии. Это позволило бы, например, управлять биохимией на самом низком, квантовом уровне. Проблема заключается в экспоненциальном росте вычислительных ресурсов, необходимых для такого моделирования; по современным представлениям, с этой задачей в полном объеме не сможет справиться никакой суперкомпьютер. Другой тип задач, который можно было бы принципиально ускорить на квантовом компьютере – задачи перебора. Для них построены алгоритмы Гровера и Шора, существенно превосходящие классические аналоги. В работах профессора кафедры Ю.И.Ожигова (см. ссылки в архиве <http://xxx.lanl.gov>, quant-ph, Ozhigov) установлены некоторые нижние оценки сложности квантовых алгоритмов, например, оптимальность алгоритма Гровера и предложены реалистические схемы квантовых компьютеров, в частности фермионного типа.

Фундаментальное явление декогерентности (спонтанный распад сложных квантовых состояний) открывает особые и совершенно новые возможности для вычислительных математиков и программистов, потому что актуальной задачей становится моделирование сложных систем на классических компьютерах. Эти модели не могут опираться только на решение уравнений типа уравнения Шредингера, а должны содержать так называемое прямое моделирование, то есть воспроизведение реального процесса, в котором можно было бы учесть вклад даже одной элементарной частицы. Квантовые алгоритмы указывают путь построения эффективных программ моделирования квантовых систем на классических компьютерах и суперкомпьютерах; это направление интенсивно развивается в мире. На кафедре разрабатывается программная среда для такого моделирования – ExperimentWork (демо-версия доступна через <http://qi.cs.msu.ru/tracker>), создаются специализированные программы моделирования фрагментов химии, в частности, защищена кандидатская диссертация. Развитие подобных моделей основано на применении к квантовой теории представлений конструктивной математики, что составляет так называемый физический конструктивизм; здесь также есть ряд интересных математических задач. Более подробную информацию и контакты можно получить по ссылкам с сайта кафедры <http://qi.cs.msu.ru>.

Важная часть научных исследований – квантовая криптография. Использование квантовых состояний фотонов для передачи информации позволяет построить

криптографические каналы, полностью защищенные от прослушивания. Квантовая криптография обеспечивает степень защиты передаваемой информации, которая недостижима в криптографии классической. Подслушивание квантового канала невозможно в силу законов физики; любая попытка несанкционированного проникновения в такой канал надежно детектируется с учетом реального шума в канале. Группой профессора кафедры С.Н.Молоткова создана реальная квантовая криптографическая линия и получен ряд патентов в этой области. Им были предложены новые квантовые криптографические протоколы, а также принцип релятивистской квантовой криптографии, который может использоваться для безопасной связи со спутниками.

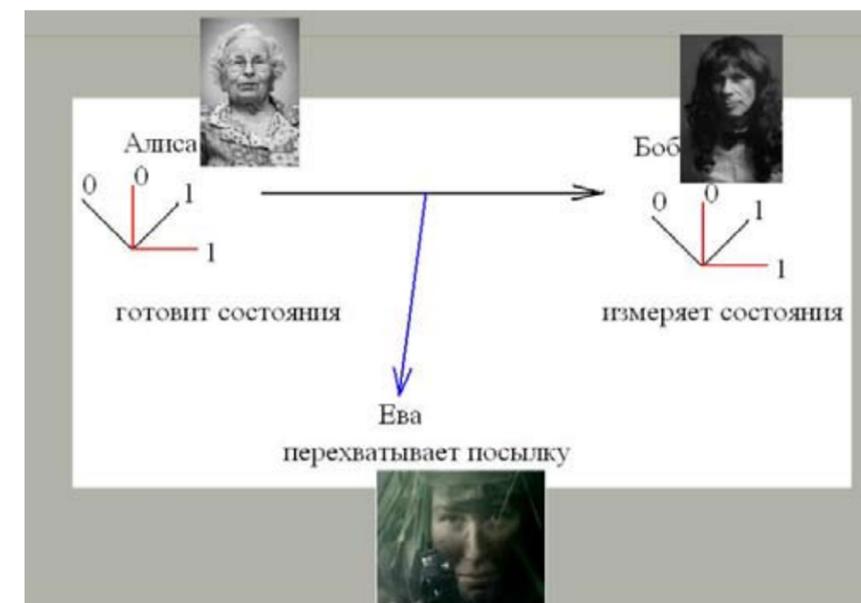


Рис.6. Схема квантовой криптографии

#### Литература:

1. Ю.И.Ожигов, *Конструктивная физика*, изд. РХД, 2010.
2. С.Н.Молотков, *Квантовая криптография и теоремы В.А.Котельникова об однократных ключах и отсчетах*, УФН, 2006, том 176, 7, стр. 777-788.
3. Y.Ozhigov, *Lower bounds of a quantum search for an extreme point*, Proc.Roy. Soc.Lond. A455 (1999) 2165-2172.
4. Y.I.Ozhigov, *Constructive approach to quantum computer*, Quantum computers and computing, 2008. V. 7. № 1. P. 133-140.
5. Y.I. Ozhigov, *Genetic Simulation of Quantum Dynamics by the Principle of Quantum State Selection*, Quantum Computers and Computing, 2007, 7 (1), pp. 27-47.
6. *Quantum Computers Speed Up Classical with Probability Zero*, Chaos Solitons Fractals 10 (1999) 1707-1714
7. Y.Ozhigov, L.Fedichkin, *Quantum Computer with Fixed Interaction is Universal*, JETP Lett. 77, 328-330 (2003)

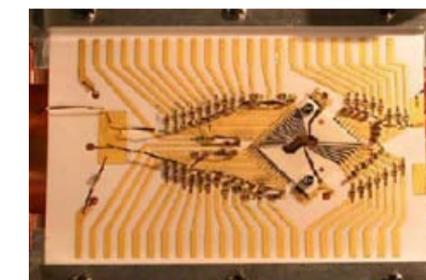


Рис.4. Квантовый процессор на ионах в ловушке (до нескольких десятков кубит)

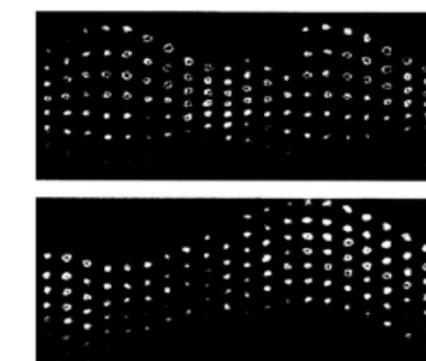


Рис.5. Фотография ионов Mg+ в ловушке Пауля, участвующих в колебательных модах

## КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

### ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ.

На кафедре проводятся исследования широкого класса обратных задач для уравнений математической физики, возникающих в различных сферах научно-практической деятельности, в частности:

Развиваются методы решения прямых и обратных задач электромагнитного зондирования неоднородных сред.

Создан и программно реализован метод интегральных уравнений для расчета трехмерных задач применительно к геофизической разведке полезных ископаемых.

1. Совместно с Научным центром сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н.Бакулева разработаны устойчивые методы решения задачи Коши для уравнений Лапласа в трехмерной области, предназначенные для исследования сердечной активности.

2. В прикладных задачах геологоразведки создан и реализован итерационный метод определения неоднородного проводящего тела в земле по известному магнитному полю на земной поверхности. Развиваются методы решения прямых и обратных задач электромагнитного зондирования неоднородных сред. Создан и программно реализован метод интегральных уравнений для расчета трехмерных задач применительно к геофизической разведке полезных ископаемых.

3. В области компьютерной обработки изображений на основе прямых и обратных задач для двумерного уравнения диффузии со специальными коэффициентами и источником разработаны методы диффузионной фильтрации и повышения резкости изображений.

