

**ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

ЛАБОРАТОРИИ



К 80-летию ИПУ РАН

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ
им. В.А. Трапезникова
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

Лаборатории

Москва
ИПУ РАН
2019

УДК 007: 681.5: 681.3: 658.5

ББК 32.81: 32.965: 20

И57

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. Лаборатории. – М.: ИПУ РАН, 2019. – 212 с. – ISBN 978-5-91450-230-7.

В книге рассказывается об истории и сегодняшнем дне научных подразделений Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), которому в июне 2019 г. исполнилось 80 лет.

- Главный редактор:** Д.А. Новиков
- Зам. главного редактора:** М.В. Губко
- Редакционная коллегия:** И.Н. Барабанов, Н.Н. Бахтадзе, В.Н. Бурков, А.А. Галяев, А.О. Калашников, О.П. Кузнецов, В.В. Кульба, В.Г. Лебедев, А.С. Мандель, П.П. Пархоменко, Б.Т. Поляк, В.Ю. Рутковский
- Авторский коллектив:** более ста сотрудников ИПУ РАН, ИСА РАН, ИППИ РАН, ИПИ РАН и др.
- Автор компоновки и дизайна книги:** А.С. Мандель
- Фотографии:** В.М. Бабиков, В.М. Кондаков, М.В. Пятницкая
- Рабочая группа:** И.И. Барладян, Е.В. Нижегородцева, М.В. Пятницкая, А.Б. Токмакова
- Компьютерная вёрстка:** А.С. Мандель

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	5
<i>Лаборатория № 1 «Динамических информационно-управляющих систем» им. Б.Н. Петрова</i>	<i>7</i>
<i>Лаборатория № 2 «Технических средств управления»</i>	<i>14</i>
<i>Лаборатория № 3 «Систем логического управления»</i>	<i>26</i>
<i>Лаборатория № 6 «Проблем качественного анализа и синтеза систем управления» им. А.Г. Бутковского</i>	<i>32</i>
<i>Лаборатория № 7 «Адаптивных и робастных систем» им. Я.З. Цыпкина</i>	<i>37</i>
<i>Лаборатория № 8 «Герминальных систем управления» им. Ю.П. Портнова-Соколова</i>	<i>41</i>
<i>Лаборатория № 11 «Интеллектуализации дискретных процессов и систем управления»</i>	<i>45</i>
<i>Лаборатория № 16 «Динамики нелинейных процессов управления» им. Е.С. Пятницкого</i>	<i>55</i>
<i>Лаборатория № 17 «Автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов»</i>	<i>58</i>
<i>Лаборатория № 18 «Компьютерной графики»</i>	<i>64</i>
<i>Лаборатория № 19 «Многосвязных систем управления»</i>	<i>70</i>
<i>Лаборатория № 20 «Модульных систем обработки данных и управления»</i>	<i>74</i>
<i>Лаборатория № 21 «Статистической обработки информации» ...</i>	<i>79</i>
<i>Лаборатория № 22 «Информационного обеспечения управления движущимися объектами»</i>	<i>82</i>
<i>Лаборатория № 24 «Структурного анализа и прогнозирования состояния объектов»</i>	<i>88</i>
<i>Лаборатория № 25 «Теории выбора и анализа решений» им. М.А. Айзермана</i>	<i>92</i>
<i>Лаборатория № 27 «Технической диагностики и отказоустойчивости»</i>	<i>97</i>

<i>Лаборатория № 29 «Системной интеграции средств управления»</i>	107
<i>Лаборатория № 30 «Планирования и оперативного управления предприятиями»</i>	114
<i>Лаборатория № 31 «Распределённых информационно-аналитических и управляющих систем» им. И.В. Прангишвили</i>	117
<i>Лаборатория № 33 «Управления развитием крупномасштабных систем»</i>	124
<i>Лаборатория № 37 «Систем с разрывными управлениями»</i>	128
<i>Лаборатория № 38 «Управления по неполным данным»</i>	133
<i>Лаборатория № 40 «Интеллектуальных систем управления и моделирования»</i>	140
<i>Лаборатория № 41 «Идентификации систем управления»</i>	150
<i>Лаборатория № 45 «Оптимальных управляемых систем» им. В.Ф. Кротова</i>	157
<i>Лаборатория № 46 «Систем поддержки принятия решений»</i>	161
<i>Лаборатория № 49 «Проектирования автоматизированных систем управления многоцелевыми объектами»</i>	164
<i>Лаборатория № 57 «Активных систем»</i>	168
<i>Лаборатория № 67 «Экономической динамики и управления инновациями»</i>	171
<i>Лаборатория № 68 «Теории расписаний и дискретной оптимизации»</i>	174
<i>Лаборатория № 69 «Управления сетевыми системами»</i>	176
<i>Лаборатория № 70 «Математических методов анализа многоагентных систем»</i>	179
<i>Лаборатория № 77 «Вычислительной кибернетики»</i>	181
<i>Лаборатория № 79 «Сложных сетей»</i>	185
<i>Лаборатория № 80 «Киберфизических систем»</i>	189
<i>Летопись становления лабораторий</i>	192



Дорогие коллеги!

Созданный в 1939 году как Институт автоматики и телемеханики (в дальнейшем добавилась детализация – «технической кибернетики») АН СССР, Институт прошел долгий и насыщенный путь, добился ярких теоретических и прикладных результатов. В 1969 году он был переименован в Институт проблем управления АН СССР.

В Институте работали или работают: 14 академиков РАН, 10 членов-корреспондентов РАН, 3 Героя Социалистического труда, 10 лауреатов Ленинской премии, 43 лауреата Государственной премии, 5 лауреатов Премии Совета министров СССР, 16 заслуженных деятелей науки и техники.

Сегодня в Институте трудится около 1000 сотрудников, в том числе – более 120 докторов наук, более 250 кандидатов наук.

В издании «ИПУ РАН: научные направления» история Института описывается как история развития основных научных направлений теории управления:

- теория систем управления;
- управление подвижными объектами и навигация;
- технические средства управления;
- управление в промышленности, энергетике, транспорте и сельском хозяйстве;
- информационные технологии в управлении;
- управление системами междисциплинарной природы,

каждое из которых детализируется на ряд поднаправлений, со своими отцами-основателями и их научными школами.

В издании «ИПУ РАН: прикладные разработки» отражён опыт и (в большей степени) текущее состояние работ Института по приложениям теории управления в самых разных областях (авиация и космос, морские подвижные объекты, энергетика, связь, промышленность, экономика, медицина и др.).

За 80 лет нашими учёными получены результаты мирового уровня (многие из которых названы их именами), развиты целые научные направления, созданы научные школы, основаны добрые традиции. Обо всем этом – настоящая книга, «ИПУ РАН: лаборатории», посвящённая истории лабораторий Института, но не только ей, а ещё и тому, как Институт живёт в настоящее время, каковы его научные интересы и достижения.

Директор ИПУ РАН,
член-корреспондент РАН

Д.А. Новиков



Лаборатории



ЛАБОРАТОРИЯ № 1

ДИНАМИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ им. Б.Н. Петрова

Лаборатория создана в структуре Института автоматики и телемеханики АН СССР 7 февраля 1952 г. Первым заведующим лабораторией был назначен заведующий Отделом автоматического регулирования и управления Института доктор технических наук, профессор Борис Николаевич Петров (впоследствии академик и вице-президент Академии наук СССР).



**Основатель
и первый зав. лаб. № 1
Борис Николаевич Петров**

В лаб. № 1 под руководством академика Б.Н. Петрова им самим и его учениками были сформулированы фундаментальные принципы теории управления, разработаны новые разделы теории и предложены оригинальные методы исследования. Среди них: метод структурных преобразований схем автоматических систем и адекватный математический аппарат – алгебра структурных схем, методы интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений, теория инвариантности, и в частности необходимые условия физической реализуемости условий абсолютной инвариантности (сегодня эти условия широко известны в мире как принцип двухканальности Б.Н. Петрова), теория нелинейных инвариантных систем с запаздыванием и комбинированных систем, новый класс систем – системы двухкратной инвариантности, обобщение условий инвариантности на случай статистически заданных возмущений, развиты идеи двухканальности в информационных и измерительных устройствах.

Б.Н. Петров неоднократно участвовал в заседаниях знаменитого Совета главных конструкторов, возглавляемого С.П. Королёвым. В 1954 г. Институту автоматики и телемеханики Постановлением Правительства было поручено возглавить исследования по управлению двигательной установкой межконтинентальной составной двухступенчатой ракеты Р-7, разрабатывавшейся С.П. Королёвым, и Борис Николаевич был назначен научным руководителем этих работ. Начиная с 1956 г. важным направлением работ Б.Н. Петрова стала разработка теории и систем управления искусственными спутниками Земли. Он внёс существенный вклад в создание многоместных пилотируемых кораблей-спутников, автоматических станций, запускаемых к Луне, систем мягкой посадки автоматических аппаратов на Луну. Являясь председателем Совета «Интеркосмос», Б.Н. Петров лично участвовал в решении многочисленных научных, организационных и технических проблем при подготовке международного проекта «Союз-Аполлон» (СССР-США).

Под руководством Б.Н. Петрова лаб. № 1 всегда была генератором и разработчиком новых идей, кузницей лучших научных кадров Института. За годы суще-

ствования лаборатории из её состава выделились новые научные подразделения: лаб. № 6 (первый заведующий – д.т.н., проф. Г.М. Уланов), № 8 (д.т.н., проф. Ю.П. Портнов-Соколов), № 22 (академик С.В. Емельянов), № 42 (д.т.н., проф. В.Ю. Рутковский), № 48 (д.т.н., проф. В.А. Викторов).

В 70-е гг. XX столетия лаб. № 1 под руководством Б.Н. Петрова вела работы по нескольким основным направлениям:

– Исследование и разработка структур специализированных бортовых цифровых вычислительных средств летательных аппаратов (д.т.н. Ф.В. Майоров, д.т.н. Ю.В. Ковачич, к.т.н. В.В. Бельгий, к.т.н. А.М. Шевченко). Исследование архитектур и методов повышения отказоустойчивости бортовых вычислительных комплексов (к.т.н. Э.М. Мамедли, А.П. Курдюков). Результаты разработок были реализованы в бортовой системе управления первого отечественного космического аппарата многоразового использования «Буран».

– Исследование методов гармонической линеаризации в применении к системам с логическими законами управления. Логическое управление позволяет обеспечить высокое быстродействие, точность, требуемое качество процесса, высокую надёжность функционирования системы, а в случае необходимости повышенную экономичность управления с помощью простых и надёжных технических средств. Разработка приближённого метода исследования автоматических систем, управляемых конечными автоматами. Исследование автоколебательных режимов в логических импульсных и импульсно-релейных системах управления (д.т.н. М.В. Старикова).

– Разработка принципов построения, структур и методов реализации бортовых информационно-управляющих систем высокоресурсных автономных космических аппаратов для исследований комет, малых планет и спутников больших планет Солнечной системы. В рамках этой проблемы самостоятельными направлениями были исследования по методам управления и технической диагностике бортовых ядерных энергоустановок и систем обеспечения целевых научных программ. Разработки лаб. № 1 в этой области (д.т.н., проф. В.В. Бугровский, к.т.н. Д.А. Гольдин, к.т.н. И.А. Вогау) были реализованы в техническом проекте НПО им. С.А. Лавочкина по созданию космического аппарата с ядерным источником энергии и двигателями малой тяги для исследования пояса астероидов.

– Разработка системы экологического мониторинга состояния природной среды на базе космических и авиационных фотосъёмок, математического моделирования динамики природных биотических и абиотических процессов и биогеоценозов, данных наземных полевых экспериментов (В.В. Бугровский, Д.А. Гольдин, И.А. Вогау). Предложена методика формирования сети региональных геоэкоинформационных центров, основанная на упомянутых трёх источниках экологической информации.

В 1983 г. лаб. № 1 возглавил лауреат Государственной премии СССР, доктор технических наук, профессор Борис Викторovich Павлов, ставший руководителем и



Борис Викторovich Павлов

участником исследований и разработок, начатых при Б.Н. Петрове и продолженных сотрудниками лаборатории.

В лаборатории развивались новые теоретические и прикладные исследования:

- Построение новых методов управления движущимися объектами в новой перспективной ветви теории управления – стохастической H_∞ -теории робастного управления (А.П. Курдюков). Полученные результаты позволяют повысить степень робастности к возмущениям при синтезе алгоритмов управления движением летательных аппаратов, что актуально для повышения безопасности и живучести летательных аппаратов.

- Оценивание состояния технического объекта управления как нелинейной системы с позиции анализа наблюдаемости и синтеза наблюдателей (д.ф.-м.н. К.Е. Старков). Изучались геометрические структуры множества универсальных входов для полиномиальной пары «система – закон наблюдения».

- Исследования в области создания высокоинтеллектуальных информационно-управляющих систем для сложных технических объектов и человеко-машинных комплексов (к.т.н. А.М. Чесноков, В.А. Бойченко). Изучались методы обеспечения интеллектуальной поддержки деятельности человека-оператора (членов экипажа, операторов бортовых систем и наземных комплексов управления) в быстро меняющейся обстановке при жёстких ограничениях на время принятия решений, недостаточной априорной и недостаточно достоверной текущей информации. В этой области разрабатывались эффективные методы обучения и представления баз знаний, механизмы вывода и другие методы искусственного интеллекта, реализуемые в виде прикладных программных и инструментальных средств.

Результаты теоретических исследований лаб. № 1 в последние годы активно внедряются в авиационной и космической технике. Для высокоэффективной системы управления движением летательных аппаратов в лаборатории разработан энергетический подход к управлению движением (А.М. Чесноков, А.М. Шевченко). Математической формулировкой нового подхода являются расширенное уравнение баланса энергий и обобщённый критерий полной удельной энергии летательного аппарата. На множестве объектов в условиях непрогнозируемых возмущений реализованы режимы управления, недостижимые в классе традиционных систем.



**Александр Петрович
Курдюков**

С 2007 г. лаб. № 1 возглавлял ученик Б.Н. Петрова, его последний аспирант, доктор технических наук, профессор А.П. Курдюков.

В этот период в лаборатории велись исследования по нескольким направлениям:

- Разработана теория, позволяющая синтезировать регуляторы для линейных многомерных стационарных систем, на вход которых поступает случайный гауссовский сигнал с неизвестными характеристиками. Решена задача построения субоптимальных анизотропийных регуляторов, проведена параметризация всех регуляторов, решающих субоптимальную анизотропийную задачу. Разработаны численные методы построения субоптимальных регуляторов на основе методов полу-

определённого программирования и линейных матричных неравенств. Получены результаты по синтезу анизотропных регуляторов заданного порядка (А.П. Курдюков, д.т.н. М.М. Чайковский, Е.А. Максимов). Построена анизотропная теория робастного управления для дескрипторных систем (к.т.н. А.А. Белов). Заложены основы построения теории анизотропного робастного управления (анализ и синтез) в случае, когда математическое ожидание входного сигнала не равно нулю (А.П. Курдюков, А.Ю. Кустов), что значительно расширяет класс возможных технических приложений теории. Разработаны методы анизотропной фильтрации (к.т.н. В.Н. Тимин, д.т.н. М.М. Чайковский). Все теоретические результаты применяются для синтеза систем управления движением летательных аппаратов (к.т.н. В.Н. Тимин, д.т.н. М.М. Чайковский).

– Проводились исследования по динамике нелинейных систем автоматического управления. Для некоторых классов нелинейных систем исследовались задачи локализации инвариантных множеств, и в частности задача локализации периодических орбит. Решение таких задач имеет большое значение для развития теории управления хаосом (К.Е. Старков).