4. В области проектирования и создания летательных аппаратов разработаны численные методы решения задач о трехмерных течениях вязких несжимаемых жидкостей и газов на основе модифицированной системы уравнений Навье-Стокса. Создано программное обеспечение для моделирования трехмерных турбулентных течений на многопроцессорных ЭВМ с общей и разделяемой памятью. Разработаны алгоритмы визуализации, ориентированные на изучение особенностей турбулентных течений.

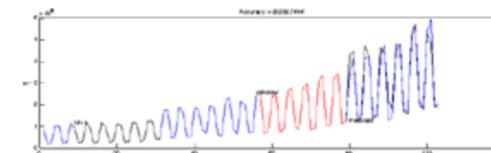
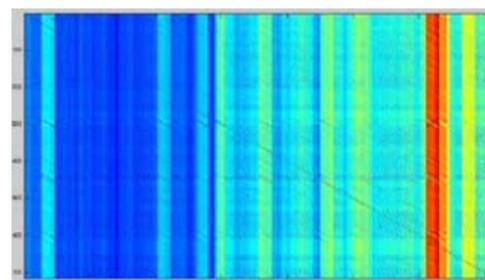
5. Для оптических систем с обратной связью, формирующих световые поля с заданными свойствами, разработана теория оптимального управления преобразованием пространственных аргументов в квазилинейных параболических функционально-дифференциальных уравнениях для управления пространственно-временной динамикой светового сигнала в самоорганизующихся оптических системах.

–ИС.3. –РЕМЕННЫЕ РЕДЫ И ИХ ПРОГНОЗ.

–ИС.4. ТАТРИЦА БЛИЗОСТЕЙ ОТРЕЗКОВ ВРЕМЕННОГО РЕДА

Рис.1. построение *Тхорошихі* признаковых пространств.

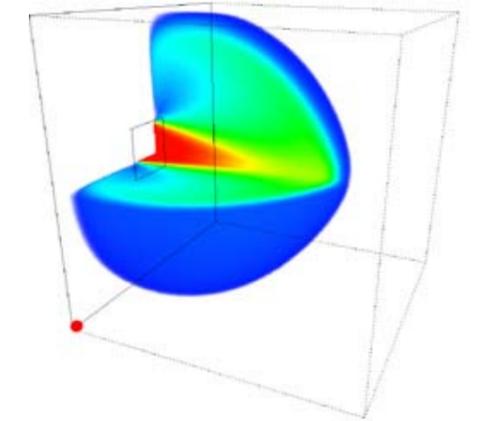
–ИС.2. –ЕГРЕССИЄ В *Тхорошихі* ПРИЗНАКОВЫХ ПРОСТРАНСТВАХ.



### СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

(профессор В.М. Пасконов, доцент Б.И. Березин, доцент С.Б. Березин, аспирант Н.А. Сахарных)

На кафедре ведутся исследовательские работы по созданию вычислительных алгоритмов для решения задач аэрогидродинамики с применением высокопроизводительных вычислительных систем различных архитектур. Применяемые математические методы основаны на разностной аппроксимации системы уравнений Навье-Стокса. Для графических процессоров NVidia Tesla создаются алгоритмы вычислительного моделирования течений жидкостей и газов в трехмерных областях сложной формы, применимые, например, в задаче моделирования морских течений. Оптимизация численного метода для графических процессоров позволяет решать на персональном компьютере задачи, доступные ранее только суперкомпьютерам. Одним из ограничений графических процессоров является объем доступной памяти, поэтому «классические» суперкомпьютеры также не остаются в стороне: так для суперкомпьютера IBM BlueGene/P с распределенной памятью реализован алгоритм моделирования поведения раздела двух несмешивающихся жидкостей, использующий программный интерфейс MPI для организации взаимодействия вычислительных узлов.

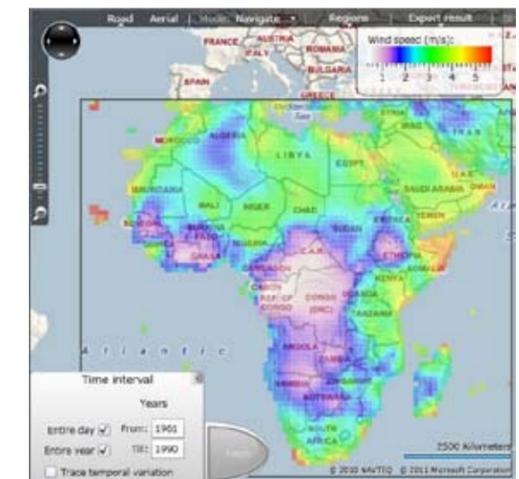


Визуализация входа струи жидкости в канал

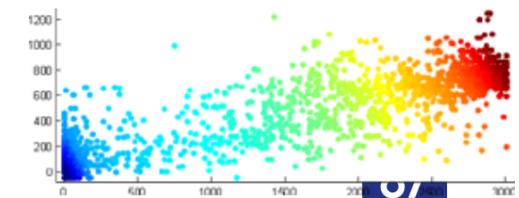
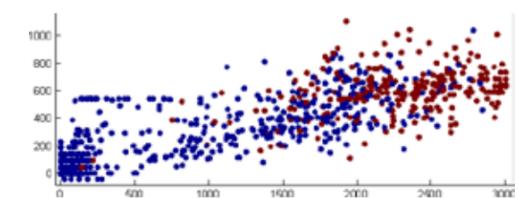
### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

(доцент С.Б. Березин, младший научный сотрудник Д.В. Войцеховский, аспирант Н.А. Скоблов)

Создаются эффективные средства хранения, обработки и визуализации многомерных массивов, являющихся основной структурой данных во многих задачах вычислительного моделирования и обработки изображений. На основе созданных технологий в облачной среде Windows Azure развернут масштабируемый программный сервис для вычисления средних значений климатических параметров, таких как температуры приземного воздуха, количества осадков, влажности почвы. Такая информация является необходимой при создании глобальных моделей биологических систем. В основу сервиса положены вычислительные алгоритмы, позволяющие автоматически выбирать источник климатических данных с целью минимизации ошибки пространственно-временной интерполяции. Сервис успешно применяется при решении практических задач группой вычислительной экологии Microsoft Research. Научно-исследовательская работа по проектированию и созданию данного программного сервиса является хорошим примером успешного сотрудничества специалистов факультета с ведущими мировыми исследовательскими центрами.



визуализация средней за 30 лет скорости ветра





## КАФЕДРА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На кафедре Нелинейных динамических систем и процессов управления ведутся исследования в области теории автоматического управления по следующим направлениям:

Основы современной теории динамических систем:  
современная теория динамических систем;  
нелинейный анализ в управления и оптимизации;  
обратные задачи теории управляемых динамических систем;  
математические основы информатики;  
символическая динамика;  
синергетика и хаос.

Исследование динамики нелинейных динамических систем и процессов управления:

теория обратной связи;  
управление при неопределенности;  
стохастическое управление;  
дифференциальные игры;  
обратные задачи теории управления;  
теория идентификации динамических систем;  
нейро-сети, нейро-динамика и управление.

Компьютерные методы исследования динамических систем:  
программные комплексы для анализа, синтеза и имитации нелинейных динамических систем;  
методы компьютерной визуализации при моделировании управляемых систем;  
теория реализации и математические модели управляемых систем;  
распределенные вычисления.

Роботехника

- разработка алгоритмов управления роботами

За последние годы коллективом кафедры написаны следующие монографии:

- Коровин С.К., Фомичев В.В. Наблюдатели состояния для линейных систем с неопределенностью, Москва, Физматлит, 2007. 224 с.
- Левченко В.С. Новые методы теории выбора. М.: МАКС Пресс, 2007. 95 с.
- Ильин А.В., Коровин С.К., Фомичев В.В. Методы робастного обращения динамических систем. Москва, Физматлит, 2009. 224 с.
- Смольяков Э.Р. Методы решения конфликтных задач. М.: МАКС Пресс, 2010. 241 с.

Помимо теоретических задач в рамках кафедрального практикума студенты

и аспиранты решают различные прикладные управления мобильными роботами. На кафедре имеются различные типы мобильных роботов, на которых возможно моделирование перспективных методов управления элементами сложных робототехнических систем.

Так на базе мобильных роботов Khepera решаются задачи управления отдельными мобильными роботами и группами таких роботов с целью выполнения общей задачи, отработки их взаимодействия.

На базе роботов Koala, Lego моделируются задачи управления мобильными роботами на основе информации от различных датчиков, видеокамер и т.д.

На базе «механической руки» Katana решаются задачи управления механическими манипуляторами. Студентами и аспирантами кафедры был создан «робот-шахматист», т.е. механическая система, способная играть в шахматы с человеком за реальной шахматной доской.



визуализация средней за 30 лет скорости ветра

Визуализация входа струи жидкости в канал

**КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ****МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВАРИАЦИОННОЙ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ**

(Руководители: академик РАН Г. И. Марчук, профессор д.ф.-м.н. В. И. Агошков, профессор д.ф.-м.н. В. Б. Залесный)

Научный проект направлен на разработку и создание современной Информационно-вычислительной системы. Разрабатываемая система предназначена для анализа и решения сложных обратных задач и задач управления для нелинейных математических моделей геофизической гидродинамики, в которых помимо функций, описывающих состояние системы, «дополнительными» неизвестными могут быть функции начальных состояний, граничных условий и источников (если они известны с недостаточной точностью).

Система создается как модульный комплекс с клиент-серверной архитектурой, обеспечивающий выполнение вычислений в непрерывном, круглосуточном режиме (с плановыми остановками для выполнения технического обслуживания) для адекватного описания процессов, происходящих в Мировом океане, и прогнозирования основных гидрофизических полей Мирового океана и отдельных его акваторий (океанов и морей). В качестве исходных данных используется информация, получаемая из базы данных «Мировой океан - ИВМ РАН».

Разрабатываемая система в совокупности с последующей разработкой теории и методов расчета физических полей в океане и атмосфере позволит перейти к более успешному решению ряда прикладных и практических задач, вытекающих из нужд экономики и национальной безопасности государства и общества в целом. Примерами главнейших из них являются: осуществление оперативного краткосрочного и долгосрочного прогнозов погоды; определение районов повышенной биологической продуктивности и прогноз рыбных скоплений; обеспечение безопасности мореплавания и выбор оптимальных маршрутов судов; установление контроля над экологией моря, в частности при определении степени загрязненности морской поверхности нефтепродуктами; определение динамики ледяного покрова; обнаружение и прослеживание особо опасных явлений типа штормовых нагонов и цунами. Научный коллектив состоит из 16-и сотрудников, подробная информация доступна на сайте [www.adeq.inm.ras.ru](http://www.adeq.inm.ras.ru).

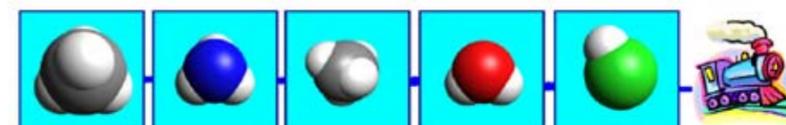
**МАТРИЧНЫЕ И ТЕНЗОРНЫЕ МЕТОДЫ В МНОГОМЕРНЫХ ЗАДАЧАХ**

(Руководитель: член-корреспондент РАН Е. Е. Тыртышников)

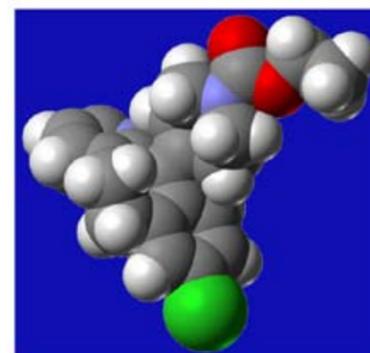
Обычно мы имеем дело с числом измерений 2 или 3, иногда 4 (пространство плюс время). Но есть важные классы задач (прежде всего в квантовой химии и молекулярной динамике), где число измерений  $d$  велико. Пусть, например,

данные задачи ассоциируются с некоторым  $d$ -мерным массивом размера  $2 \times 2 \times \dots \times 2$ . Число элементов в таком массиве равно  $2^d$ . При  $d = 280$  число  $2280 > 1083$ , т.е. больше числа атомов в видимой части Вселенной! Чтобы обозначить проблему, говорят о проклятии размерности. Для такого типа задач одних лишь суперкомпьютерных технологий мало, необходимы принципиально новые математические методы.

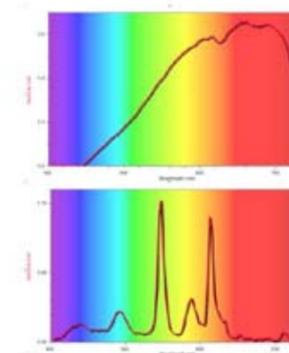
Как строятся такие методы? Это предмет большого научного направления на кафедре вычислительных технологий и моделирования. А новые идеи, определяющие успех этого направления, возникли совсем недавно: в 2009 году в группе Е.Е.Тыртышникова появилось новое малопараметрическое разложение  $d$ -мерных массивов — разложение в тензорный поезд (ТТ-разложение), причем вместе с эффективными алгоритмами, позволяющими преодолевать проклятие размерности. При вычислении  $d$ -мерного интеграла, в частности,  $d$ -мерный массив значений  $f$  приближается тензорным поездом, при этом лишь по малой части значений (метод крестовой ТТ-интерполяции). ТТ-разложение открывает ряд уникальных возможностей для решения задач вычислительной химии, аппроксимации функций от многих переменных, минимизации сложно вычисляемых функционалов, обработки данных разного типа (изображений, видео, сигналов и т.д.)



Эффективное сжатие данных (тензорный поезд)



Сложные молекулы

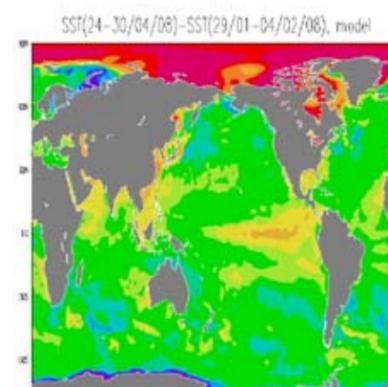
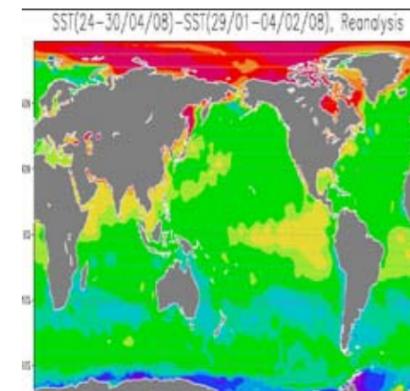