– На основе энергетического подхода разработан метод объективного контроля массы летательного аппарата как задача идентификации одного из параметров движущегося объекта. Основные теоретические положения работы были реализованы при обработке записей бортовых регистраторов МСРП-64 (А.М. Шевченко, Г.Н. Начинкина).

– Проводились исследования, связанные с бортовыми измерениями различных физических полей – магнитного, гравитационного, теплового инфракрасного и др. Целью исследований является решение разного рода навигационных задач, задач управления, картировочных задач и задач геофизики. Исследования затрагивают многие аспекты, связанные с бортовыми измерениями: разработку алгоритмического и аппаратного обеспечения бортовых измерительных систем, определение навигационных параметров на основе информации различной природы, управление подвижным объектом в процессе измерений, решение прямых и обратных геофизических задач (Б.В. Павлов, к.т.н. А.К. Волковицкий, к.ф.-м.н. Е.В. Каршаков).



**Зав. лаб. № 1
Евгений Владимирович
Каршаков**

С 2018 г. лаб. № 1 возглавил кандидат физико-математических наук Е.В. Каршаков, ставший руководителем и участником исследований и разработок, проводившихся при А.П. Курдюкове, и продолжающихся в настоящее время. Е.В. Каршаков – крупный учёный в области бортовых измерений физических полей, окончил в 1998 г. механико-математический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. В 2002 г. защитил кандидатскую диссертацию. В Институте работает с 2005 г.

В лаборатории ведутся исследования по нескольким направлениям.

– Продолжается построение стохастической теории робастного управления, начатое в лаб. № 1 А.П. Курдюковым. В настоящее время эти исследования ведёт группа сотрудников лаборатории (А.А. Белов, О.Г. Андрианова, В.А. Бойченко, А.Ю. Кустов, В.Н. Тимин, М.М. Чайковский, к.ф.-м.н. А.В. Юрченков, И.Р. Белов). К середине 2010-х гг. анизотропийная теория была распространена на класс систем с параметрическими возмущениями. Процедура синтеза оптимальных анизотропийных регуляторов требовала решения системы, включающей три связанных уравнения Риккати, уравнение Ляпунова и алгебраического уравнения специального вида. Для решения систем уравнений такого рода был разработан вычислительный алгоритм на основе метода гомотопий. К настоящему времени получены результаты по решению задач анизотропийного управления и фильтрации в субоптимальной и γ -оптимальной постановках методами выпуклой оптимизации с использованием математического аппарата линейных матричных неравенств. Применение данного подхода позволило не только значительно упростить вычислительные алгоритмы расчёта анизотропийных регуляторов и оценщиков, но и привело к принципиально новым постановкам и решениям задач анизотропийной теории – к задачам многоканального управления и фильтрации, к анизотропийным законам управления, обеспечивающим расположение полюсов замкнутой системы в заданной области комплексной плоскости, к задачам синтеза анизотропийных регуляторов заданного порядка и заданной структуры (включая ПИД-регуляторы), к задачам синтеза анизотропийных законов управления и оценщиков для систем с параметрической неопределённостью. Продолжается активное развитие анизотропийной теории для алгебро-разностных систем и систем с переменными параметрами, для нецентрированных многомерных случайных последовательностей, для систем с мультипликативными случайными возмущениями (стохастическая модель параметрической неопределённости). Проводятся исследования по созданию аналога анизотропийной теории для непрерывных сигналов и систем – σ -энтропийной теории.

– Продолжаются исследования, связанные с бортовыми измерениями физических полей, проводимые группой сотрудников (Б.В. Павлов, А.К. Волковицкий, Е.В. Каршаков, Д.А. Гольдин, Е.В. Мойланен, М.Ю. Тхоренко, А.М. Гаракоев, к.ф.-м.н. И.А. Папуша). Разработаны методы и алгоритмы обработки данных систем измерения параметров различных физических полей на борту подвижного объекта. Основной задачей методов и алгоритмов является компенсация искажающего влияния возмущений, обусловленных, в первую очередь, движением объекта-носителя. Это искажающее влияние на практике во много раз превосходит значение полезного сигнала. Учёт параметров движения объекта связан с решением навигационных задач, которые также должны учитывать пространственную и временную изменчивость измеряемого поля. В основе разработанных методов лежит идея о том, что искажающее влияние, обусловленное влиянием объекта-носителя, может быть вычислено с привлечением соответствующей навигационной информации и исключено из показаний датчиков. Определение формы и величины искажающего влияния при измерениях различных физических полей может быть получено в процессе решения обратной задачи – задачи определения физических параметров по измерениям компонентов поля. Такие задачи относятся к классу некорректно поставленных, для их решения требуется применение методов регуляризации. Наибо-

лее эффективным оказалось использование Калмановского подхода, при котором неизвестные составляющие модели описываются случайным процессом, формирующие уравнения которого содержат белый шум в правой части. Ограничения на спектральную характеристику случайной составляющей является одним из способов регуляризации обратной задачи. В рамках разработанной теории Калмановский подход реализован как для линейных, так и для нелинейных систем. Построенная теория бортовых измерений пространственных физических полей позволила не только решить задачи измерения параметров гравитационного, магнитного и электромагнитного поля, но и существенно повысить точность различных бортовых систем. Полученные результаты измерений в дальнейшем применяются для решения задач навигации, обнаружения, пеленгации, геолого-геофизического картирования и поиска полезных ископаемых.

– В части концептуальных, прогрессивных теоретических направлений работ лаборатории лежит применение энергетического подхода к управлению движением в пространстве для решения новых задач в процессе выполнения полётного задания (А.М. Шевченко). Новыми задачами являются выполнения режимов взлёта и посадки воздушных судов. Математической формулировкой энергетического подхода является уравнение баланса энергий в системе «Объект–силовая установка–внешняя среда». На настоящем этапе работ в числе факторов внешней среды учитываются механические силы сопротивления качению со стороны шасси. Расширенное уравнение связывает режим работы двигателей, аэродинамические характеристики, ветровые возмущения и силы торможения, выражая их в единых обобщённых координатах – координатах удельной энергии.

– Для повышения надёжности воздушных перевозок и снижения предпосылок аварийных ситуаций на наземных режимах разрабатываются средства улучшения ситуационной осведомлённости пилота. В основе этих средств лежит методика прогнозирования впереди лежащей траектории движения воздушного судна по взлётно-посадочной полосе и при наборе необходимой высоты. Наиболее значимыми терминальными состояниями на этих режимах являются состояние останова при торможении и преодоление на взлёте высотного препятствия с минимальной скоростью устойчивого полёта. Энергетический подход дал возможность в явном виде найти алгоритмы расчёта прогнозных дальностей до достижения упомянутых терминальных состояний. Применимость методов прогнозирования эксплуатантами зависит от достоверности и правдоподобия прогноза. В лаборатории разрабатываются методы расчёта уменьшения погрешностей прогнозирования. Модельные испытания алгоритмов прогнозирования демонстрируют их достаточную достоверность. (А.М. Шевченко, Г.Н. Начинкина, М.В. Городнова).

– Сотрудниками лаборатории осуществляются теоретические исследования и разработка алгоритмов функционирования информационно-измерительных систем испытательных стендов, создание рабочего программно-математического обеспечения баз данных системы хранения данных, разработка технологии, алгоритмов и технических средств контроля и управления параметрами рабочих процессов с целью предотвращения развития аварийных ситуаций при проведении огневых и лётных испытаний жидкостных ракетных двигателей, двигателей малой тяги и двигательных установок космических аппаратов. Для решения этих задач разрабатываются концепции, принципы построения, методы и алгоритмы нового класса высокона-

дёжных интерактивных систем контроля и управления испытаниями движущихся объектов, обеспечивающих в условиях жёсткого временного лимита оперативную перестройку стратегии управления испытаниями по результатам текущего ситуационного анализа с участием человека-оператора на основе использования иерархически детализированных информационных моделей текущего состояния испытываемых объектов и технологии упреждающей критериальной адаптации для гарантированного сохранения условий управляемости и предотвращения нештатных режимов. Результаты выполненных НИОКР были использованы при отработке новых образцов и изделий ракетно-космической техники. Исследования проводятся группой сотрудников во главе с В.В. Гучуком.

Лаборатория участвует в выполнении российских и международных грантов и программ Российской академии наук, РФФИ, Миннауки РФ, других ведомств и большого количества хоздоговоров.

Лаборатория участвует в выполнении НИР и составных частей ОКР по заказам Минобороны России и Роскосмоса.

Сотрудники лаб. № 1 участвуют в работе редколлегии ряда научных журналов, научных и учёных советов нашего и других институтов РАН и вузов, а также программных и организационных комитетов международных конференций. Преподавательская деятельность сотрудников лаборатории в МГТУ им. Н.Э. Баумана способствует притоку в лабораторию научной молодёжи. В лаборатории действует две молодёжные научные школы: одна под руководством М.М. Чайковского, а другая – Е.В. Каршакова.

Сотрудники лаборатории регулярно публикуются в ведущих отечественных журналах, принимают участие во всероссийских и международных конференциях. Ими опубликовано более 600 научных работ и более 50 монографий, в частности в последние годы из печати вышли следующие книги:

1. *А.А. Белов, О.Г. Андрианова, А.П. Курдюков.* Control of Discrete-Time Descriptor Systems. Cham: Springer International Publishing, 2018. – 169 с.
2. *А.К. Волковицкий, Е.В. Каршаков, Б.В. Павлов.* Магнитоградиентные измерительные системы и комплексы. Монография в двух томах. Принципы измерений и структура магнитоградиентных комплексов. Том I. – М.: ИПУ РАН, 2018. – 149 с.
3. *А.К. Волковицкий, Е.В. Каршаков, Б.В. Павлов, М.Ю. Тхоренко.* Магнитоградиентные измерительные системы и комплексы. Монография в двух томах. Обработка информации и применение магнитоградиентных комплексов. Том II. М.: ИПУ РАН, 2018. – 135 с.
4. *А.В. Юрченков, А.П. Курдюков.* Элементы теории робастной устойчивости. – М.: ИПУ РАН, 2016. – 152 с.
5. *А.А. Белов, А.П. Курдюков.* Дескрипторные системы и задачи управления. – М.: Физматлит, 2015. – 272 с.

ЛАБОРАТОРИЯ № 2 ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ

Лаборатория № 2 была создана по приказу директора Института автоматики и телемеханики АН СССР В.А. Трапезникова в 1952 г. как «Лаборатория электроники».



**Владимир Леонидович
Лоссиевский**

Возглавил её д.ф.м.н., профессор Д.В. Зернов. В 1958 г. после перехода коллектива «Лаборатории электроники» в другой институт заведующим лаб. № 2 был назначен д.т.н., проф. Владимир Леонидович Лоссиевский. Сменилось и название лаборатории: она стала называться «Лабораторией исполнительных автоматических устройств».



**Дмитрий Владимирович
Зернов**

В этот период выполнялись ответственные работы по автоматизации специальных объектов Минсредмаша, а также по автоматизации типового нефтяного промысла. Был создан оригинальный прибор для измерения дебита нефтяных скважин (И.С. Мезин). В 1958 г. были разработаны миллилитровый дозатор высокой точности и специальная система электропривода, на основе которых удалось создать крайне необходимый для химической промышленности автоматический регулирующий титратор (И.С. Мезин, М.М. Беляев).



**Игорь Севастьянович
Мезин**

В 1966 г. заведующим лаб. № 2 стал д.т.н. Игорь Севастьянович Мезин и лаборатория возглавила научно-исследовательские работы в области струйной техники. К этому времени в лабораторию перешла группа специалистов по струйной технике из лаб. № 11, которая продолжила работы по созданию струйных систем управления на основе печатной технологии (Л.А. Залманзон, А.М. Касимов и др.). Были предложены работы для медицины (совместно с ВНИИМП) по созданию и внедрению серии аппаратов искусственного дыхания на струйных элементах (В.Г. Градецкий, В.Н. Дмитриев). Тогда же были созданы и переданы в промышленность основные концепции построения элементов и модулей струйной техники – СМСТ-2, «Волга», «АИСТ» (А.М. Касимов, Ю.В. Ванский, В.М. Ларионов и др.).

Под руководством И.С. Мезина был разработан универсальный струйный комплекс технических средств управления – УНИКУС (И.С. Мезин, М.М. Беляев, А.Н. Шубин, А.А. Хитрово), на основе которого построили обучаемую систему управления многопозиционным роботом, которая успешно работала с горизонтально-ковочной машиной и электронагревательной установкой в тяжёлых цеховых условиях.

И.С. Мезин стал инициатором постановки работ по исследованию надёжности струйной техники (А.Н. Шубин), а также по разработке пневмоэлектрических и электропневматических преобразователей, в том числе портативных аналоговых пневмоэлектрических преобразователей для визуализации и исследования динамики пневматических сигналов в пневматических цепях (М.М. Беляев, А.А. Хитрово, Б.И. Панкратов).

В 1982 г. заведующим лаб. № 2 был назначен к.т.н. А.Н. Шубин.

В 1983 г. лаборатория пополнилась группой специалистов из лаб. № 11, за плечами которой было создание промышленных пневматических средств автоматики. В 1959 г. этой группой под руководством заведующего лаб. № 11 д.т.н. Алексея Алексеевича Талья была разработана универсальная система элементов промышленной автоматики – УСЭППА, ставшая основной элементной базой отечественного пневматического приборостроения и признанная за рубежом лучшей в мире. На базе УСЭППА совместно с заводом «Тизприбор» стала серийно выпускаться система типовых приборов «СТАРТ», ставшая основой пневматической ветви ГСП. За создание и внедрение приборов «СТАРТ» и элементов УСЭППА в 1964 г. сотрудникам Института М.А. Айзерману, А.А. Талю, Т.К. Берендс, Т.К. Ефремовой, А.А. Тагаев-



**Алексей Алексеевич
Таль**

ской была присуждена Ленинская премия. Позже в 1975–1977 гг. тем же коллективом сотрудников для управления циклическими процессами были разработаны агрегатно-модульные системы «ЦИКЛ» (совместно с заводом «Тизприбор») и «КОМПАС» (совместно с заводом «Пневмоаппарат»), причём в системе «ЦИКЛ» использовалась струйно-мембранная техника (А.М. Касимов, Т.К. Берендс и др.).

Лаб. № 2 вскоре получила своё новое название: «Лаборатория газо-гидродинамических средств автоматизации» и продолжила работы по совершенствованию мембранной и струйно-мембранной техники. В 1983 г. эти работы завершились созданием (совместно с ЦНИИКА и заводом «Тизприбор») комплекса технических средств «Режим-1» для централизованного кон-



**Анатолий Николаевич
Шубин**

троля и управления непрерывными технологическими процессами (Т.К. Ефремова, А.А. Тагаевская). В этом комплексе проявилась наиболее высокая степень агрегатизации.

На основе разработанных в лаборатории пневмоэлектрических и электропневматических преобразователей в 1986 г. были созданы устройства связи с объектом (УСО) для построения комбинированных пневмоэлектронных систем управления (В.И. Чернышёв, М.Е. Лимонова).

В результате теоретических и экспериментальных исследований была показана целесообразность построения средствами струйной техники расходомеров газа и жидкости без подвижных частей. Совместно с ИАЭ им. И.В. Курчатова были созданы струйные расходомеры с частотным выходом для теплоносителя высоких параметров, успешно прошедшего ресурсные испытания на Ленинградской АЭС (А.М. Касимов, В.В. Ванский). Разработанные на этом принципе струйные счётчики бытового газа в настоящее время выпускаются для ЖКХ.

Принципы струйной техники нашли применения в сельском хозяйстве. В 1987–1988 гг. была разработана (совместно с «Мосводоканалом») и прошла испытания автоматизированная система водораспределения и полива на реконструируемых оросительных системах с использованием струйных принципов подачи жидкости в открытых каналах (д.т.н. Л.А. Залманзон).