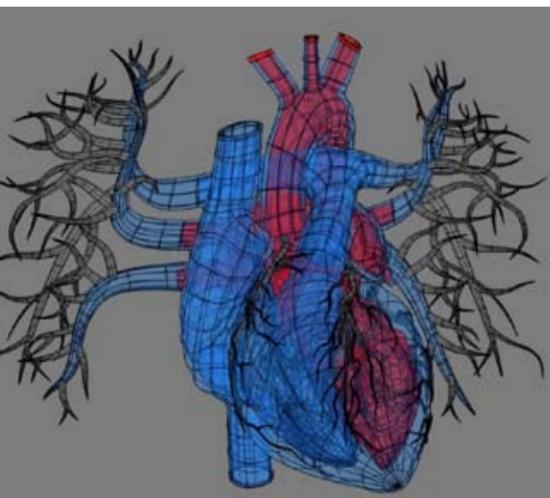
Химические свойства

**СОВМЕСТНАЯ МОДЕЛЬ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ СИСТЕМЫ АТМОСФЕРА – СУША – ЛЕД – ОКЕАН**

(Руководители: доцент д.ф.-м.н. М.А. Толстых, член-корреспондент РАН Р.А. Ибраев)

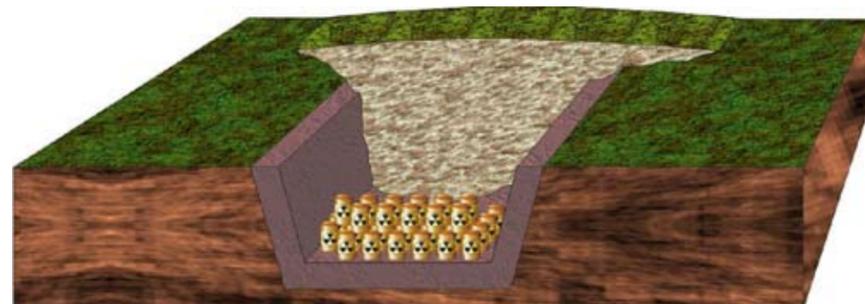
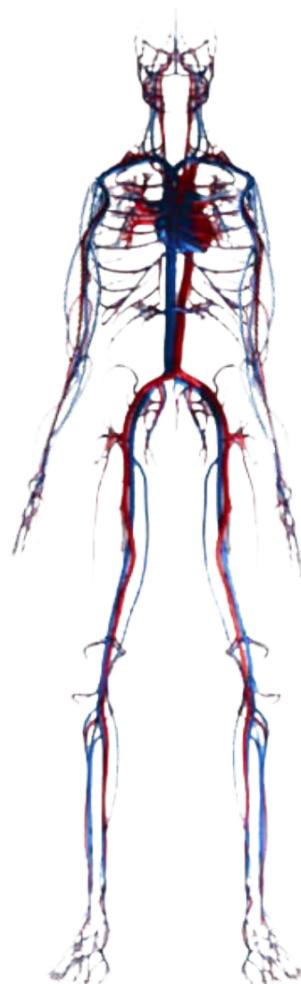
Одним из направлений исследований, выполняемых на кафедре ВТМ, является численный прогноз погоды. В Институте вычислительной математики РАН совместно с Гидрометцентром России была создана вычислительно





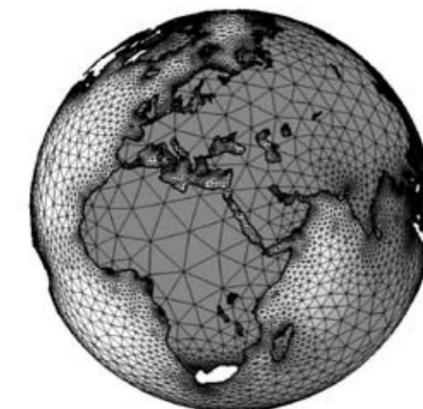
эффективная оригинальная полулагранжева глобальная конечно-разностная модель общей циркуляции атмосферы ПЛАВ (ПолуЛагранжев перенос Абсолютного Вихря), ориентированная на численный прогноз погоды [1]. Модель прошла оперативные испытания и в 2010 году внедрена в Гидрометцентре России в качестве основного численного метода глобального среднесрочного прогноза погоды. Эта же модель была принята в качестве одного из компонентов вероятностной системы сезонного прогноза аномалий приземной температуры.

Во многих центрах атмосферных исследований и метеослужбах разработаны и реализованы системы сезонного прогноза на основе совместных моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Под прогнозом здесь, конечно, понимается не детерминистический прогноз состояния атмосферы, а прогноз среднесезонных аномалий атмосферной циркуляции по отношению к среднеклиматическим значениям для данного сезона. Сезонные прогнозы с помощью совместных моделей атмосферы и океана пытаются использовать предсказуемость атмосферной циркуляции за счет изменения граничных условий атмосферы, например, температуры поверхности океана. Такие прогнозы нужны, в частности, в сельском хозяйстве (сумма эффективных температур в теплый сезон) и в энергетике (оценка необходимого запаса топлива в отопительный сезон).



Модель общей циркуляции атмосферы ПЛАВ была соединена с  $\sigma$ -моделью общей циркуляции океана INMSOM (Institute of Numerical Mathematics Sigma Ocean Model) [2]. Пространственное разрешение ПЛАВ составляет  $1.40625^\circ$  по долготе,  $1.125^\circ$  по широте, 28 уровней по вертикали. Модель включает параметризацию процессов на поверхности суши, учитывающую влияние растительности. Пространственное разрешение модели океана составляет  $1^\circ$  по долготе,  $0,5^\circ$  по широте и 40 неравномерно расположенных уровней по глубине. С помощью реализованной совместной модели были выполнены расчеты «исторических» прогнозов на срок до 4 месяцев по реальным начальным данным для каждого из 4-х сезонов за 1989 - 2010 гг. Результаты показывают перспективность применения совместной модели для оперативного прогнозирования среднесезонных аномалий приземной температуры и давления на уровне моря, особенно в тропиках. На рисунке [ris\_cm\_a.tif] показано изменение температуры поверхности океана за 3 месяца по данным наблюдений, а на рисунке [ris\_cm\_b.tif] – по

данным совместной модели атмосферы и океана. Видно, что по сравнению с наблюдениями в совместной модели поле поверхностной температуры океана несколько сглажено вблизи берегов. Это связано с недостаточным разрешением модели океана. Для адекватного воспроизведения основных энергонесущих процессов (синоптических вихрей) в модели океана необходимо достичь пространственного разрешения не менее 5-10 км. В настоящее время ведутся работы по реализации совместной модели системы атмосфера – суша – лед – океан, имеющей разрешение в океане порядка 10 км [4].



#### Литература:

1. М.А. Толстых, *Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды*, М.-Обнинск: ОАО ФОР, 2010, 111 стр.
2. М.А. Толстых, Д.Б. Киктев, Р.Б. Зарипов, М.Ю. Зайченко, В.В. Шашкин, *Воспроизведение сезонной атмосферной циркуляции модифицированной полулагранжевой модели атмосферы*, Изв. РАН, сер. ФАиО, 2010, Т.46, N2. Стр. 149-160.
3. Дианский Н. А., Багно А. В., Залесный В. Б. *Сигма-модель глобальной циркуляции океана и ее чувствительность к вариациям напряжения трения ветра* // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. № 4. С. 537-556.
4. A.S. Sarkisyan, R.A. Ibrayev, N.G. Iakovlev, 2010. *High resolution and four-dimensional analysis as a prospect for ocean modelling*, Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling, 25(5), 477-496

#### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГЕОФИЗИКЕ И БИОМАТЕМАТИКЕ

(Руководитель: профессор д.ф.-м.н. Ю.В. Василевский)

Студенты кафедры вовлечены в разработку ряда интересных и востребованных численных моделей. Модели течения крови в сердечнососудистой системе применимы для прогноза последствий патологий или хирургических вмешательств в кровеносную систему. Модели течений и переноса в геологических средах применяются при расчете распространения загрязнений из хранилищ и могильников радиоактивных отходов для оценки их безопасности. Модели течения многофазных многокомпонентных смесей активно используются в нефтедобыче. Модель распространения переменного тока в человеческом теле необходима для определения состава тела человека при оптимизации биоимпедансного анализа. Модель трехмерного течения вязких и вязко-пластичных жидкостей со свободной поверхностью применяется при моделировании последствий природных и техногенных катастроф, таких как прорывы дамб, лавины, оползни.