В те же годы была разработана система управления (СУ) подвижной платформой с аэростатическими опорами на конвейере сборки самолётов (В.С. Безменов). В 90-е годы лаборатория посвятила ряд работ экологическим проблемам, в том числе были разработаны принципы построения систем автоматического регулирования параметрами процесса очистки сточных вод гальванических производств на основе специализированных пневматических дозаторов химических реагентов (В.С. Безменов, А.А. Тагаевская). Данная система прошла успешные испытания на нескольких предприятиях.



**Зав. лаб. № 2
Асим Мустафаевич
Касимов**

С 2005 г. лабораторией руководит к.т.н. (ныне д.т.н.) Асим Мустафаевич Касимов.

Лаборатория продолжила работы, которые были связаны с совершенствованием струйных систем управления, и с разработкой контрольно-измерительной техники для исследования статики и динамики пневматических устройств и цепей.

Из работ, выполненных в последнее время, можно выделить:

- Исследования по измерению расходов текучих продуктов дифференциальными методами. Предложены новые методы измерения расходов с расширенными динамическими диапазонами, среди которых струйные,
- струйно-вихревые и компенсационные расходомеры. На базе компенсационных расходомеров ведутся перспективные исследования по измерению многокомпо-

тных двухфазных потоков (М.М. Беляев, А.М. Касимов, А.И. Попов).



Струйные элементы СУ авиационным двигателям

универсальных замкнутых САД с единым для процессов порционного и непрерывного дозирования выходным параметром – расходом жидкости на выходе (В.С. Безменов, Т.К. Ефремова, А.А. Тагаевская).

– Разработку оригинального пневмодинамического принципа автоматического контроля герметичности изделий из вязкоупругих материалов. Принцип основан на измерении скорости повышения давления в контролируемом объёме изделия после выполнения определённой последовательности технологических операций цикла контроля (В.С. Безменов).

– Проведение исследований по энергосберегающим технологиям природного газа и тепла в промышленности и коммунальном хозяйстве обещают существенную экономию потребления природного газа по России. Выполнен анализ развития систем автоматики газовых теплогенераторов и проведены исследования статических и динамических характеристик радиаторных термостатов для газовых котлов мощностью до 100 кВт. Работа прошла апробацию в Московской области в течение двух отопительных сезонов и готовится к внедрению. На базе теоретических исследований предложен струйный тепловой тормоз, который позволяет управлять температурой в помещении, сократив при этом долю остаточной теплоотдачи до 15-20 % (А.И. Попов).

– Предложение и разработку технологических процессов производства струйных элементов и приборов методом литья из пластмасс, позволяющих перейти на более высокую интеграцию элементов. Впервые получены струйные элементы и устройства, выполненные по 3-D-технологии, что доказало перспективность этого метода для струйной техники (к.т.н. А.В. Балабанов).

Проводимые научные исследования основываются на фундаментальных результатах теоретической газогидродинамики, теории автоматического управления и теоретической механики. К исследовательским заделам относятся методы расширения динамического диапазона измерения струйных, струйно-вихревых и компенсацион-

ных расходомеров текучих сред. Радикальное повышение быстродействия струйных СУ. Развиваются способы измерения потоков многофазных жидкостей.

Лаборатория располагает опытом создания высоконадёжных струйных регуляторов для авиационных газотурбинных двигателей. Развиваются исследования по энергосберегающим технологиям, повышающих эффективность использования природного газа и тепла в системах отопления жилых и промышленных зданий.

С 2017 года лаб. № 2 пополнилась группой ведущих специалистов в области технических средств автоматизации из лабораторий №№ 14, 15, 48, 54 и 62 и получила своё новое название Лаборатории технических средств управления. Лаборатория ведёт исследования по научному направлению «Теория и методы разработки программно-аппаратных и технических средств управления и сложных информационно-управляющих систем».



**Наталья Петровна
Васильева**

Лаб. № 14 была создана заслуженным деятелем науки РФ, д.т.н., проф. Наталией Петровной Васильевой в 1977 г. и занималась в 50-е годы разработкой первых в стране промышленных серий магнитных логических элементов ЭЛМ-50 и ЭЛМ-400, нашедших широкое применение в народном хозяйстве и обороне. Группа сотрудников из бывшей лаб. № 14 под руководством почётного деятеля науки и техники РФ, д.т.н. Сергея Ивановича Касаткина ведёт разработку элементов на основе фундаментальных исследований магнитных наноструктур: регистровых запоминающих устройств на плоских магнитных доменах, магнитных дисков и лент, преобразователей магнитного поля на магниторезистивных (МР) эффектах.



**Сергей Иванович
Касаткин**

В последние годы основные работы группы относятся к области теоретических и экспериментальных исследований наноэлементов магнитной спинтроники на базе металлических многослойных МР наноструктур. Ведутся исследования МР многослойных тонкоплёночных элементов: преобразователей магнитного поля и тока, биосенсоров и др. Разрабатываются измерительные стенды для исследования созданных наноэлементов. Начаты исследования элементов магнитной стрейнтроники, сочетающих магнитострикционный и МР эффекты. Сотрудники группы участвуют в разработке приборов на основе преобразователей магнитного поля и тока совместно с НПК «Технологический Центр» (НПК ТЦ).

Разработка и исследование МР наноэлементов. Сегодня в мире активно ведётся разработка и выпуск наноэлементов на АМР эффекте, достигающем величины 1,5–2,5 %, и на спинвентильном МР (СВМР) эффекте, составляющем 10–15 %, и спин-туннельном МР (СТМР) эффекте, превышающем 500 %.

Элементы с АМР эффектом. В лаб. № 14 (нынешней группе из лаб. № 2), разработаны многослойные и однослойные АМР преобразователи магнитного поля и тока, предложены новые методы управления и конструкции, проведён теоретический анализ их работоспособности. В настоящее время сотрудниками группы ведутся работы по внедрению этих преобразователей в НПК ТЦ.

Элементы с СВМР и СТМР эффектом. Группа участвует в разработке элементов на основе СВМР и СТМР эффектов совместно с коллективом НПК ТЦ.

В группе проведены теоретические исследования на основе теории микромагнетизма нанозадач обоих типов для применения их в качестве запоминающих и логических элементов, преобразователей магнитного поля, предложены новые методы управления и их конструкции. В последние годы совместно с НПК ТЦ проводятся экспериментальные исследования СВМР и СТМР наноструктур и нанозадач на их основе. Разработка макетов приборов с АМР преобразователями. Разработан макет на принципах магнитной локализации, базирующийся на созданном алгоритме и матобеспечении определения пространственных и угловых координат магнитного диполя. Области применения подобных приборов: тренажёры, трёхмерные компьютерные манипуляторы, медицинские приборы, неразрушающий дистанционный контроль материалов и изделий, обнаружение объектов, обладающих магнитными полями и т.п. Проверена возможность применения АМР головок для бесконтактной диагностики объектов по создаваемым ими магнитным полям. Магнитная спинтроника, как ветвь нано- и микроэлектроники, занимающаяся разработкой элементов с фиксацией направления спина электрона в качестве рабочего параметра, в настоящее время является одной из наиболее активно развиваемых в мире. Это направление относится к наукоёмким технологиям двойного назначения, определяющим научный и технологический потенциал страны. Группа будет продолжать работы в области исследования новых видов СВМР и СТМР наноструктур, разработки МР нанозадач на их основе и приборов с этими нанозадачами. В настоящее время начаты работы по новому перспективному направлению магнитной спинтронике, использующему магнитострикционные и МР эффекты для создания элементов, измеряющих механическое напряжение и давление.

Д.т.н., проф. В.В. Зотовым (лаб. № 15) разработаны принципы построения нескольких типов полупроводниковых многофункциональных сенсоров (Z-сенсоров), не имеющих аналогов в мировой практике. В настоящее время отдельные типы Z-сенсоров выпускаются малыми партиями и поставляются потребителям. В первую очередь к ним относятся магниточувствительные Z-сенсоры и Z-сенсоры ультрафиолетового излучения (Е.П. Виноградова).

Начиная с середины 60-х гг. под руководством д.т.н., проф. Владимира Юрьевича Кнеллера, сначала руководителя группы, работавшей в составе лаб. № 15 (создатель и первый её зав. лаб. – д.т.н., проф. Дмитрий Иванович Агейкин), а затем заведующий созданной им же лабораторией № 62, проводились работы в двух взаимосвязанных научных направлениях, ставших традиционными:

- 1) Разработка теории и принципов построения средств преобразования и автоматического измерения величин переменного тока.



**Дмитрий Иванович
Агейкин**

лей/анализаторов ПКВ), находились их оригинальные решения, на основе которых строились перспективные измерительные приборы. Много внимания уделялось формированию общих научных основ построения широкого класса преобразователей двухмерных и многомерных величин. Наибольший вклад в развитие этого направления внесли д.т.н., проф. В.Ю. Кнеллер, д.т.н. Ю.Р. Агамалов, к.т.н. Л.П. Боровских и к.т.н. Д.А. Бобылёв.



**Владимир Юрьевич
Кнеллер**

цепей цифровых мостов P5010 и P5058. (Ю.Р. Агамалов).

– Разработку методов обобщённого анализа и синтеза уравниваемых измерительных цепей переменного тока; синтез новых подклассов и множества цепей с новыми возможностями и свойствами (В.Ю. Кнеллер, Ю.Р. Агамалов, д.т.н. Ю.Д. Хасцаев);

– Создание основ теории автоматических измерителей комплексных величин, а затем и её развитие на случай измерения параметров объектов, представляемых многоэлементными двухполюсниками (В.Ю. Кнеллер, Л.П. Боровских);

2) Разработка общей теории структур преобразования измерительной информации.

Основной объект изучения в первом направлении – автоматические преобразователи и измерители пассивных комплексных величин (ПКВ) переменного тока. Громадные перспективы, открываемые такими средствами автоматизации, во многом не реализованные и до настоящего времени, были своевременно отмечены и оценены. На каждом этапе развития выявлялись и разрабатывались наиболее актуальные проблемы (например, принципы построения быстродействующих цифровых измерителей ПКВ с уравниваемыми цепями, микропроцессорных цифровых измерителей ПКВ, путей их совершенствования; многофункциональных цифровых измерителей без уравнивания; виртуальных измерителей/анализаторов ПКВ), находились их оригинальные решения, на основе которых строились перспективные измерительные приборы. Много внимания уделялось формированию общих научных основ построения широкого класса преобразователей двухмерных и многомерных величин. Наибольший вклад в развитие этого направления внесли д.т.н., проф. В.Ю. Кнеллер, д.т.н. Ю.Р. Агамалов, к.т.н. Л.П. Боровских и к.т.н. Д.А. Бобылёв.

К основанным результатам исследований в первом направлении следует отнести:

– Формирование нового подхода к уравниванию измерительных цепей переменного тока, так называемого координированного уравнивания, разработка теории и принципов построения на его основе быстродействующих цифровых приборов переменного тока, а также создание на этой базе серийных приборов широкого назначения типа P5010 и P5058 с техническими характеристиками, превышающих мировой уровень того времени (В.Ю. Кнеллер, Ю.Р. Агамалов).

– Разработку новых (запатентованных в ведущих странах Европы) транзисторных переключателей переменного тока и реализация на их основе измерительных

- Разработку новых методов дискретного корреляционного и частотного анализа, а также цифровой фильтрации сигналов (Ю.Р. Агамалов, Д.А. Бобылёв);
- Разработку и развитие нового подхода к реализации дискретного преобразования Фурье периодических сигналов путём их частотно-зависимой дискретизации и суммирования дискретных отсчётов и решение на его основе фундаментальных задач, связанных с инвариантным измерением множеств некогерентных гармонических сигналов, а также ряда ключевых вопросов создания основ теории измерительных инвариантов (Ю.Р. Агамалов);
- Формирование новых подходов к построению, проектированию и автоматизации поверки (калибровки) средств измерений на базе принципов адаптации и самоповеряемости (Ю.Р. Агамалов).
- Решение задач выбора вариантов в системах больших данных с помощью предложенного и развиваемого дескриптивного логико-математического подхода к анализу и синтезу (проектированию) многовариантных структур (Ю.Р. Агамалов).

За создание теоретических основ и принципов построения автоматических измерителей комплексных величин переменного тока, разработку и внедрение в серийное производство цифровых мостов переменного тока В.Ю. Кнеллер и Ю.Р. Агамалов в 1976 г. были удостоены Государственной премии СССР в области науки и техники.

В последнее время, в первую очередь благодаря усилиям Д.А. Бобылёва, был разработан ряд перспективных приборов – измерителей/анализаторов параметров импеданса на основе средств вычислительной техники, так называемых виртуальных измерительных приборов. Эти приборы особенно удобны для исследования объектов разнообразной физической природы при воздействии на них переменным током с измерением параметров их схемы замещения. Виртуальные приборы относительно дешёвы и, тем не менее, обладают метрологическими характеристиками на уровне дорогих автономных приборов, обеспечивая существенно большие возможности в плане хранения, отображения и обработки измерительной информации (Д.А. Бобылёв).



**Дмитрий Алексеевич
Бобылёв**

Продолжается развитие теории автоматических измерителей комплексных величин на случай измерения параметров объектов, представляемых многомерными двухполюсниками, в плане систематизации основных методов построения таких измерителей, сравнительного анализа их характеристик – быстродействия и помехоустойчивости и выработки практических рекомендаций по их реализации и применению (Д.А. Бобылев, Л.П. Боровских).

Существенный вклад в развитие теории и техники построения автоматических преобразователей и измерителей ПКВ, помимо упомянутых сотрудников внесли к.т.н. А.А. Десова, к.т.н. А.М. Павлов, к.т.н. В.Л. Геурков, В.И. Курчавов. Особо

следует отметить важную роль в изготовлении, отладке и испытаниях подавляющего большинства созданных в рамках первого направления приборов высококвалифицированного специалиста инженера Б.Г. Наумова.



**Владимир Сергеевич
Попов**

Начиная с 1981 г. с приходом в Институт д.т.н., проф. В.С. Попова работы в первом направлении были распространены на класс средств измерений активных скалярных величин. В.С. Поповым с его учениками и коллегами к.т.н. Е.В. Шумаровым и к.т.н. Ю.В. Кашириным были разработаны, исследованы и реализованы в промышленных приборах новые принципы построения измерителей интегральных характеристик периодических сигналов, эффективные алгоритмы коррекции их погрешностей и обеспечения помехозащищенности.

Сотрудники, продолжающие работать в рамках первого направления, отслеживают развитие направления в целом, стремятся к систематизации знаний в этой области и являются в ней признанными авторитетами.

Исследования во втором направлении ориентированы, в первую очередь, на создание методов формализованного проектирования (в идеале синтеза полного множества) систем преобразования с заданными свойствами, начиная с синтеза решений верхних уровней: методов преобразования, коррекции погрешностей и т.п. Поэтому системы преобразования рассматриваются, прежде всего, абстрагируясь от физической природы величин и используемых сигналов на уровне информационных математических моделей (структур преобразования) и с расчётом на создание структурной теории систем преобразования. Второе направление зародилось в рамках первого направления, в рамках которого был предложен и развит подход к рассмотрению преобразователей параметров ПКВ, заключающийся в изучении взаимосвязи особенностей структуры существенных преобразований величин с возможностями и свойствами преобразователей. На основе этого подхода выявлены структурные закономерности построения систем преобразования различных классов, а именно: преобразователей комплексных и многомерных величин с уравниванием и квазиуравниванием, преобразователей прямого преобразования, новые структурные методы улучшения сходимости, линейности и чувствительности преобразователей параметров ПКВ с уравнивающими измерительными цепями и т.д.

Принципиально новые возможности для исследований во втором направлении открыла разработанная к.т.н. В.А. Скомороховым оригинальная концепция и методология построения общей дедуктивной теории структур нелинейных систем преобразования информации (ПИ), представляемой в виде иерархической системы функционально полных естественных классификаций порождающих и порожденных структур ПИ. В качестве базиса теории было принято понятие, отражающее функциональную сущность исследуемого класса объектов и содержащую в потен-

циальной форме сведения о возможных объектах заданного класса. В основу логики теории положена совокупность двух основополагающих принципов: симметрии (двойственности) и инвариантности.

Дальнейшие исследования во втором направлении нацелены на развитие методологии выявления и систематизации знаний с учётом тенденций, связанных с четвёртой промышленной революцией, важной отличительной стороной которой является ее междисциплинарный характер. Эти исследования базируются на предложенном В.Ю. Кнеллером и А.М. Фаянсом междисциплинарном родовидовом индуктивно-дедуктивном подходе, ориентированном на выявление и систематизацию видов задач и методов их решения, в равной степени применимом как для технических, так и для иных областей.

Сотрудники группы выполняют также большую научно-организационную работу, активно участвуя в деятельности различных научных советов, обществ, редколлегии журналов и др. Так, В.Ю. Кнеллер более 25 лет участвовал в работе руководящих органов международной конфедерации по измерениям (ИМЕКО), удостоен награды ИМЕКО «За выдающуюся деятельность». Он является главным научным редактором журнала «Измерения. Контроль, Автоматизация» (ИКА) с первого его номера в 1974 г. В работе ИКА более 30 лет участвовал в качестве научного редактора Л.П. Боровских, который в последние годы является заместителем главного редактора журнала «Проблемы управления».



**Владимир Андреевич
Викторов**

С начала 60-х годов в лаборатории академика Петрова Б.Н. велись исследования, связанные с созданием средств контроля запасов и расходования ракетных топлив и других жидких компонентов для работы в различных условиях полета (включая условия невесомости) летательных аппаратов бурно развивающейся космической отрасли. В связи с результативностью и перспективностью этих работ группа сотрудников, занимавшаяся этим направлением, была преобразована в самостоятельную лаб. № 48, которую возглавил д.т.н. Владимир Андреевич Викторов (позднее академик РАН). В.А. Викторов предложил использовать для решения этих задач радиоволновый метод, суть которого состоит в косвенной оценке измеряемых величин по параметрам (резонансной частоте, добротности, амплитуде колебаний и др.) специальным образом сформированной электродинамической системы, являющейся чувствительным элементом датчика. На основе этого метода решались практические задачи измерения для металлургического производства, криогенной техники, нефтехимических производств, космоса.

Были разработаны принципы построения высокочастотные датчики уровня и запасов топлива в условиях неопределённости их распределения (к.т.н. Б.В. Лункин). Результаты этих новых в мировой практике работ отражены в двух моно-

графиях: *Викторов В.А.* «Резонансный метод измерения уровня» (1969) и *Викторов В.А., Лункин Б.В.* «Измерение количества и плотности различных сред» (1973).

В области радиоволновой урвнеметрии в 70-х годах под научно-техническим руководством ИПУ предприятия НПО НИИТехноприбор (г. Смоленск), КБ и завод «Теплоприбор» (г. Рязань) освоили серийный выпуск комплекса высокочастотных урвнемеров и сигнализаторов общепромышленного назначения. Комплекс был полностью построен на отечественной интегральной микроэлектронике и отмечен наряду с другими радиоволновыми датчиками присуждением Государственной премии СССР в 1977 г. Лауреатами Государственной премии СССР от Института стали В.А. Викторов, Б.В. Лункин, В.И. Мишенин.

К достижениям бывшей лаб. № 48 следует также отнести разработку теории построения инвариантных к возмущениям измерительных приборов. Её основы изложены в монографии *Петров Б.Н., Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С.* «Принцип инвариантности в измерительной технике» (1976). Разработанные в лаб. № 48 радиоволновые методы и средства измерений нашли отражение в двух монографиях: *Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С.* «Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин» (1978) и *Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С.* «Радиоволновые измерения параметров технологических процессов» (1989).



Борис Васильевич Лункин

С начала 80-х годов научными исследованиями и разработкой систем измерения, основанных на радиоволновом методе, руководит к.т.н. Борис Васильевич Лункин, который и сейчас возглавляет группу сотрудников лаб. № 48, перешедших в лаб. № 2. Группа принимала участие: в решении практических задач измерения для металлургического производства, криогенной техники, нефтехимических производств, космоса; в создании наземной измерительной системы, обеспечивающей контроль заправки ракетно-космического комплекса «Энергия-Буран». Под научным руководством лаб. № 48 была создана и эксплуатировалась бортовая система контроля количества топлива в баках космического корабля «Мир» (В.Я. Фатеев). Результатом исследований явилась также разработка в содружестве с научно-производственной компанией «Техносенсор» (г. Санкт-Петербург) научно-технических основ построения приборов (к.т.н. В.И. Терёшин) для высокоточного измерения количественных параметров сжиженных углеводородных газов (СУГ), включая уровень, плотность, массу жидкости и газа, их общую массу (д.т.н., проф. А.С. Совлуков).

Наряду с разработкой теории и приложений радиоволнового метода измерений в лаборатории, ведутся исследования общих вопросов измерения и метрологии. Разработана методология построения экспертной системы выбора оптимального принципа измерения на начальной стадии проектирования датчика по заданным техническим требованиям. Предложена методика метрологического диагностирования датчиков в условиях штатного режима их работы (Б.В. Лункин).

В течение ряда лет проводятся исследования методов многопараметровых и инвариантных измерений параметров веществ, в том числе в условиях неопределённости их фазового состояния, методов измерений с применением микроволновых компонент в качестве функциональных элементов датчиков, методов измерений с автоперестраиванием параметров датчиков при изменении измеряемых величин и/или возмущений (А.С. Совлуков).

В последнее время круг исследований расширился. Получило развитие направление, связанное с использованием миниатюрных бесконтактных СВЧ радарных датчиков для измерения технологических параметров. Особенно актуальными являются бортовые датчики для автономного позиционирования наземного транспорта. Разработаны алгоритмы обработки доплеровских сигналов для измерения мгновенного вектора скорости и прямого перемещения по двум координатам (к.т.н. Д.В. Хаблов).

Ведутся исследования методов измерения параметров радиочастотных датчиков, основанных на алгоритмах оптимизации, главным образом, алгоритмов стохастической аппроксимации, позволяющих находить оптимум даже при наличии помех. Было предложено использовать модифицированный алгоритм стохастической аппроксимации, состоящий из комбинации двух алгоритмов: знакового алгоритма Фабиана, предназначенного для грубой и быстрой настройки на экстремум, и алгоритма Кифера-Вольфовица, обеспечивающего точное слежение за изменениями положения этого экстремума (В.Я. Фатеев).

Результаты этих исследований вызвали интерес за рубежом, выполнялись совместные проекты с институтами и фирмами ряда стран – бывшей Югославии, Болгарии, КНДР, Франции.



**Владимир Васильевич
Маклаков**

Наконец, отметим, что д.т.н., проф. В.В. Маклаков (заведующий бывшей лаб. № 54) разработал способ создания защитных идентификаторов изделий из различных материалов: органических, неорганических и биоорганических, – на основе квантовых радиофизических эффектов формирования скрытых маркеров. Технология позволяет кодировать идентификаторы как отдельных изделий, так и партий продукции различных видов. Разработанные маркеры могут быть наноструктурированы и не нарушают внешний вид изделий. Предлагаемая технология в сочетании с развитием способов считывания скрытой и многоуровневой информации может служить основой развития нового метода идентификации и защиты от фальсификации изделий, документов, носителей информации, ценных предметов и др.

К настоящему времени сотрудниками лаб. № 2 в её нынешнем составе опубликовано более 800 работ, в том числе 22 монографии.

ЛАБОРАТОРИЯ № 3

СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ



**Основатель
и первый зав. лаб. № 3
Михаил Александрович
Гаврилов**

Основателем лаборатории был знаменитый МАГ, будущий член-корреспондент АН СССР, д.т.н., профессор Михаил Александрович Гаврилов, который был приглашён в созданную в 1934 г. Комиссию по автоматике, телемеханике и диспетчеризации. Лаборатория по релейной телемеханике (будущая лаб. № 3) входила в состав Комиссии, преобразованной в 1939 г. в Институт автоматки и телемеханики (ИАТ). Лабораторию в составе ИАТа возглавил М.А. Гаврилов.

В 1938–1946 гг. М.А. Гаврилов разработал теорию релейно-контактных схем (РКС), в которой впервые в мире предложил строгий математический подход к решению основных задач проектирования РКС: формализации условий работы, анализа и синтеза структур (книга «Теория релейно-контактных схем», 1950). За развитие этой теории в 1958 г. Президиум АН СССР присудил М.А. Гаврилову премию им. П.М. Яблочкова, в 1963 г. он избирается членом-

корреспондентом АН СССР.

Под руководством М.А. Гаврилова была создана всесоюзная научная школа, охватывающая все республики и крупные города СССР, в рамках которой получили развитие на мировом уровне методы анализа и синтеза конечных автоматов, модели коллективного поведения автоматов, методы надёжного синтеза, теория схем с самоконтролем, теория однородных сред, методы проектирования распределённых систем логического управления, теория языков логического управления. С начала 60-х гг. было проведено более 30 школ по логическому управлению (впоследствии – школ им. М.А. Гаврилова).

Под научным руководством М.А. Гаврилова было защищено около 90 кандидатских и докторских диссертаций.

В разное время сотрудниками лаборатории были такие известные учёные, как И.В. Прангишвили, П.П. Пархоменко, А.А. Амбарцумян, О.П. Кузнецов.

После смерти Михаила Александровича в 1979 г. заведующим лабораторией стал его ученик доктор технических наук, профессор Александр Артёмович Амбарцумян.



**Александр Артёмович
Амбарцумян
руководил
лабораторией № 3
более 30 лет**

Основные научные и прикладные направления лаборатории (1980–1990)

Исследование и разработка моделей и методов логического управления:

- Теория структуризации конечных автоматов и логических алгоритмов с оценкой сложности структурирования (А.А. Амбарцумян).
- Методы синтеза отказобезопасных асинхронных логических устройств (А.И. Потехин) и, на их основе, разработка и изготовление на предприятиях МРП (г. Зеленоград) трёх БИС на базовых-модульных кристаллах (БМК).
- Комплекс отказобезопасных средств программируемой автоматики с параллельной структурой (СПА-ПС) для построения низового уровня АСУ ТП. Основные технические идеи, заложенные в основу СПА-ПС, заключались в распределённости, специализации, отказобезопасности, отказоустойчивости. С 1997 г. СПА-ПС используются в проектах систем управления, важных для безопасности (объектов атомной и тепловой энергетики, газо- и нефтедобывающей, а также перерабатывающей промышленности).
- Концепция перспективной АСУ ТП АЭС на основе программируемых логических контроллеров.
- Новые принципы и методы создания АСУ с повышенной защитой от ошибок человека.

Эти исследования и разработки ведущих сотрудников лаборатории того периода: А.А. Амбарцумяна, А.И. Потехина, Б.А. Лаговиера и др. – составили научную базу проектирования АСУ атомных электростанций нового поколения с высокой степенью автоматизации, надёжности и качества управления технологическими процессами.

Результаты работ по АСУ ТП АЭС обобщены в двух монографиях:

1. *И.В. Прангишвили, А.А. Амбарцумян.* Научные основы построения АСУ сложными энергетическими системами. – М.: Наука, 1992.
2. *И.В. Прангишвили, А.А. Амбарцумян.* Основы построения АСУ сложными технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1994.

Основные научные и прикладные направления лаборатории (1990–2000)

В лаборатории были разработаны и внедрены следующие АСУ ТП:

- система управления элеватором в г. Бутурлиновка Воронежской области;
- информационная система слежения за качеством теплоносителя в ТЦП (температура, давление, расход и т.д.); пилотный проект этой системы был реализован на двух ЦТП в СВАО г. Москвы,
- технические проекты АСУ ТП-90, АСУ ТП-НП (нового поколения), АСУ ТП Бушер (совместно с АЭП Минатома);
- концепция построения систем управления технологическими процессами в нефтедобывающих предприятиях (ООО «Лукойл», ООО «ТНК»).



Дожимная насосная станция компании «ТНК»

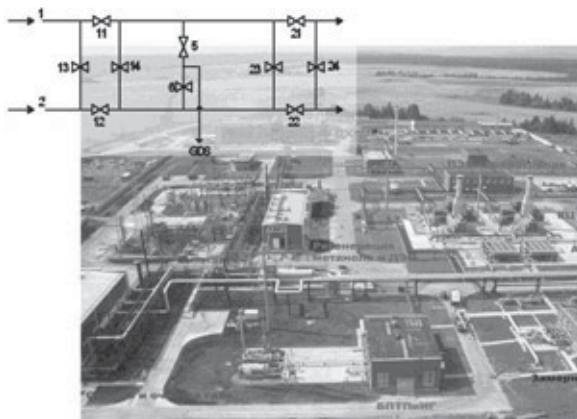
Основные научные и прикладные направления лаборатории (2000–2008)

Разработка теоретических основ дискретно-событийного моделирования объектов автоматизации и разработка на его основе методов проектирования систем управления технологическими процессами:

– Новая концепция и методы управления информационными и материальными потоками на основе дискретно-событийных моделей объектов автоматизации, позволяющие перейти от управления с использованием традиционных жёстких алгоритмов (основная нынешняя практика) к управлению по моделям технологических процессов (ТП).

– Дискретно-событийные модели объектов управления и ТП (на примере нефтедобывающей отрасли), которые включают:

- модели компонентов – агрегаты (задвиги, насосы, ёмкости и т.д.);
- модели процессов – технологически востребованных конфигураций (фрагментов технологической сети, установок, переделов и т.п.);
- модели регламентов – активные технологические сценарии;
- модели диалога с персоналом, позволяющие повысить эффек-



Линейный пункт перекачки газа ООО «Лентрансгаз» и его структурная схема

тивность управления и безопасность ведения процессов за счёт ограничения деятельности человека в контуре управления.

Основные научные результаты по дискретно-событийному моделированию опубликованы в ведущих зарубежных и российских журналах («АиТ», «Проблемы управления») и в двух монографиях:

1. А.А. Амбарцумян, А.И. Потехин. Управление технологическими процессами поточного типа на основе событийного моделирования. – М.: Гринвич, 2005.
2. А.А. Амбарцумян, С.А. Браништов. Событийные модели управления технологическими процессами, ориентированные на защиту от ошибочных действий персонала. – М.: Гринвич, 2006.

По направлению *событийное моделирование технологических процессов* в лаборатории подготовлены и защищены 2 кандидатские диссертации: Д.Л. Казанским (2004), С.А. Браништовым (2008).

С 2012 г. по настоящее время лабораторией руководит к.т.н. Сергей Александрович Браништов.

Дискретно-событийное моделирование транспортных систем

Опираясь на богатый опыт лаборатории, продолжаются работы по развитию фундаментальных методов повышения уровня автоматизации в промышленности.

Результаты этих работ нашли применение в интеллектуальной системе поддержки диспетчера железнодорожного транспорта. Здесь разрабатываются методы дискретно-событийного моделирования железнодорожных объектов, методы синтеза супервизоров и методы группового управления в транспортной системе, направленные на цели повышения безопасности и пропускной способности. Исследованы задачи автоматизации приготовления и выбора маршрута движения поездов на станции с разветвлённой схемой путей. Разработан метод анализа топологий железнодорожных сетей и подход к алгоритмизации процесса управления поездной и маневровой работы. Разработана обобщённая модель функционирования и управления группой автономных компонент дискретно-событийной (ДС) системы железнодорожного участка. В составе модели разработаны ДС-модели базовых объектов управления на железнодорожно-транспортной сети (станций, перегонов, стрелок, локомотивов, вагонов, сортировочных станций, сортировочных горок). Модели компонент представлены в иерархических автоматных и цветных сетях Петри. Определена структура и правила взаимодействия моделей и процедура управления движением транспортных средств.