Подробная информация доступна на сайте <http://www.inm.ras.ru/research/>

**КАФЕДРА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА  
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЙ**

В научной тематике кафедры можно выделить два основных направления. Первое из них – это краевые задачи для уравнений смешанного типа.

В спектральной теории Е.И.Моисеевым получены фундаментальные результаты, связанные с представлением решений краевых задач в виде биортогональных рядов. Для обоснования полученных разложений им доказаны важные утверждения о полноте и базисности соответствующих систем собственных и присоединенных функций.

Другое мощное средство изучения краевых задач – метод интегральных (прежде всего, сингулярных) уравнений, с помощью которого Е.И.Моисеевым и его учениками успешно исследованы многие неклассические краевые задачи.

Большой интерес представляют вопросы, связанные с расположением спектра несамосопряженных задач, в частности, задач с нелокальными краевыми условиями и с краевыми условиями с наклонной производной. В этой области Е.И.Моисеевым и его учениками установлены важные результаты о расположении спектра, о принадлежности спектра так называемой карлемановской параболы и о свойствах корневых функций.

Особое место в тематике кафедры занимают краевые задачи со спектральным параметром в граничном условии.

Второе направление, разрабатываемое в тесном взаимодействии с сотрудниками кафедры общей математики, связано с граничными задачами оптимального управления колеблющимися объектами. Решению этих задач посвящен большой цикл совместных работ В.А.Ильина и Е.И.Моисеева, опубликованных в последние годы. В частности, для большого промежутка времени, кратного длинам струны, в терминах обобщенного решения волнового уравнения, допускающего существование конечной энергии в любой момент времени, проведена оптимизация граничных управлений колебаниями струны для различных задач первого, второго и третьего рода.

**Книги сотрудников кафедры:**

*Е.И.Моисеев, А.П.Прудников, А.М.Седлецкий. Базисность и полнота некоторых систем элементарных функций. – М.: Вычислительный центр имени А.А.Дородницына РАН, 2004. –146 с.*

ЛАБОРАТОРИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ

## ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

профессор А.С. Крылов, н.с. А.С. Лукин, н.с. А.В. Насонов

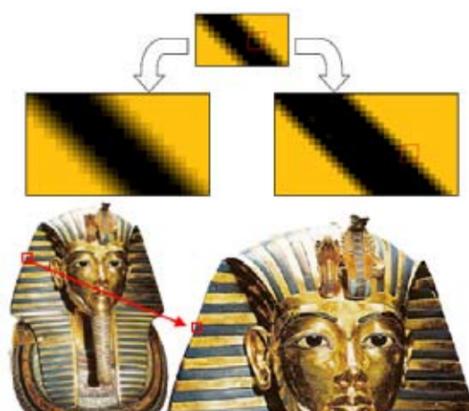
Коллектив лаборатории развивает научные направления, связанные с математическими методами и разработкой алгоритмов для обработки изображений, которые можно объединить в три группы задач:

## Увеличение изображений

Построение изображения высокого разрешения по изображению низкого разрешения является часто встречающейся задачей при обработке изображений.

Мы проводим исследования в двух направлениях:

1. Реконструкция изображения высокого разрешения как решение некорректной обратной задачи для задачи построения изображения низкого разрешения по изображению высокого разрешения. Для её решения используются регуляризирующие методы, основанные на методе регуляризации Тихонова.
2. Алгоритмы интерполяции низкой сложности для увеличения разрешения в реальном времени. Разрабатываются быстрые адаптивные к контурам алгоритмы увеличения изображений и видео. Используются идеи фрактальных алгоритмов для повышения качества контуров.



## Суперразрешение

Использование нескольких изображений низкого разрешения может повысить качество изображений высокого разрешения. Процесс реконструкции изображения высокого разрешения по нескольким изображениям низкого разрешения называется суперразрешением.

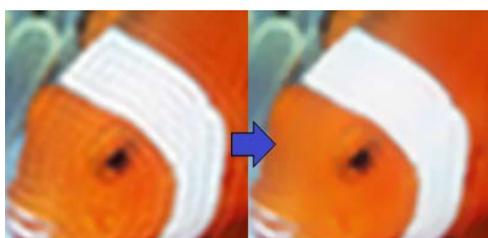
Исследования проводятся по трём направлениям:

1. Высококачественное суперразрешение, основанное на использовании регуляризирующих методов.
2. Неитерационное суперразрешение. Метод взвешенного медианного усреднения используется для комбинации значений пикселей исходных изображений низкого разрешения.
3. Суперразрешение видеопоследовательностей. Для построения кадра высокого разрешения используется два изображения: текущий кадр низкого разрешения и результат повышения разрешения предыдущего кадра.

## Повышение качества изображений

Разрабатываются и применяются регуляризирующие методы для:

1. Повышения резкости.
2. Подавления эффекта Гиббса (ложного оконтуривания).
3. Подавления шума.



## АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

профессор А.С. Крылов, н.с. А.В. Насонов, ст. преп. М.М. Мизотин

Еще одной областью применения математических методов является анализ изображений. В настоящее время основными задачами лаборатории в этой области являются:

## Метрики изображений

Разработка метрик оценки качества алгоритмов масштабирования и повышения качества изображений. Метрики используются для объективного сравнения изображений. Мы рассматриваем задачу оценки алгоритмов повышения качества изображений: повышения разрешения, подавления эффекта Гиббса, повышения резкости. Основная идея состоит в нахождении областей типичных артефактов алгоритмов повышения качества изображений: размытия и эффекта Гиббса.

## Ключевые точки и дескрипторы

Поиск ключевых точек и построение локальных дескрипторов является одной из базовых задач анализа изображений. Алгоритм поиска ключевых точек и построения дескрипторов основан на разложении изображения в ряд по круговым гармоническим функциям Гаусса-Лагерра. Для ускорения вычислений используется взаимосвязь между круговыми гармоническими функциями Гаусса-Лагерра и двумерными функциями Эрмита, а также разработанный в лаборатории быстрый проекционный метод Эрмита.

Темы текущих исследований:

1. Повышение стабильности дескрипторов ключевых точек Гаусса-Лагерра к проективным и фотометрическим преобразованиям.
2. Адаптация поиска ключевых точек и построения дескрипторов к цветным изображениям.

В лаборатории в настоящее время развиваются направления обработки медицинских изображений и биометрия.

## ОБРАБОТКА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

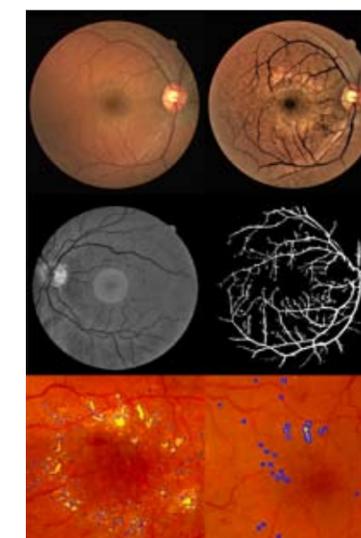
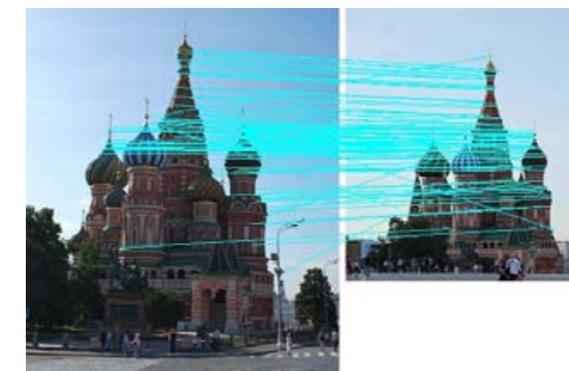
профессор А.С. Крылов, н.с. А.В. Насонов

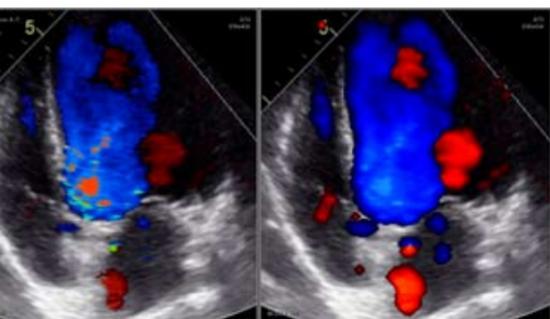
Обработка медицинских изображений является крайне важным направлением, прогресс в котором позволяет достичь действительно жизненно важных результатов и где применение математических методов реально востребовано практикой.