В ходе работы был проведен анализ технологии управления поездной работой на железнодорожной станции и анализ систем автоматизации диспетчерского управления; разработана база данных элементов путевого развития станции и алгоритмы синтеза суточного плана-графика и его исполнения для формирования маршрутов движения. Эксперименты показали способность алгоритма в приемле-



**Зав. лаб. № 3
Сергей Александрович
Браништов**

мое время находить решение и строить график движения при различных условиях. Разработанный алгоритм используется для перерасчёта графика движения при возникновении нештатной или аварийной ситуации и применяется для оперативного управления движением.

На основе этих подходов был создан прототип программного обеспечения для АРМ дежурного по станции, который включает следующие функции:

- Интерфейс разработки схемы путевого развития станции. Он позволяет создавать схему станции из библиотеки интерактивных элементов: участки пути, стояночные пути (приема-отправления, парковые, тупики), маневровые и маршрутные светофоры, стрелки и др.

- Расчёт суточного плана-графика работы станции (исполняемого расписания) на основании схемы станции и расписания движения поездов. По информации о временах движения поездов и пункте следования автоматически строятся маршруты движения так, чтобы выполнялись требования безопасности (нескрещивание маршрутов, интервалы следования, скорость) и точность исполнения расписания.

- Динамическое перестроение суточного плана-графика работы станции: выполняется по указанию дежурного в любой момент времени в случае нарушения расписания или для разрешения сложной или аварийной ситуации. При этом алгоритм расчёта расписания позволяет выполнять анализ эффективности расписания и использования инфраструктуры станции.

ПО АРМ дежурного обладает свойством универсальности и может быть использовано для различных станций.

Модели поведения мобильных роботов среди людей

В связи с перспективами развития робототехники сформулированы новые научные задачи.

Это направление работ посвящено проблемам организации движения большого числа автономных мобильных роботов в неопределённой среде. Под неопределённостью среды понимается, что система управления обладает недостаточной информацией о свойствах среды функционирования для расчёта управляющего воздействия до достижения цели, но может располагать знаниями о среде, ограниченными некоторой локальной окрестностью. Такая среда характерна для неисследованного или изменчивого пространства. Исследуемая проблема актуальна, например, для автономных наземных роботов, движущихся группой в помещениях и среди людей, или в городской среде при большом числе летающих роботов.

В последнее время большим группам роботов уделяют большое внимания. Роем называют такие системы, которые используют большое число роботов (агентов), пользующихся при достижении общей цели общими правилами поведения. Как правило, рой роботов должен работать в распределённом режиме управления и использовать малые ресурсы связи. В настоящее время для таких групп ведётся активная проработка новых алгоритмов управления и координации. Одна из самых сложных проблем, связанных с управлением роем, обуславливается движением большого количества роботов к одной и той же цели в одно и то же время, в результате чего возникают конфликты, для разрешения которых требуется время. Такая проблема может возникнуть, когда цели движения роботов совпадают или когда группы движутся по пересекающимся, совпадающим маршрутам.

Большинство результатов, посвящённых управлению движением и избеганию столкновений, получено для структурированных сред (на известной карте пространства), когда навигация роботов происходит по выделенным путям и их пересечениям. В тех пересечениях, в которых возникает конфликт, он разрешается посредством расстановки приоритетов или согласования действий. Такие алгоритмы избегания столкновений разрабатываются и тестируются только для маленьких групп роботов. Для большого числа роботов эти алгоритмы неудобны, так как при распределённом управлении сложно осуществлять взаимные коммуникации всех роботов одновременно. При этом проблема локальных столкновений может быть решена, однако проблема глобального затора остаётся неразрешённой.

Развивая это направление, лаборатория разрабатывает и исследует правила поведения мобильных роботов среди людей при движении в помещениях и в толпе. Создаются методы представления и обработки знаний робота об окружающем пространстве, поиска и оценки траекторий движения, оценки конфликтных мест пространства. Ведутся работы по созданию базовых правил поведения роботов в скоплении.

На повестке дня ещё одна большая и значимая задача – исследование проблем координации и согласования поведения отдельных автономных роботов. Изучается объём области информационного обмена для каждого робота, и в зависимости от размера этой области оценивается эффективность управления информационным трафиком. Разрабатываются требования к содержанию информационного обмена. Производится оценка нагрузки на сеть передачи данных.

В сфере научных интересов лаборатории: методы построения маршрутов по известной карте препятствий, алгоритмы избегания столкновений, методы управления следованием заданного пути, распознавание динамических препятствий с помощью машинного зрения и др.

С 2007 г. в составе лаборатории работает молодёжная научная школа (МНШ), поддержанная грантом Института. В составе лаборатории – 3 кандидата технических наук и 2 аспиранта. Со дня образования лаборатории её сотрудниками опубликовано более 500 научных работ. Лаборатория постоянно участвует в работе российских и международных конференций (в том числе симпозиумов и конгрессов ИФАК). В 2003 г. лаборатория организовала и провела международную конференцию, посвящённую 100-летию со дня рождения М.А. Гаврилова.

В 2008–2012 гг. лаборатория (при финансовой поддержке РФФИ и активном участии других лабораторий Института) организовала и провела три Всероссийские конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-8, УКИ-10, УКИ-12).

ЛАБОРАТОРИЯ № 6

ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

им. А.Г. Бутковского

Направления исследований

Основное научное направление лаборатории – разработка методов исследования нелинейных систем с управлением, в частности, методов управления сингулярными режимами в распределённых системах. Такие системы описываются дифференциальными уравнениями в частных производных, как правило, нелинейными. Нелинейные системы с распределёнными параметрами встречаются во многих областях промышленности и науки: металлургии, реактивной технике, теплотехнике, медицине и др.

Основные методы исследования нелинейных систем, разрабатываемые в лаборатории, основаны на геометрической теории нелинейных дифференциальных уравнений, теории дифференциальных инвариантов, геометрии пространств джетов и теории особенностей.



Зав. лаб. № 6
Алексей Гурьевич Кушнер



Валентин Васильевич Лычагин (слева)
и Иосиф Семёнович Красильщик

Первые результаты в этих направлениях были получены в 1970-80-х годов в работах А.М. Виноградова, И.С. Красильщика и В.В. Лычагина. Их монография (*Виноградов А.М., Красильщик И.С., Лычагин В.В. Введение в геометрию нелинейных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1986. 336 с.*) по геометрии нелинейных дифференциальных уравнений явилась важной вехой развития этой области, определив направления последующих исследований.

Дальнейшее развитие методов геометрии дифференциальных уравнений отражено в монографиях А.Г. Кушнера, В.В. Лычагина, В.Н. Рубцова (*Kushner A.G., Lychagin V.V., Rubtsov V.N. Contact geometry and nonlinear differential equations. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 496 p.*) и И.С. Красильщика, А.М. Вербоветского и Р. Витоло (*Krasil'shchik J., Verbovetsky A., Vitolo R. The Symbolic Computation of In-*

tegrability Structures for Partial Differential Equations. Berlin, New York, London: Springer International Publishing, 2017. – 278 p.).

Основная идея геометрической теории дифференциальных уравнений состоит в их представлении как подмногообразий в пространстве струй (джетов) соответствующих порядков, а их решения – как специальных гиперповерхностей, лежащих в этих подмногообразиях. Это позволяет применить к исследованию уравнений в частных производных аппарат дифференциальной геометрии и гомологической алгебры, теории вариационных пуассоновых структур и дифференциальных накрытий.

Разработанные в лаборатории геометрические методы были применены к исследованию процессов течения газа и жидкости, распространению ударных волн в нелинейной акустике, задачам нелинейного теплообмена, к распространению волн в нелинейных средах и управлению этими процессами, а также к решению уравнений, возникающих в теории поля.

Перечислим основные результаты, полученные сотрудниками лаб. № 6 за последние несколько лет.

- Разработаны методы оптимального управления термодинамическими процессами, основанные на геометрическом представлении уравнений состояния среды лежандровым подмногообразием в соответствующем пространстве термодинамических переменных. Это позволило применить методы контактной геометрии.

- Проведена классификация возможных термодинамических состояний для трёхмерного уравнения Навье-Стокса, описывающее движение вязкой жидкости на многообразии, представляющем собой шаровой слой (модель атмосферы или океана), в зависимости от алгебры симметрий, допускаемых уравнениями состояния (*Duyunova A., Lychagin V., Tychkov S. Differential invariants for spherical layer flows of viscid fluids // Journal of Geometry and Physics. 2018, Vol. 130. – pp. 288-292.*

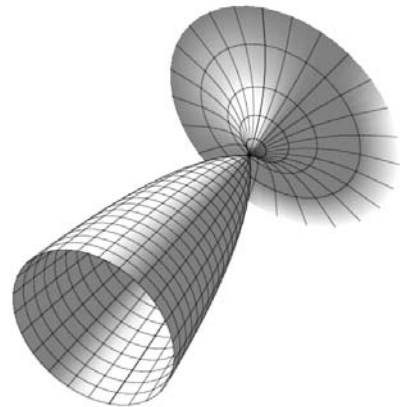
- Исследованы течения вязких жидкостей и газов с учётом фазовых переходов.

- Исследованы особенности многозначных решений задачи Коши для уравнений политропного течения сжимаемого газа.

- Разработан метод управления фокусировкой ограниченного акустического пучка в дисперсной среде.

- Для систем эволюционных дифференциальных уравнений в частных производных разработан метод построения конечномерных динамик, позволяющих находить асимптотически устойчивые режимы (*А.В. Ахметзянов, А.Г. Кушнер, В.В. Лычагин. Аттракторы в моделях фильтрации // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 472, № 6. – С. 627–630.*)

- Для систем с управляющими параметрами введены дифференциальные инварианты, названные инвариантами Петрова, и вычислены алгебры дифференциальных инвариантов для гамильтоновых систем с управляющими параметрами относительно пре-



Фокусировка звукового пучка

образований обратной связи, что позволило провести их классификацию (А.Г. Кушнер, В.В. Лычагин. Инварианты Петрова гамильтоновых систем с управляющим параметром // Автоматика и телемеханика №3, 2013, 83–102.).

– Проведена классификация градиентных катастроф для решений системы двух нелинейных гиперболических дифференциальных уравнений первого порядка.

– Получена классификация гиперболических дифференциальных уравнений в частных производных с алгебраическими правыми частями относительно действия псевдогруппы точечных алгебраических преобразований.

– Доказана глобальная версия теоремы Ли–Трессе (B.S. Kruglikov, V.V. Lychagin. Global LieTresse theorem // Selecta Math. New Series, 22 (2016), No. 3, 1357–1411.). Эта теорема описывает структуру алгебры дифференциальных инвариантов продолженного в бесконечные джеты действия псевдогруппы Ли на расслоении. До этого теоремы типа Ли–Трессе существовали только в микролокальном виде или только для действия (конечномерных) групп Ли. Для доказательства этой теории были введены специальные типы алгебраических дифференциальных уравнений и алгебраических псевдогрупп Ли. Это специальные уравнения и псевдогруппы, которые задаются дифференциальными уравнениями, алгебраическими по производным, начиная с производных первого порядка. Стоит отметить, что уравнения и псевдогруппы Ли, встречающиеся на практике, относятся к уравнениям такого типа. В качестве первого, но далеко не тривиального результата, дано решение проблемы В.И. Арнольда о рациональности функции Пуанкаре в случае транзитивности действия на пространстве расслоения. Впоследствии теорема Ли–Трессе о дифференциальных инвариантах активно применялась для решения важных задач математической физики.

– Разработан оригинальный подход к задачам алгебраической теории инвариантов. Этот подход основан на использовании рациональных дифференциальных инвариантов вместо алгебраических и теореме Ли–Трессе, позволяющей эффективно находить дифференциальные инварианты. Вначале этот метод был применим к классической задаче об инвариантах бинарных форм, а затем и к произвольным k -формам. В дальнейшем, используя теорему Бореля–Вейля–Ботта, а также дифференциальные инварианты, была решена общая задача о разделении орбит действий полупростых алгебраических групп Ли в их неприводимых представлениях при помощи дифференциальных инвариантов (П.В. Бибииков, В.В. Лычагин. Классификация линейных действий алгебраических групп на пространствах однородных форм // Доклады Академии наук, 442:6 (2012), 732–735).

– Дифференциальные инварианты применены к проблеме распознавания образов. В частности, к проблеме распознавания отпечатков пальцев (V.V. Lychagin, N.G. Kononenko. Invariants of projective actions and their application to recognition of fingerprints // Analysis and Math. Physics. 6 (2016), No. 1, 95–107.).

– Построен и исследован аналог модели Бакли–Леверетта двухфазной фильтрации на гладких поверхностях и предложены методы решения задач оптимального управления для этой модели (Ахметзянов А.В., Кушнер А.Г., Лычагин В.В. Оптимальное управление разработкой нефтяных месторождений в модели Бакли–Леверетта // Автоматика и телемеханика. — 2018. — № 4. — С. 75–91.).

– На основе современных концепций нейрогеометрии построен универсальный эффективный алгоритм восстановления повреждённых изображений, включая

сильно повреждённые (более 80 и даже 90 пикселей). Результат получен в сотрудничестве с французскими коллегами (*U. Boscain, R. Chertovskih, J.-P. Gauthier, D. Prandi, A. Remizov*. Highly corrupted image inpainting through hypoelliptic diffusion // *Journal of Mathematical Imaging and Vision*. 2018. Vol. 60, No. 8. pp. 1231-1245.).

История лаборатории

Лаборатория была основана в 1961 г. и входила в состав отдела, возглавляемого академиком Б.Н. Петровым. На протяжении первых 26 лет лабораторией руководил д.т.н., проф. Георгий Михайлович Уланов. После его кончины заведующим лабораторией стал доктор технических наук В.П. Жуков. С 2010 г. лабораторией заведует д.ф.-м.н. Алексей Гурьевич Кушнер.

Первые годы работы лаборатории были посвящены исследованию проблем автоматического регулирования энергетических установок и маршевых ракетных двигателей, работающих с использованием ядерной энергии, а также автоматического регулирования систем жизнеобеспечения космонавтов в отсеках МКС и оптимального управления космическим кораблём с учётом неточностей реализации управления, повышения точности приземления космического аппарата, оптимального (по расходу топлива) управления системой ориентации космического аппарата. Эти работы проводились в соответствии с Постановлениями Правительства и по договорам с ведущими конструкторскими бюро. В частности, лаборатория участвовала в создании



**Основатель
и первый зав. лаб. № 6
Георгий Михайлович
Уланов**

ряда эскизных проектов новых образцов отечественной техники и внесла значительный вклад в достижения отечественной космонавтики и оборонной техники.

Исторически одним из первых направлений фундаментальных исследований лаборатории в области теории управления явилась теория инвариантности, интенсивно разрабатывавшаяся в нашей стране в 50–60-е гг. прошлого века. Обобщением этой теории стала теория синтеза систем управления, обладающих заданными свойствами. Составной частью данной исследовательской работы был анализ идей Г.В. Щипанова по построению абсолютно инвариантных систем управления. Анализ показал принципиальную возможность создания инвариантных систем любой степени точности и указал условия достижения заданной точности.

В те же годы под руководством академика Б.Н. Петрова разрабатывались основы информационной теории управления, и в частности изучались вопросы пропускной способности информационно-измерительных систем и предельные возможности подобных систем.



**Виктор Павлович
Жуков**

ИПУ РАН: лаборатории

В 70–90-х гг. XX века в лаборатории разрабатывались полевые методы исследования качественных свойств нелинейных динамических систем: асимптотической устойчивости, неустойчивости, существования инвариантных множеств, а также вопросы причинности, устойчивости и грубости систем управления распределёнными объектами.

Основным направлением научных исследований лаборатории с начала XXI века стала разработка методов исследования нелинейных систем, как с управляющими параметрами, так и без них. Это связано с приходом в лабораторию специалистов по геометрической теории дифференциальных уравнений В.В. Лычагина, И.С. Красильщика, А.Г. Кушнера, Д.В. Туницкого и их учеников.

В 2012 г. к лаб. № 6 была присоединена близкая по тематике лаб. № 63, которую основал и которой руководил более 30 лет д.т.н., проф. Анатолий Григорьевич Бутковский. В связи с этим лаб. № 6 вскоре было присвоено имя А.Г. Бутковского.

Лаборатория № 6 активно сотрудничает с лаб. № 19 Института в области оптимального управления процессом разработок месторождений углеводородов, с физическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова, профессором которого является заведующий лабораторией А.Г. Кушнер, а также с математическими факультетами университетов Норвегии, Франции, Чехии, Польши, США, Колумбии и Италии.

В лаб. № 6 действует молодёжная научная школа под руководством Алексея Гурьевича Кушнера.



**Анатолий Григорьевич
Бутковский**

ЛАБОРАТОРИЯ № 7

АДАПТИВНЫХ И РОБАСТНЫХ СИСТЕМ

им. Я.З. Цыпкина

Лаборатория создана в 1956 г. Её заведующим, со дня основания до самой смерти (1997 г.) был академик Яков Залманович Цыпкин. Ныне лаборатория носит имя и продолжает традиции своего основателя, а отчасти и тематику. Основное внимание уделяется фундаментальным проблемам теории автоматического управления, лаборатория является одним из основных теоретических подразделений Института.

Первоначально тематика исследований была связана с импульсными, релейными и дискретными системами. Академик Я.З. Цыпкин был инициатором подобных работ в стране и внёс огромный вклад в их разработку. Его монографии «Переходные и установившиеся процессы в импульсных цепях» (1951), «Теория релейных систем автоматического регулирования» (1955), «Теория импульсных систем» (1958), «Теория линейных импульсных систем» (1963) сыграли огромную роль в развитии и становлении этих разделов теории управления в нашей стране и в мире. Они неоднократно получали высокую оценку, в том числе официальную: Ленинская премия (1960), ряд международных научных наград.

К середине 1960-х гг. центр интересов лаборатории смещается в сторону проблем адаптации, обучения, распознавания, оценивания, стохастической оптимизации. В книгах Я.З. Цыпкина «Адаптация и обучение в автоматических системах» (1968) и «Основы теории обучающихся систем» (1970) был предложен единый подход к анализу таких систем, основанный на технике стохастической аппроксимации.



**Борис Теодорович
Поляк**

Наконец, в начале 1990-х гг. большое внимание стало уделяться робастному управлению, то есть управлению в условиях неопределённости. В частности, был разработан годограф Цыпкина–Поляка – простой и удобный графический критерий робастной устойчивости.

В лаборатории был подготовлен ряд специалистов, позднее основавших собственные научные центры. академики Н.А. Кузнецов, Б.Н. Наумов, И.М. Макаров, Ю.С. Попков, доктора наук М.А. Красносельский, Н.А. Бобылев, В.Н. Новосельцев, А.М. Петровский,



**Основатель
и первый зав. лаб. № 7
Яков Залманович Цыпкин**



**Юрий Соломонович
Попков**

В настоящее время в лаборатории работает 18 человек. Это доктора наук М.В. Хлебников (заведующий лабораторией), М.В. Балашов, А.В. Назин, Б.Т. Поляк, Ю.С. Попков, В.Н. Честнов, П.С. Щербаков; кандидаты наук С.Э. Парсегов, И.Г. Резков, А.А. Тремба, Д.В. Шатов; младший научный сотрудник И.А. Лебедев, ведущие инженеры В.А. Александров, Е.А. Стефанюк, техники А.Д. Кулакова, А.Л. Лукашевич.

А.С. Позняк, А.И. Пропой, Э.Д. Аведьян и многие другие. В лаборатории проходили стажировку известные зарубежные ученые Л. Льюнг (Швеция) и П. Кокотович (США).

С 1998 по 2013 гг. лабораторию возглавлял д.т.н. Б.Т. Поляк; с 2013 г. лабораторией заведует д.ф.-м.н., проф. РАН М.В. Хлебников.



**Николай Александрович
Кузнецов**



В коллективе ведутся исследования по нескольким направлениям, среди которых можно выделить:

- Развитие теории линейных систем автоматического управления. В центре внимания находятся такие трудные и актуальные задачи, как синтез регуляторов заданной структуры (в частности, регуляторов низкого порядка), синтез статических регуляторов по выходу, проблема одновременной стабилизации, задачи управления при постоянно действующих возмущениях. Сотрудниками лаборатории разработан ряд эффективных подходов к их решению. Один из них основан на понятии сверхустойчивости (достаточное условие устойчивости, формулируемое в терми-

нах линейных условий на элементы системной матрицы), на основе которого можно получать решения упомянутых трудных задач с помощью линейного программирования. Отметим также вероятностный подход к решению этих детерминированных задач. Вообще рандомизированные алгоритмы оказались весьма эффективными для решения разнообразных задач управления и оптимизации.

- Программа «робастизации» теории управления, восходящая к Я.З. Цыпкину. В классической теории обычно предполагается, что модель системы известна или оценивается в процессе идентификации. Между тем в реальных задачах характеристики объекта содержат неизбежные неточности. Робастная теория, вызывающая огромный интерес исследователей во всём мире, предлагает методы учёта подобных неопределённостей. Если в первые годы работы в центре внимания находились проблемы анализа (робастная устойчивость), то теперь они сменились более важными проблемами синтеза (робастное управление). Для решения трудных задач робастного управления оказались полезными упомянутые выше методы – и сверхустойчивость, и вероятностный подход. Удобным аппаратом решения современных задач анализа и синтеза робастных систем стала классическая теория D-разбиения, развитая на новом уровне в работах сотрудников лаборатории.

- Исследование систем управления, подверженных воздействию произвольных ограниченных внешних возмущений и системных неопределённостей. На основе эллипсоидального описания и техники линейных матричных неравенств разработаны эффективные методы подавления внешних возмущений. Предложены алгоритмы синтеза регуляторов (с помощью обратной связи по состоянию или выходу); разработана техника фильтрации внешних возмущений.

- Традиционная для лаборатории тематика адаптивного управления стохастическими системами продолжает развиваться в двух направлениях: в рамках информационного подхода устанавливаются предельно возможные скорости сходимости стохастических алгоритмов; развивается частотная теория адаптивного управления, основанная на идентификации системы с помощью гармонических воздействий и построении регуляторов с использованием теории оптимального управления.

Помимо теоретических исследований в лаборатории ведутся и прикладные работы. Сотрудниками лаборатории получен ряд патентов РФ.

Сотрудники лаборатории регулярно публикуются в ведущих отечественных и зарубежных журналах. За последние несколько лет опубликовано более 50 статей в рецензируемых журналах, сделано более 50 докладов на авторитетных российских и международных конференциях.

Среди публикаций последних лет следует отметить книгу «Яков Залманович Цыпкин (1919–1997)» (отв. ред. *Б.Т. Поляк*. М.: ЛКИ, 2007), посвящённую основателю лаборатории и рассказывающую о пути и достижениях лаборатории.



Зав. лаб. № 7
Михаил Владимирович
Хлебников

В монографии Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Щербаков П.С. Управление линейными системами при неопределённостях и внешних возмущениях: техника линейных матричных неравенств. М.: УРСС, 2014, удостоенной Премии Президиума РАН имени Б.Н. Петрова 2016 г., изложен ряд результатов по недостаточно освещённому (прежде всего, в отечественной литературе) вопросу применения линейных матричных неравенств и техники инвариантных эллипсоидов к управлению линейными системами в присутствии внешних возмущений и системных неопределённостей.

Лаборатория сотрудничает с рядом ведущих мировых научных центров: *University of Wisconsin–Madison* (США), *Technion* (Израиль), *Linköping University* и *Kungliga Tekniska högskolan* (Швеция), *Politecnico di Torino* (Италия), *INRIA* (Франция), *CINVESTAV* (Мексика), *Melbourne University* (Австралия) и др.

В последние годы лаборатория участвовала в ряде международных проектов, таких как:

- программа сотрудничества между Российской академией наук и Национальным советом исследований Италии, проект «Методы оценивания и идентификации сигналов в интеллектуальных беспроводных сетях» (2011–2013);
- программа сотрудничества между Российской академией наук и Национальным советом исследований Италии, проект «Новые методы типа Монте-Карло в управлении с применением в информационных технологиях» (2008–2010);
- совместный российско-французский проект РФФИ-НЦНИ_a (PICS) 07-01-92166-НЦНИ_a «Робастное и адаптивное управление сложными системами» (2007–2010) и др.

В настоящее время лаборатория имеет гранты РФФИ и РНФ, участвует в Программах фундаментальных исследований ОЭМППУ и Президиума РАН.

Сотрудники лаборатории неоднократно удостоивались различных премий и наград. Б.Т. Поляк, М.В. Хлебников, А.В. Назин, П.С. Щербаков – лауреаты премий ИПУ РАН им. А.А. Фельдбаума, А.М. Лётова, Я.З. Цыпкина, Б.Н. Петрова, В.С. Кулебакина. Б.Т. Поляк – обладатель премии им. А.А. Андропова Российской академии наук (1994), он первым в нашей стране получил почётное звание *IFAC Fellow* (2006), а ещё через 6 лет награждён «Золотой медалью Европейской ассоциации по исследованию операций» (*EURO Gold Medal*, 2012).

Лаборатория широко представлена в ряде редколлегий отечественных и зарубежных журналов: «Автоматика и телемеханика», «Управление большими системами», «Проблемы управления», *Journal of Optimization Theory and Applications*, *Numerical Functional Analysis and Optimization*, *Computational Optimization and Applications*, *Control and Cybernetics*, *Applied and Computational Mathematics*. Её сотрудники входят в состав учёных и диссертационных советов (при ИПУ РАН, ИСА РАН, ИППИ РАН); программных комитетов международных и российских научных конференций.

Сотрудники лаборатории ведут активную преподавательскую деятельность в МФТИ (П.С. Щербаков), НИУ ВШЭ (А.В. Назин), ЭПИ МИСиС (В.Н. Честнов) и др. С 2007 г. в лаборатории действует молодёжная научная школа под руководством Бориса Теодоровича Поляка.

Усилиями сотрудников лаборатории проведены десять Традиционных всероссийских молодёжных летних школ «Управление, информация и оптимизация» (2009–2018).

ЛАБОРАТОРИЯ № 8

ТЕРМИНАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

им. Ю.П. Портнова-Соколова

Прологом к возникновению лаборатории можно считать события 1950 г., когда по инициативе С.П. Королёва и В.П. Глушко Институт автоматики и телемеханики АН СССР привлекли к работам по созданию первой отечественной межконтинентальной баллистической ракеты, ставшей впоследствии родоначальницей семейства космических ракет-носителей (РН) «Спутник», «Восток», «Союз» и «Молния». Институту было поручено решение двух принципиально новых проблем: изыскания принципов построения автоматической системы регулирования опорожнения баков (СОБ) многоблочной ракеты и исследования жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) как объекта регулирования в составе СОБ.



**Основатель и первый зав. лаб. № 8
Юрий Петрович Портнов-Соколов**

Поставленные задачи были успешно решены группой сотрудников Института под руководством Б.Н. Петрова (тогда члена-корреспондента АН СССР, избран в 1953 г.). При этом, в частности, были выполнены приоритетные разработки математической модели ЖРД и методики исследования его динамики и управляемости (Ю.П. Портнов-Соколов)

Участие сотрудников будущей лаб. № 8 (В.Н. Марков и А.Н. Чацкин) в подготовке и проведении пуска Р-7 в октябре 1957 г. при выведении на орбиту первого в мире спутника ПС-1 было отмечено вручением Институту памятной медали.

Лаборатория № 8 образована в ноябре 1959 г. в составе отдела, руководимого Б.Н. Петровым.

В прикладном плане новая лаборатория была ориентирована на совершенствование характеристик объектов ракетно-космической техники (РКТ), а в теоретическом – на создание и развитие теории терминальных систем управления.

В начале 80-х гг. Б.Н. Петровым, Ю.П. Портновым-Соколовым, А.Я. Андриенко, В.П. Ивановым была опубликована монография «Бортовые терминальные системы управления. Принципы построения и элементы теории».

Завершилась разработка общей концепции совершенствования энергетических характеристик жидкостных РН средствами управления (Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов), при реализации которой было сформировано об-

ширное семейство систем управления ракетной техникой, позволяющих обеспечить повышение грузоподъёмности РН на 10–15%.

Большая часть этих систем была реализована (с участием В.А. Жукова, А.С. Поддубного, В.К. Завадского, А.А. Муранова, А.И. Чадаева и др.) в практических разработках РКТ при создании РН «Энергия», «Зенит-2S», «Зенит-3SL» (для международной программы «Морской старт») и «Протон-М», «Союз-ФГ», «Союз-2», а также в баллистических ракетах-носителях, позволивших создать ракетно-ядерный щит – основу обороноспособности СССР и современной России.

Были продолжены исследования в области динамики и управляемости ЖРД (В.Я. Волков, Ю.М. Гладков).

В 90-е гг. решена задача нелинейного оценивания координат состояния орбитального космического аппарата по совокупности измерений в моменты связи с навигационными системами *Navstar* и «Глонасс».

В конверсионном плане выполнен ряд работ в области построения высоконадёжных диагностических медицинских приборов (система ИВЛ, пульсоксиметры, доплеровские приборы для исследования кровотока головного мозга).

На рубеже столетий был выполнен (под руководством Ю.П. Портнова-Соколова, А.Я. Андриенко, В.П. Иванова) цикл научных работ для обеспечения безопасности РКТ средствами управления. Работы данного цикла исходят из приоритета критерия безопасности на всех этапах жизненного цикла объектов РКТ и необходимости использования здесь всех видов управления (традиционного управления в бортовых системах, управления проектно-техническими решениями, эксплуатационно-технического управления и др.).

Были сформулированы принципы выбора проектного облика по критерию безопасности.

Применительно к бортовым системам развита теория отказоустойчивого терминального управления. Сформулирован принципиально новый подход к синтезу, заключающийся в том, что состояние системы с частичным отказом рассматривается как одно из допустимых её состояний, которое должно учитываться при выборе алгоритма управления (А.Я. Андриенко, В.П. Иванов, Ю.П. Портнов-Соколов). В идеологию построения алгоритма управления закладывается способность к реконфигурации на основе собственных средств диагностики и сохранения приемлемого качества при появлении отказов.

Потребность в декомпозиции задачи управления сложными объектами РКТ, которая имела место на ранних этапах развития, на современном этапе сменяется тенденцией к интеграции бортовых систем. Она диктуется возросшими требованиями к управлению и новыми возможностями бортовых вычислительных средств. Интеграция бортовых систем позволяет использовать дополнительные резервы для повышения эффективности управления в штатных и нештатных режимах полёта. Массо-теплообменные процессы, протекающие в баках и магистралях ЖРД при выработке компонентов топлива и поступлении газа наддува, можно объединить и определить как внутриваконовые процессы. Управление этими процессами должно обеспечивать устойчивый режим выделения энергии большой мощности в ЖРД и создания тяги, безаварийный останов и повторный запуск двигателя. Управление внутриваконовыми процессами может обеспечить также полную выработку топлива и минимальные затраты газа наддува. Задача полной выработки топлива решается

совместно с терминальным выводением ракеты на заданную околоземную орбиту. Таким образом, совершенствуя управление внутрибаковыми процессами, можно наиболее эффективно воздействовать на энергетические и надёжностные характеристики средств выведения.