Примером работы лаборатории в этой области является обработка и анализ изображений глазного дна, проводимая совместно с кафедрой офтальмологии факультета фундаментальной медицины МГУ. Работа включает в себя разработку системы автоматической обработки изображений глазного дна, помогающей врачу в постановке диагноза.

Основными этапами обработки и анализа являются:

1. Этап предварительной обработки.





2. Детектирование структурных элементов: диска зрительного нерва, макулы, кровеносных сосудов.
3. Обнаружение экссудатов.
4. Анализ кровеносных сосудов.

В области обработки медицинских изображений ведутся работы по различным направлениям. Примерами являются разработка регуляризирующих методов подавления наложения информации ультразвуковых Доплеровских изображений (информация в каждой точке изображения задана только ее значением по модулю  $2\pi$ ), анализ магниторезонансных изображений мозга при травмах и др.

### БИОМЕТРИЯ

профессор А.С. Крылов, Е.А. Павельева

Биометрия представляет собой совокупность автоматизированных методов и средств идентификации человека, основанных на его физиологической или поведенческой характеристике. В лаборатории основным направлением исследований в этой области является разработка алгоритмов идентификации людей по изображениям радужной оболочки с помощью проекционного метода Эрмита.

Рисунок радужной оболочки уникален для каждого человека и не меняется в течение жизни. Идентификация людей с помощью распознавания радужной оболочки является более надёжной, чем по отпечаткам пальцев или изображению лица, потому что рисунок сетчатки является более случайным, чем лица или отпечатки пальцев.

Нами предложено применение аппарата функций Эрмита для предобработки и параметризации изображений радужной оболочки. Разложение информации об интенсивности радужной оболочки в ряд по собственным функциям преобразования Фурье позволяет проводить одновременно анализ сигнала и его преобразования Фурье. Эффективность метода показана на общепризнанной базе тестовых изображений радужной оболочки.

### АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА АУДИО-СИГНАЛОВ

и.с. Алексей Лукин, Максим Ткаченко

Общие математические методы, развиваемые в лаборатории, успешно применяются также для решения задач по обработке звуковых сигналов.

Примерами проектами по обработке аудио являются:

1. Подавление шума в аудио.
2. Многомасштабный анализ и обработка аудио сигналов.

Аудиосигналы могут быть преобразованы в двухмерное представление — спектрограмму — с помощью оконного преобразования Фурье (Short-Time Fourier Transform, STFT).

Многие методы обработки изображений могут быть применены к

спектрограммам с целью подавления шума, выделения инструментов, идентификации дикторов. Многомасштабные методы позволяют повысить точность анализа спектрограмм и уменьшить артефакты обработки с помощью STFT, такие как эффекты музыкального шума и эха.

### Исследования по этим направлениям нашли свое отражение в ряде научных работ и докладов:

A. S. Krylov, M. M. Mizotin. «Projection method for the Hankel transform» // *Integral Transforms and Special Functions*, Vol. 22, No. 6, June 2011, pp. 431–441.

D. V. Sorokin, M. M. Mizotin, A. S. Krylov. «Gauss-Laguerre Keypoints Extraction Using Fast Hermite Projection Method» // In: *International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR2011)*, LNCS, Vol. 6753. Burnaby, BC, Canada, June 2011, pp. 284–293.

A. С. Крылов, А. В. Насонов. Компьютерное повышение разрешения изображений с использованием методов математической физики. МАКС Пресс, Москва, 2011, 72 с.

Е. А. Павельева, А. С. Крылов. «Алгоритм сравнения изображений радужной оболочки глаза на основе ключевых точек» // *Информатика и её применения*, т. 5, вып. 1, 2011, с. 68–72.

S. Stankovic, I. Orovic, A. Krylov. «Video Frames Reconstruction based on Time-Frequency Analysis and Hermite projection method» // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2010, February 2010, pp. 6:1–6:11.

Д. В. Сорокин, А. С. Крылов. «Проекционный метод Лагерра для конечного преобразования Ганкеля произвольного порядка» // *Вестник МГУ. Серия «Вычислительная математика и кибернетика»*, № 4, 2010, с. 3–10.

A. V. Nasonov, A. S. Krylov. «Scale-space method of image ringing estimation» // In: *Proceedings of International Conference on Image Processing (ICIP09)*. Cairo, Egypt, 2009, pp. 2794–2797.

A. S. Krylov, A. V. Nasonov. «Adaptive image deblurring with ringing control» // In: *Fifth International Conference on Image and Graphics (ICIG 09)*. Xian, Shanxi, China, 2009, pp. 72–75.

A. S. Krylov, A. S. Lukin, A. V. Nasonov. «Edge-preserving nonlinear iterative image resampling method» // In: *Proceedings of International Conference on Image Processing (ICIP09)*. Cairo, Egypt, 2009, pp. 385–388.

N. Lyubimov, A. Lukin. «Audio Bandwidth Extension using Cluster Weighted Modeling of Spectral Envelopes» // In: *127th Audio Engineering Society Convention*. New-York, USA, October 2009, paper #7946.

Более подробную информацию о лаборатории, ее научных исследованиях и публикациях, о деятельности коллектива лаборатории можно получить на сайте лаборатории <http://imaging.cs.msu.ru/>



ЛАБОРАТОРИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ



Лаборатория Технологий программирования была образована в 2001 году на базе коллектива сотрудников и аспирантов кафедры АСВК...



Интеллектуальные системы мониторинга и анализа поведения пользователей, позволяющих организовать многоуровневый сбор и консолидацию данных...

пользователей. Разработанный подход позволяет значительно увеличить точность обнаружения спама при практически нулевом уровне ложных срабатываний.

Системы автоматизированного анализа производственных технологических процессов. Исследуются задачи мониторинга технологических процессов с целью выявления нештатных ситуаций...



## ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ



Создана в 1984 году и была первой научно-исследовательской лабораторией в области Информационных технологий на факультете ВМК. Основным объектом исследований лаборатории является поведение программ в распределенных вычислительных средах: разработка методов анализа функционирования встроенных систем управления сложными техническими объектами, структурный синтез и планирование вычислений, методы верификации программ.

Работы по разработке методов и средств анализа функционирования встроенных вычислительных систем включают создание теории функционирования таких систем, методов частотных характеристик поведения программ, методов оценки времени выполнения программ, включая задачу оценки времени выполнения программ в наихудшем случае, развитие методов и средств моделирования встроенных систем, включая спецификацию поведения и описание моделей компонентов встроенной системы, выполнение этих моделей, в том числе в реальном времени и во взаимодействии с реализованными «в железе» приборами (полунатурное моделирование), регистрацию, анализ и отображение событий в исследуемой системе.



В рамках направления «структурный синтез и планирование вычислений» ведутся следующие работы: разработка методов, алгоритмов и инструментальных средств построения расписаний для вычислительных систем реального времени, разработка методов, алгоритмов и инструментальных средств структурного синтеза вычислительных систем реального времени для «конструирования» специализированных алгоритмов для решения задач комбинаторной оптимизации, средств автоматического построения распознавателей предаварийных режимов работы сложных технических систем по обучающей выборке (в том числе систем, в управлении которыми участвует человек).

В рамках направления «исследование и применение методов верификации программ» ведутся следующие работы: исследование подходов, позволяющих применять методы верификации к сложным системам (верификация моделей параметризованных систем, верификация систем с бесконечным числом состояний), разработка и применение методов статического анализа программ, в частности, для анализа защищенности веб-приложений, проведение верификации встроенного ПО в соответствии с принятыми стандартами.

Результаты работ внедрены в: ОАО «ОКБ Сухого», ОАО «ЦНИИ «Электроприбор»» ЗАО НТЦ «Модуль» (среда моделирования и разработки программ для систем на основе процессора NeuroMatrix), ОАО «НИИВК им. М.А. Карцева» (средства автоматического построения распознавателей предаварийных режимов работы технических систем по обучающей выборке). Лаборатория ведет работы по созданию национальной платформы разработки встроенных систем с открытым кодом по заданию Минобрнауки РФ.

## ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ОБРАЗОВАНИИ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (ЛИСОНИС)

Лаборатория была создана в 1992 году. Основная область исследований – кибербезопасность информационных систем. Основные направления исследований:

- Сетевой мониторинг и аудит информационных систем;
- Обнаружение и предотвращение вторжений;
- Поиск программных уязвимостей в информационных системах;
- Обнаружение вредоносного программного обеспечения;
- Семантический анализ контента.

Мониторинг активности объектов в компьютерной сети можно производить для разных задач. Например, это могут быть задачи количественного и качественного учета сетевой активности (пассивный аудит) для систем управления сетью, биллинговых систем и т.п., контроль этой активности в соответствии с заданным набором правил (активный аудит) для автоматизации управления информационной системой, контроля политики безопасности и т.д. Данные аудита могут в дальнейшем использоваться для получения информации о поведении сетевых объектов с целью её анализа для выявления и предотвращения вторжений, а также для поиска программных уязвимостей в ресурсах информационной системы.

В указанных направлениях в лаборатории ведутся следующие работы:

- Разработка методов обнаружения компьютерных атак на основе анализа поведения объектов сети, с использованием, созданного в лаборатории, грамматического подхода.
- Создание программной среды высокоскоростного анализа сетевого трафика для задач информационной безопасности, используемая в ряде НИР по направлению защиты информации и обнаружения атак в сетях.
- Создание методов контроля поведения приложений средствами операционной системы с использованием грамматического подхода к описанию поведения.
- Разработка алгоритмов обнаружения вредоносного исполнимого кода в сетевом трафике, что может быть использовано для раннего обнаружения и предупреждения распространения вредоносного программного обеспечения в сети Интернет.
- Создание методов и средств прогнозирования эпидемий в сети Интернет.
- Исследование устойчивости скриптовых языков, часто используемых при создании веб-сервисов (такие как PHP, ASP.NET, JavaScript, и т.д.), к появлению различных программных уязвимостей в проектируемых сервисах, и, автоматизация поиска уязвимостей по исходному коду web-сервисов на одном из этих языков.

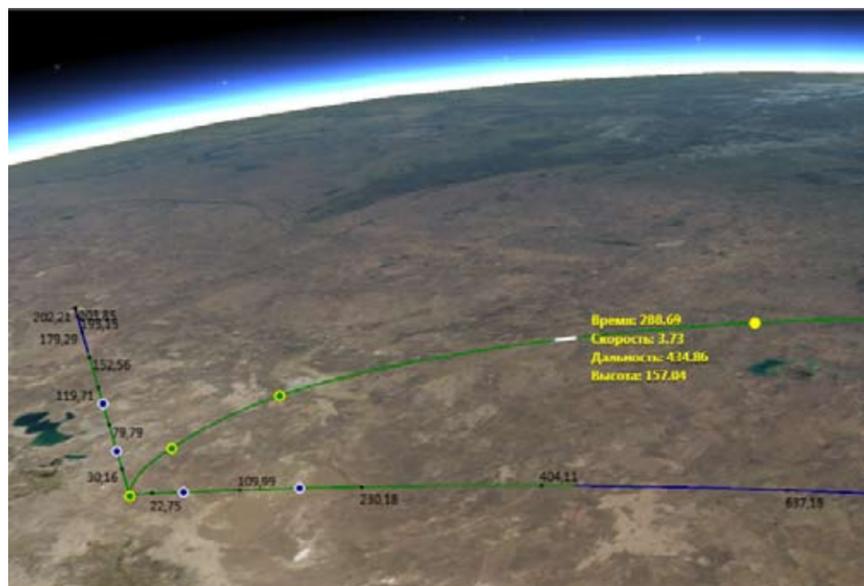
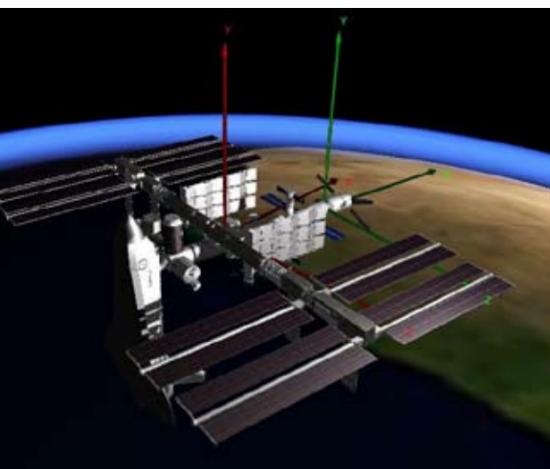
В результате выполнения опытно-конструкторских работ результаты исследований были воплощены в систему мониторинга активности сетевых объектов, обнаружения и предотвращения вторжений «Мониторинг-РВС», которая была аттестована для применения в органах гос. власти.



## МЕЖКАФЕДРАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ СВЯЗАННЫХ С УПРАВЛЯЕМЫМИ И НЕУПРАВЛЯЕМЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ПОЛетаМИ