Сформулированная проблема охватывает задачи управления, наиболее критичные для безопасности объекта, и выделяет новое, актуальное направление в области управления перспективными ракетными средствами выведения. Новая постановка задачи управления актуальна для решения проблемы создания ракетных средств гарантированного выведения.



**Анатолий Яковлевич
Андрienко**

Для решения данной проблемы разработан метод синтеза терминальной системы управления взаимосвязанными процессами в объекте. Разработаны принципы построения и методы синтеза бортовых терминальных систем, реализующих свойства комбинированного управления. Решена задача управления выключением ЖРД по критерию безопасности (В.К. Завадский, Е.Б. Каблова, Л.Г. Кленовая).

Применительно к структурным изменениям в объекте, в процессе эксплуатации предложен принцип построения системы с многоуровневой структурой на основе семейства моделей функционирования различной сложности.

Развиты принципы построения алгоритма распознавания нештатной ситуации в бортовой системе, прогнозирования возможных последствий отказов, а также выбора наилучшей стратегии действий, обеспечивающих локализацию либо полную компенсацию негативных последствий нештатной ситуации (А.И. Чадаев, Е.И. Тропова).

Научные результаты этих работ использованы в современных разработках РКТ, в перспективных проектах систем для РН «Ангара», модификаций «Союз-2» (для космодрома «Восточный»), разгонного блока «КВТК».

После ухода из жизни Ю.П. Портнова-Соколова лабораторией в течение 9 лет заведовал д.т.н. Анатолий Яковлевич Андрienко. В настоящее время лаб. № 8 руководит д.т.н. Владимир Петрович Иванов.

Результаты, полученные в области управления внутрибаковыми процессами жидкостных ракет-носителей, отвечают возросшим требованиям к безопасности и энергетике, являются актуальными и новыми для отечественной и мировой практики. Развиты теоретические основы и технология проектирования, накоплен значительный практический опыт. Это позволяет лаборатории участвовать в разработках практически всех отечественных производителей ракетных средств выведения с ЖРД в части систем управления расходом топлива и пневмо-гидравлические системы подачи.



**Зав. лаб. № 8
Владимир Петрович
Иванов**

Современные работы лаборатории ориентируются на развитие ракетно-космического потенциала страны в содружестве с коллективами ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО «РКЦ–Прогресс», АО «НПО автоматики», ФГУП ГКНПЦАП им. Н.А. Пилюгина, ГосНИИП, АО «ГРЦ Макеева» и др.

В 2018 г. в состав лаб. № 8 вошел коллектив лаб. № 42 (заведующими этой лабораторией были сначала д.т.н., проф. В.Ю. Рутковский, а за ним – д.т.н. В.М. Суханов), которая была создана в 1968 г. по инициативе Б.Н. Петрова. Поставленной перед лаб. № 42 целью стала разработка общей теории адаптивных систем и систем координатно-параметрического управления и её применение для проектирования систем управления летательными и космическими аппаратами. В результате лаб. № 42 разра-

ботала основы теории адаптивных систем координатно-параметрического управления объектами ракетно-космической техники. Эта теория по-прежнему актуальна и в наши дни. В качестве объектов

управления рассматриваются, в частности, большие космические конструкции, в частности, создаваемые в космосе солнечные энергетические станции, свободнолетающие космические робототехнические модули и дискретно развивающиеся структуры, собираемые на орбите с помощью этих робототехнических модулей.



**Владислав Юльевич
Рутковский**



**Виктор Миньонович
Суханов**

За годы работы сотрудники лаб. № 8 и вошедшей в её состав лаб. № 42 были награждены более чем 30 орденами и медалями страны и удостоены:

- четырёх Государственных премий – Ю.П. Портнов-Соколов (1967), В.Ю. Рутковский (1970, 1981), А.Я. Андриенко, В.П. Иванов, А.С. Поддубный, Ю.П. Портнов-Соколов (1983));
- Золотой медали им. Б.Н. Петрова – В.Ю. Рутковский (1983);
- премии РАН им. акад. Б.Н. Петрова – А.Я. Андриенко, В.П. Иванов, Ю.П. Портнов-Соколов (2004);
- Золотой медали РАН имени С.П. Королёва – В.П. Иванов (2016).

ЛАБОРАТОРИЯ № 11

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Лаборатория № 11 является одной из старейших в Институте. Здесь работали выдающиеся учёные: проф. М.А. Айзерман (руководил лабораторией до 1963 г.), проф. Э.М. Браверман, проф. Л.А. Залманзон, проф. Л.И. Розоноэр, проф. А.А. Таль (руководил лабораторией в 1963–1991 гг.). С 1991 г. заведующим лабораторией является доктор технических наук, профессор, председатель Научного совета Российской ассоциации искусственного интеллекта Олег Петрович Кузнецов. В настоящее время в составе лаборатории – 9 сотрудников, в том числе 3 доктора и 4 кандидата наук.

На протяжении многих лет в лаборатории велись разработки принципов построения и технической реализации систем промышленной пневмоавтоматики. За работу «Разработка и внедрение Универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) и создание на её основе приборов системы «Старт»» сотрудники лаборатории М.А. Айзерман, Т.К. Берендс, Т.К. Ефремова, А.А. Тагаевская, А.А. Таль в 1964 г. получили Ленинскую премию. Разработки на основе применения элементов УСЭППА привели к созданию систем управления на различных промышленных объектах с участием сотрудников Института. По результатам этих работ опубликовано 5 монографий. Заметный след в развитии отечественной пневмоавтоматики оставили работы Л.А. Залманзона по разработке теоретических и практических основ струйной техники. Его творческое наследие включает 7 монографий по этой проблеме.

В конце 70-х гг. сотрудники, занимавшиеся проблемами пневмоавтоматики, перешли в лаб. № 2, и лаб. № 11 переключилась на исследование дискретных систем и процессов управления и их теоретических моделей – конечных автоматов и сетей Петри.

А.А. Таль в 60-х гг. разработал анкетный подход к синтезу конечных автоматов. В 70-е гг. В.А. Бувевич, Н.Н. Иванов, Г.И. Михайлов, В.В. Руднев, А.А. Таль создали средство описания конечно-автоматных множеств, использующее формальные исчисления Поста. А.А. Таль и С.А. Юдицкий разработали методы структурного описания сетей Петри. В 80-х гг. с приходом в лабораторию сотрудников лаб. № 3 (О.П. Кузнецов, А.К. Григорян, А.В. Марковский, Л.Б. Шипилина) активизировались работы по созданию языков логического управления. Разработанный этой группой язык ЯРУС-2 использован в программном обеспечении серийно выпускавшихся в 80-е гг. станков с ЧПУ.



Зав. лаб. № 11
Олег Петрович Кузнецов

В последние 10 лет основным научным направлением лаб. № 11 является разработка теории и методов интеллектуализации дискретных систем и процессов управления. В разное время проводились исследования в следующих областях: 1) сетевые представления знаний, 2) сетевые представления объектов и процессов, 3) искусственный интеллект и когнитивные науки; 4) групповое поведение роботов; 5) моделирование нейронных сетей; 6) моделирование и анализ социальных сетей.

1. Сетевые представления знаний

К наиболее распространённым сетевым представлениям знаний относятся представления ситуаций, основанные на линейных и нечётких когнитивных картах, и представления на основе онтологий.

Направление, использующее когнитивные карты для поддержки принятия решений в слабоструктурированных ситуациях и называемое когнитивным анализом ситуаций, в последние десятилетия активно развивается. Большой интерес к нему проявляют организации социально-политической сферы. Это объясняется тем, что в слабоструктурированных ситуациях, характерных для этой сферы, не сформулирована система понятий, основные параметры являются не количественными, а качественными и получены не на основе объективных измерений, а путём опроса экспертов. В таких ситуациях не удаётся использовать подходы традиционной теории принятия решений, опирающейся на методы количественных оценок чётко сформулированных альтернатив; принятию решений предшествует работа по структурированию ситуации, то есть созданию её модели.

Онтологические представления знаний отличаются от других вариантов семантических сетей серьёзным фундаментом – как теоретическим (дескриптивная логика), так и технологическим (стандарты, языки, программные среды). Они служат для формализованного описания предметных областей и активно используются в современных информационных системах.

1.1. Моделирование конфликтных ситуаций на основе линейных когнитивных карт (С.Г. Куливец)

Предложен подход к моделированию конфликтных ситуаций, объединяющий методы теории игр и когнитивного анализа ситуаций. Построены модели взаимодействия агентов для двух случаев, когда представления агентов о ситуации: а) совпадают и заданы одной линейной когнитивной картой; б) не согласованы и заданы различными когнитивными картами. Для каждой модели предложен метод поиска решения в виде равновесия Нэша в чистых стратегиях. Получены оценки границ устойчивости параметров когнитивной карты, в пределах которых стратегия игрока не меняется. Результаты анализа проиллюстрированы на примере исследования конфликта интересов России и Норвегии в Баренцевом море.

В 2013 г. построено решение для повторяющейся игры на когнитивной карте в виде равновесия Нэша для случая, когда время окончания игры является общим знанием. Решение ищется как равновесие Нэша в чистых стратегиях. Для его поиска задача рассматривается как две задачи максимизации двух линейных функций (эти задачи можно решать отдельно в силу линейности целевых функций агентов) и решается рекуррентными уравнениями динамического программирования.

1.2. Моделирование процессов образования коалиций на основе нечётких когнитивных карт (А.А. Кулинич)

Коалиция считается устойчивой, если любому участнику невыгодно её покидать. Устойчивость коалиции достигается таким дележом выигрыша коалиции, который лишает игроков мотиваций к выходу из коалиции. Традиционный подход теории кооперативных игр исходит из сильных допущений о полной информированности, рациональности и интеллектуальности игроков, что не позволяет использовать этот подход для создания коалиций в условиях неопределённости. В лаб. № 11 разработана модель формирования коалиции, основанная на модели объекта управления, представленной нечёткой когнитивной картой, и нечётких экспертных оценках целей и стратегий игроков, участвующих в конфликте.

Предложены три критерия устойчивости коалиции:

- критерий взаимной полезности участников при объединении их ресурсов для достижения общей цели;
- критерий когнитивного диссонанса, характеризующий степень дисбаланса взаимных полезностей;
- критерий привлекательности игрока для коалиции.

На их основе разработаны рекомендации для игрока, принимающего решение при выборе сторонников для создания устойчивой коалиции. Для него лучшими сторонниками по коалиции являются игроки, у которых значения возможности достижения цели и эффективность достижения цели близки к его показателям. В этом случае все игроки коалиции имеют приблизительно равную взаимную полезность, эффективность достижения цели и, следовательно, минимальные значения когнитивных диссонансов.

1.3. Онтологический подход к управлению знаниями в научных организациях (К.В. Крюков, О.П. Кузнецов, В.С. Суховеров)

Предложен подход к задаче определения компетентности научных сотрудников на основе соотнесения терминологии их публикаций с терминами онтологии предметной области. Предметная область научного знания представляется в виде онтологии с двумя типами вершин: вершины-темы и вершины-термины. Вершины-темы образуют основной каркас дерева и связаны между собой отношением тема-подтема. Вершина-термин связана ровно с одной темой отношением тема-термин; предполагается, что все нижележащие вершины наследуют этот термин. Определяется понятие профиля для двух основных объектов задачи: профиль документа (публикации), характеризующий релевантность документа темам предметной области, и профиль сотрудника, характеризующий компетентность сотрудника в тех или иных темах предметной области.

Предложена формула, оценивающая релевантность документа конкретной теме онтологии. При этом учитывается 3 параметра: 1) общее количество упоминаний основных терминов темы в документе; 2) часть документа (объём), в которой встречались основные термины темы; 3) разнообразие терминологии темы (число различных терминов) в документе. Аналогично вычисляется релевантность группы документов. Профиль документа – это вектор его релевантностей всем темам онтологии. Профиль компетентностей сотрудника – это вектор релевантностей его статей всем темам предметной области.

Вычисленные компетентности можно использовать для подбора экспертов в различных областях научной деятельности (рецензентов, оппонентов и т.д.).

В 2013–2015 гг. разработаны онтология и словарь наук об управлении, в 2017 г. разработана первая версия программной системы, успешно опробованная на массиве статей в журнале «Автоматика и телемеханика». К началу 2019 г. разработана система определения компетенций сотрудников Института на основе базы публикаций сотрудников.

2. Сетевые представления объектов и процессов

2.1. Разработка теории ресурсных сетей (Л.Ю. Жиликова, О.П. Кузнецов)

Модель «ресурсная сеть» была предложена О.П. Кузнецовым в 2009 г. Это ориентированный взвешенный граф; в вершинах, имеющих неограниченную емкость, находится однородный ресурс. Веса рёбер обозначают их пропускные способности – максимальное количество ресурса, которое может пройти по ребру за один такт дискретного времени. На каждом такте вершины распределяют ресурс в исходящие ребра по двум разным правилам с пороговым переключением. Если количество ресурса превосходит сумму весов исходящих ребер, в каждую смежную вершину передаётся ресурс, равный пропускной способности соответствующего ребра. В противном случае вершина отдаёт весь свой ресурс, разделив его между всеми ребрами пропорционально их пропускным способностям. Суммарное количество ресурса не меняется.

О.П. Кузнецовым описан частный случай (полная однородная сеть): сеть задана полным графом с петлями, все ребра имеют одинаковые пропускные способности. На этом простом примере продемонстрированы основные свойства, присущие произвольной ресурсной сети: устойчивость при малом ресурсе, зависимость от начальных условий при большом ресурсе, наличие интегральной характеристики сети – порогового значения ресурса, разделяющего малые и большие значения.

Л.Ю. Жиликовой получены следующие результаты, позволяющие практически полностью описать поведение ресурсных сетей и обобщённые в двух монографиях:

- Проведена классификация сетей по структуре их графов (регулярные, циклические и поглощающие сети) и по соотношению входных и выходных пропускных способностей. Исследован пороговый характер смены правил функционирования сети и разработаны методы нахождения предельных состояний и потоков в каждом классе сетей.
- Введено понятие потенциальных аттракторов – вершин, которые при определённых начальных состояниях способны притягивать к себе существенную часть ресурса. Найден критерий аттрактивности вершин.
- Описаны колебательные процессы в циклических сетях при малых ресурсах. При больших ресурсах в циклической сети всегда существуют предельное состояние и предельный поток.
- Исследованы поглощающие ресурсные сети. В них порогового значения ресурса не существует; предельное состояние при любом суммарном ресурсе зависит от начального состояния линейно.
- Для регулярных сетей с несколькими потенциальными аттракторами и поглощающих сетей с несколькими стоками сформулированы прямая и обратная задачи

управления; показано, что они сводятся к задаче квадратичной оптимизации с выпуклой целевой функцией.

- На основе ресурсной сети разработана модель распространения загрязняющих веществ в водной среде.

- Предложена модификация модели – сеть с ограничениями на ёмкость вершин-аттракторов. При достижении ресурсом заданного ограничения аттракторы насыщаются, и излишки ресурса переходят в множество других вершин – *вторичных аттракторов*. Эти вершины определяются топологией сети. Поведение сетей с ограничениями на аттракторы сложнее, чем поведение сети без ограничений.

Описан алгоритм функционирования сети с ограничениями на аттракторы.

Доказано существование второго порогового значения суммарного ресурса, при достижении которого происходит насыщение вторичных аттракторов. Описаны 4 интервала значений суммарного ресурса, на которых сеть демонстрирует различное поведение.