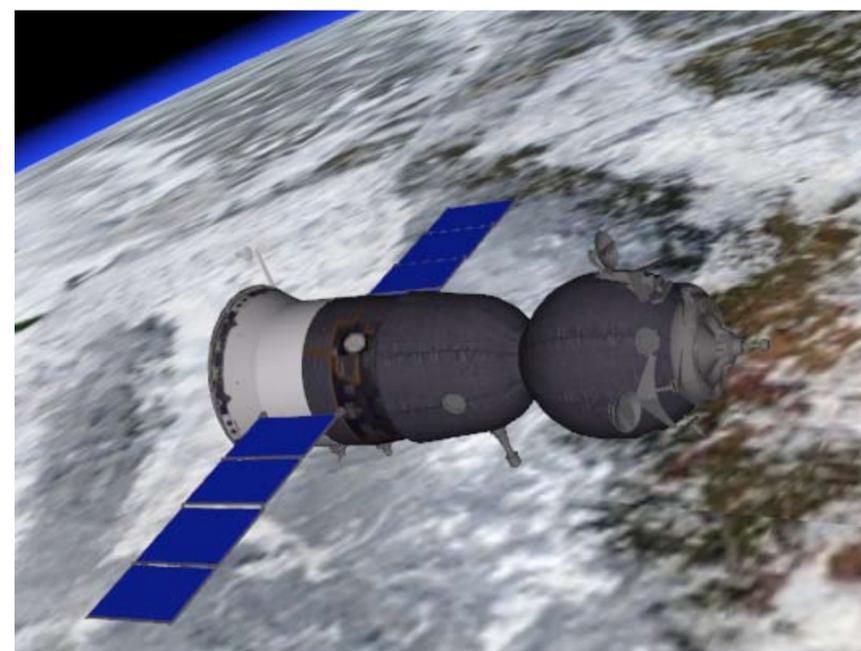
Коллектив сотрудников ВМК МГУ в составе доц. Березина С.Б, асс. Сазонова В.В., м.н.с. Войцеховского Д.В., асп. Скоблова Н.А. и др. занимается решением задач в области интерактивной трехмерной визуализации и математического моделирования, возникающих в космической технике. Разработанное коллективом программное обеспечение используется в практической деятельности РКК «Энергия» имени С.П. Королева, в том числе установлено на стенде главного конструктора. Результаты работы коллектива были представлены на стенде факультета на проходившем в 2011 году юбилейном авиасалоне МАКС'2011. Разработан пакет прикладного программного обеспечения для интерактивной трехмерной визуализации разномасштабных объектов, от масштабов в тысячи километров до деталей отдельных искусственных спутников Земли с характерными размерами в несколько сантиметров. Особенностью реализованного алгоритмического решения является точный расчет светотеневой обстановки с учетом положения Солнца и Луны, а также взаимного затенения объектов.



## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАНЕВРОВ МКС И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

В рамках работ по визуализации маневров МКС по изменению режима поддержания ориентации было разработано программное позволяющие

производить визуальную отладку циклограммы маневра. Разработанное программное обеспечение позволяет визуализировать моделируемый маневр, отобразить реальное положение станции на околоземной орбите, положение подвижных элементов конструкции (солнечные батареи, радиаторы систем охлаждения и т.д.), работу двигателей и светотеневую обстановку.



В настоящее время ведется работа по нескольким направлениям: разработка программного обеспечения для визуализации процесса сближения и стыковки с МКС грузовых и транспортных космических кораблей и математическое моделирование системы энергопотребления МКС.

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОРБИТУ ЗЕМЛИ

Для отображения поступающей телеметрической информации (ТМИ) во время выведения грузовых и транспортных космических кораблей на орбиту при помощи ракеты-носителя «Союз» было разработано специальное информационно-демонстрационное программное обеспечение для отображения поступающей ТМИ и трехмерной визуализации процесса выведения. Созданное в рамках этого проекта программное обеспечение используется на стенде главного конструктора РКК «Энергия» и других организациях, обрабатывающих ТМИ во время запуска. Ведется разработка аналогичного программного продукта для отображения ТМИ от ракеты-носителя типа «Протон».



## СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Доктор физико-математических наук  
В.В. Фомичев  
Председатель СМУ МГУ

Кандидат физико-математических наук  
И.Г. Шевцова  
Председатель СМУ ВМК МГУ 2000-2001 гг.

Доктор физико-математических наук  
А.В. Ильин  
Председатель СМУ ВМК МГУ 1999-2000 гг.



Совет молодых ученых (СМУ) факультета ВМК ведёт свою историю с советских времён, однако в период перестройки он не функционировал, и был заново воссоздан только в 1999 году по инициативе Сергея Андреевича Ложкина, заместителя декана по научной работе. Его идею поддержали и начали развивать три бывших однокурсника, в то время три молодых научных сотрудника факультета: Андрей Анатольевич Вороненко, Василий Владимирович Фомичев и Александр Владимирович Ильин. Именно благодаря их стараниям был заново принят устав Совета, определены его цели и задачи и, собственно, был сформирован первый состав возрождённого СМУ.

Большую помощь в организации факультетского Совета оказал М. В. Федотов, возглавлявший в то время Совет молодых ученых МГУ. Следует заметить, что ранее, в 80 годы на этом посту был другой молодой ученый, а ныне декан нашего факультета академик РАН Е. И. Моисеев. Хотя Михаил Валентинович и Евгений Иванович щедро и охотно делились своим опытом с молодым поколением, но новому составу пришлось работать в совершенно других условиях. Если в советские времена Совет молодых ученых МГУ располагал собственной строкой в бюджете (в начале восьмидесятых, составлявшей 80 000, а ближе к концу 65 000 рублей), имея возможность проводить выездные школы-семинары и конференции, печатать монографии молодых

ученых, то Совет молодых ученых в нынешнем варианте – это общественная организация, целью которой является информационная поддержка молодых учёных, помощь в установлении контактов с руководством факультета, помощь в их научной и организационной деятельности.

Число проектов, которыми занимается Совет молодых ученых, постоянно расширяется. На сегодняшний день одна из основных задач СМУ – проведение секции «Вычислительная математика и кибернетика» на международной ежегодной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». Если в первые годы численность участников была минимальна: 15–20 человек на 2 подсекции, то сейчас мероприятие стало широко известной площадкой, где студенты, аспиранты и молодые ученые пробуют свои силы в умении представлять научные исследования. Именно в рамках этой конференции у них появилась возможность проявить себя в научном мире: вынести на обсуждение свои новаторские идеи, познакомиться с новыми людьми, общаться с коллегами, обсуждая результаты своих научных изысканий, получить адекватную оценку своей деятельности. Благодаря росту интереса к подобным возможностям общения и обмену интеллектуальным опытом в последние годы в работе секции ВМК конференции «Ломоносов» принимает участие более 100 участников, разбитых на 8 подсекций. С 2002 года СМУ начал ежегодно выпускать сборник работ молодых ученых факультета ВМК МГУ. Если первый сборник насчитывал всего около 50 страниц и состоял лишь из 4 статей, то сборник 2009 года вырос до 200 страниц, и в нем опубликовали свои результаты 20 молодых авторов.

С 2003 года поддерживается работа сайта [cs.msu.su](http://cs.msu.su), где можно увидеть информация о конференциях, грантах и школах для молодых ученых.

О высоком качестве дипломных работ факультета ВМК знали давно и многие, но идею проводить конкурс дипломных работ и публиковать лучшие из них предложил Совету молодых ученых Борис Иванович Березин. И, начиная с 2004 года СМУ осуществляет публикацию сборника тезисов лучших дипломных работ факультета.

Надо сказать, что молодые ученые факультета неоднократно становились лауреатами самых престижных конкурсов. Лауреатами конкурса РАН для молодых ученых были: Фомичев В.В. и Ильин А.В. (1999), Петровский М.И. (2005), Дьяконов А.Г. (2008), медали РАН для студентов: Дьяконов А.Г., Рево П.А., Чабаккаури Г.Д. (2000), Вежневцев А.П. (2005), Симонян К.А., Кулешов А.А. (2009). Премия Европейской Академии наук: Ильин А.В. (1999). Премия имени И.И. Шувалова: Фомичев В.В. (2007), Вороненко А.А. (2008). Конкурс молодых ученых МГУ: Зайцев Ф.С. (1996); Ильин А.В. и Фомичев В.В. (1998), Вороненко А.А. (2001), Дьяконов А.Г. (2004), Шевцова И.Г. (2007), Дарьин А.Н. (2008) и многие другие. И в этом так же заслуга СМУ, который помогал молодым сотрудникам факультета при подаче документов на различные конкурсы, грантовые и стипендиальные программы.

В заключении хочется отметить, что СМУ ВМК поддерживает активные связи, как с советами молодых ученых других факультетов, так и Советом молодых ученых МГУ, который с 2010 года возглавляет – один наших активистов В.В. Фомичев, продолжив славную традицию его предшественников.



Доктор физико-математических наук  
А.А. Вороненко



Кандидат физико-математических наук  
М.В. Федоров