2.2. Методы рефлексивного формирования топологии беспроводной сети (Н.И. Базенков)

Беспроводные *ad hoc* сети – это сети, образованные автономными беспроводными передатчиками без дополнительной инфраструктуры. Такие сети используются в военных и спасательных операциях, для сбора данных на промышленных объектах, для экологического мониторинга. Узлы такой сети обычно работают от автономных аккумуляторов, поэтому для них очень важны методы обеспечения энергоэффективности. Задача формирования топологии заключается в том, чтобы, с одной стороны, назначить каждому узлу такую мощность, которая обеспечивает связность сети, а с другой – минимизировать суммарную мощность узлов.

Поскольку в *ad hoc* сетях отсутствует единый центр управления, использование централизованных алгоритмов невозможно. Приходится рассматривать распределённые алгоритмы, когда каждый узел стремится максимизировать локальную целевую функцию. Одним из перспективных подходов к созданию таких алгоритмов является теоретико-игровой подход, при котором задача формирования топологии сети формулируется как некооперативная игра. В этой игре узлы сети являются агентами (игроками), а функции полезности агентов учитывают две цели: поддержание связности сети и минимизацию мощности.

В литературе известен алгоритм «наивного наилучшего ответа». В лаб. № 11 предложен рефлексивный алгоритм двойного наилучшего ответа, при использовании которого агент прогнозирует возможную реакцию соседей на свои действия. Это позволяет выбирать более эффективные действия за счёт увеличения объёма вычислений. Разработаны два варианта алгоритма формирования сети. В первом алгоритме узлы используют двойной наилучший ответ до тех пор, пока все узлы не перестанут изменять свои мощности. После остановки полученная сеть не всегда является связной, поэтому узлы переключаются на обычный наилучший ответ и завершают формирование сети. Во втором алгоритме узел использует наивный наилучший ответ, если может улучшить с его помощью свою полезность. Если улучшение полезности невозможно, узел переключается на двойной наилучший ответ. Сходимость алгоритмов доказана аналитически, их эффективность продемонстрирована в численных экспериментах.

3. Искусственный интеллект и когнитивные науки (О.П.Кузнецов)

Цель исследований этого направления – выявить различия в механизмах обработки информации между компьютером и мозгом. Эта проблема важна и для когнитивных наук, изучающих работу мозга, и для искусственного интеллекта, занимающегося разработкой интеллектуальных систем. Дело в том, что многие задачи, связанные с обработкой информации, мозг решает эффективнее, чем компьютер. Краткий список некоторых таких задач выглядит так:

- быстрая обработка образов: категоризация, узнавание в разных ракурсах на основе сходства (а не тождества);
- целостное, «гештальтное» восприятие; восстановление целого по части; быстрое узнавание несходства («что-то не так»);
- определение релевантности, отделение существенного от несущественного;
- быстрый доступ к нужному содержанию (ассоциативный поиск);
- быстрые рассуждения на основе схем (а не формальной логики).

Малая эффективность решения этих задач компьютером (при том, что скорости компьютерных процессов в миллионы раз выше скоростей процессов мозга) говорит о том, что механизмы обработки информации в мозге принципиально другие. Поэтому необходим поиск подходов к построению моделей, близких к процессам мозга и отличающихся как от алгоритмических символьных моделей, на которых основано большинство известных интеллектуальных технологий, так и от современных моделей нейронных сетей, которые имеют простую архитектуру, мало похожую на сложную архитектуру мозга.

В начале 2000-х гг. в лаб. № 11 были разработаны две модели обработки и хранения образной информации. Эти модели основаны на голографическом подходе, который понимается не как традиционный физический, а как информационный принцип. О.П. Кузнецовым предложена оригинальная модель псевдооптических нейронных сетей (ПНС), обладающих голографическими эффектами. В них информация передаётся с помощью аналоговых сигналов, имеющих волновую природу, а запись и считывание (восстановление) происходят по голографическим принципам. Л.Б. Шипилина разработала инструментальные средства для моделирования ПНС. Машинные эксперименты показали, что в ПНС возможна эффективная организация быстрых процессов узнавания и восстановления образов, а также высокая устойчивость к повреждениям. А.В. Марковский разработал квазиголографический метод распределённого цифрового кодирования изображений, допускающий восстановление изображений при повреждении значительной части его поверхности. Этот метод позволяет так закодировать цифровое изображение, что оно восстанавливается даже при утрате значительной части его поверхности (до 90 % и выше). Результаты работы могут быть использованы для устранения помех при передаче графической документации по сетям связи, а также для защиты графической информации.

В 2012–2015 гг. были проведены исследования по двум ветвям направления, связанного с когнитивными науками. Исследования первой ветви относятся к проблеме когнитивной семантики и опираются на концепцию Дж. Лакоффа, представляющую собой проект решения двух проблем: категоризации и семантики.

В основе концепции лежит тезис о том, что когнитивные структуры и механизмы человека существенно зависят от его сенсорных механизмов, а также физического и социального опыта. Важную роль в этой концепции играют понятия гештальта и образно-схематических структур, на которые опирается объяснение механизмов понимания и быстрых рассуждений. Отметим, что описанная выше модель ПНС может стать перспективным подходом к моделированию гештальта.

Вторая ветвь исследований относится к изучению и развитию разделов математики динамических сетей, связанных с распространением активности. Эти исследования могут оказаться весьма полезными при развитии известной в нейробиологии концепции *коннектома*, ориентированной на структурирование и формализацию огромных массивов экспериментальных данных, накопленных нейробиологами за последние десятилетия.

Раскрытие принципов, на которых основаны информационные процессы мозга, должно привести к прорыву в интеллектуальных технологиях.

4. Групповое поведение роботов (А.А.Кулинич)

4.1. Социальные модели формирования и функционирования команд роботов с реактивной архитектурой

В 2016–2018 гг. были исследованы вопросы коллективного поведения роботов на основе критериев, сформулированных в социальных теориях поведения людей в малых социальных группах. Это теория взаимной полезности Дж. Хоманса, позволяющая моделировать мотивации образования команд, и теория когнитивного диссонанса Л. Фестингера, позволяющая моделировать устойчивость команды через мотивации выхода роботов из команды. Были предложены следующие критерии командного поведения роботов: возможность самостоятельного достижения цели; взаимная полезность; взаимный когнитивный диссонанс. На основе этих критериев построены математические модели командного поведения роботов с реактивной архитектурой и предложены алгоритмы стайного поведения роботов, а также алгоритмы поведения «ленивых» и эгоистичных роботов.

1.2. Модели формирования и функционирования команд интеллектуальных роботов с BDI (belief-desire-intention) архитектурой

Основной особенностью предложенных моделей образования команд интеллектуальных роботов является модель представления среды функционирования роботов в виде вложенных подпространств системы «Группа роботов - Среда», которые образуют решётку классов состояний среды функционирования, каждому из которых присвоено имя-символ. Структуризация пространства состояний и её символическое представление формально определяет качественную онтологию предметной области – концептуальный каркас среды. Разработана математическая модель интеллектуального робота с BDI архитектурой, все элементы архитектуры которого описаны в терминах имен классов состояний, представленных в концептуальном каркасе. На основе этой модели предложен алгоритм построения концептуального каркаса множеством роботов на основе обмена информацией об имеющихся у них ресурсах. Этот алгоритм позволяет представить убеждения (знания), желания (цели) каждого робота в терминах согласованных всеми роботами имён классов состояний концептуального каркаса.

Сформулированы условия командной работы роботов, реализация которых поддерживается разработанными протоколами обмена между агентами информацией об их убеждениях и целях, условиях совместной работы и координации действий. Предложенные модели, алгоритмы и архитектуры исследовались на имитационных моделях и показали свою корректность.

5. Моделирование нейронных сетей

5.1. Моделирование биологических нейронных сетей (О.П.Кузнецов, Н.И.Базенков, Б.Б.Болдышев, Л.Ю.Жулякова, С.Г.Куливец)

В 2015 г. совместно с коллективом нейробиологов из Института биологии развития РАН была начата работа по созданию дискретных моделей химических (трансмиссивных) взаимодействий между нейронами в биологических нервных системах. В 2016–2017 гг. была предложена первая версия дискретной модели химических взаимодействий. Нейроны в этой модели находятся в едином внеклеточном пространстве (ВКП). Когда нейрон активен, он выделяет в ВКП некоторое специфическое вещество-трансмиссивтер. Нейроны разнородны в двух отношениях: а) каждый нейрон выделяет определённый вид трансмиссивтеров и имеет рецепторы, чувствительные к определённому типу трансмиссивтеров; б) каждый нейрон имеет один из трёх типов электрической активности: осциллятор (периодически генерирует пачки спайков); реактивный нейрон (нейрон Маккаллока-Питтса – активен, только когда его возбудили извне); тонический нейрон (активен всё время, пока его не тормозят). Взаимодействия нейронов происходят через ВКП и не являются синаптическими: трансмиссивтер, выделенный каким-то нейроном, действует на все нейроны, которые имеют чувствительные к нему рецепторы, то есть является широковещательным сигналом. При этом воздействие трансмиссивтера на рецептор может быть возбуждающим или тормозящим, в зависимости от типа рецепторов. С нейробиологической точки зрения нейроны вместе с ВКП образуют нейронный ансамбль, в отсутствие внешних воздействий генерирующий ритмическую активность. Этот ансамбль можно представить сетью, в которой ориентированная связь от нейрона А к нейрону В существует, если А выделяет трансмиссивтер, к которому чувствительны рецепторы нейрона В.

В 2018 г. была разработана новая, асинхронная версия модели, которая в большей степени соответствует биологическим реалиям. В ней введено понятие мембранного потенциала, который изменяет свое значение под действием трансмиссивтеров, существующих в ВКП. Нейрон активен, когда значение потенциала превышает некоторое значение, называемое порогом. Вектор активностей нейронов называется внешним состоянием нейронной системы. Скорость изменения мембранного потенциала является суммой двух скоростей: эндогенной скорости, зависящей от типа нейрона, и экзогенной скоростью, зависящей от концентрации трансмиссивтеров, к которым чувствительны рецепторы данного нейрона.

Нейроны функционируют в непрерывном времени, в котором происходят события. Событиями являются: изменение состояния любого нейрона; появление в ВКП нового трансмиссивтера; дискретное изменение концентрации существовавшего трансмиссивтера. События – это точки на непрерывной шкале времени, которая разбивается событиями на такты. Внутри такта никаких событий не происходит. Различие эндогенных скоростей у разных нейронов приводит к асинхронности нейрон-

ных взаимодействий и к значительной вариабельности длительностей тактов дискретной последовательности. Предложен алгоритм вычисления поведения модели и его программная реализация.

5.2. Разработка теории стационарных ансамблей (О.П.Кузнецов, С.Г.Куливец)

В 2015–2016 гг. была предложена и исследована модель стационарного нейронного ансамбля, которая строится на основе известной пороговой сети из обычных нейронов Маккаллока-Питтса. Такая сеть называется стационарным ансамблем, если она способна удерживать свое единичное состояние (состояние, когда все её нейроны активны) при отсутствии внешних воздействий. Основным результатом, полученный в этом исследовании, заключается в доказательстве необходимых и достаточных условий, при которых нейронная сеть является стационарным ансамблем. В 2017–2018 гг. разработана программная среда для построения моделей сети формальных нейронов, расчёта их поведения, обнаружения ансамблей, сетей из ансамблей и просмотра графа состояний каждого из ансамблей, представленного как граф состояний автомата.

В программе реализованы:

- просмотр графа сети формальных нейронов (заданного матрицей смежности),
- расчёт последовательности состояний сети для заданного начального состояния, поиск ансамблей в сети,
- анализ влияния входов ансамбля на состояние ансамбля.

6. Исследование процессов в социальных сетях (Д.А. Губанов, Л.Ю. Жиликова, Н.И. Базенков)



Олег Иванович Авен

под новым названием) стал к.т.н. Л.И. Микулич.

В 2018 г. к лаб. № 11 была присоединена лаб. № 32 интеллектуальных информационных технологий для систем управления. Эту лабораторию в 1968 г. создал д.т.н., проф. (впоследствии – член-корреспондент АН СССР) О.И. Авен. Тогда она занималась разработкой научных основ и методов построения автоматизированных систем управления организационными комплексами. С 1992 г. заведующим лаб. № 32 (уже



Леонид Ильич Микулич

С 1968 по 1992 г. лаборатория под руководством О.И. Авена принимала участие в крупных общесоюзных проектах по созданию АСУ «Металл», АСУ «Интурист» и АСУ «Морфлот».

В последние годы в лаб. № 32 были начаты и активно развивались исследования по разработке теории и методов интеллектуального анализа информационных процессов в сетевых и мультиагентных структурах.

Д.А. Губанов, сотрудник бывшей лаб. № 32, более 10 лет назад первым в Институте начал заниматься исследованиями социальных сетей.

За последние 5 лет получены *следующие результаты*:

- разработаны математические модели и методы анализа онлайн-социальных сетей, в том числе акциональная модель распространения действий в онлайн-социальных сетях (совместно с А.Г. Чхартишвили), а также основанные на ней методы расчёта влияния пользователей онлайн-социальных сетей и методы кластеризации пользователей онлайн-социальных сетей;
- разработаны методы поиска сообществ и влиятельных агентов в социальных сетях на основе языковых игр (совместно с Л.И. Микуличем и Т.С. Наумкиной);
- предложены методы извлечения и анализа терминологических структур предметных областей (совместно с Д.А. Новиковым);
- разработаны алгоритмы и программы анализа онлайн-социальных сетей, в том числе для выявления активных групп и сообществ, для расчёта влиятельности пользователей и оценки уязвимости пользователей к информационным воздействиям, для выявления инициаторов обсуждений в сети;
- разработаны алгоритмы и программы извлечения и анализа терминологических структур из текстов заданной предметной области;
- проведены исследования информационных процессов в реальных онлайн-социальных сетях (*Facebook, VKontakte*);
- предложена модель распространения активности в сети с разными типами агентов и активностей (совместно с Л.Ю. Жиликовой).

Исследования лаб. № 11 в последние 5 лет были поддержаны 5 грантами РФФИ, из которых 3 гранта продолжаются в 2019 г., и двумя программами ОЭММПУ РАН.

ЛАБОРАТОРИЯ № 16

ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

УПРАВЛЕНИЯ им. Е.С. Пятницкого

Лаборатория создана в 1982 г. по инициативе Марка Ароновича Айзермана на базе группы сотрудников лаб. № 25. Первым её заведующим стал доктор технических наук, профессор Евгений Серафимович Пятницкий – выдающийся российский учёный в области механики и процессов управления (в 2000 г. избран членом-корреспондентом РАН). Евгений Серафимович руководил лаб. № 16 до последнего дня жизни (2003). В 2003 г. заведующим лаб. № 16 стал доктор физико-математических наук Лев Борисович Рапопорт.

Большой вклад в становление и развитие научной тематики лаборатории внесли: член-корреспондент РАН, д.т.н., проф. Е.С. Пятницкий, к.ф.-м.н. И.Н. Барабанов, к.ф.-м.н. Н.В. Дунская, к.ф.-м.н. В.А. Каменецкий, к.т.н. А.И. Литвинцев, д.ф.-м.н. В.И. Матюхин, д.ф.-м.н., проф. А.П. Молчанов, д.ф.-м.н. А.В. Пестерев, д.ф.-м.н. Л.Б. Рапопорт, д.ф.-м.н., проф. В.Н. Тхай.

В настоящее время в лаборатории работают: д.ф.-м.н. Л.Б. Рапопорт, к.ф.-м.н. И.Н. Барабанов, А.А. Генералов, д.ф.-м.н., проф. О.В. Дружинина, к.ф.-м.н. В.А. Каменецкий, к.ф.-м.н. Ю.В. Морозов, к.ф.-м.н. М.А. Муницына, д.ф.-м.н. А.В. Пестерев, Т.А. Тормагов, д.ф.-м.н., проф. В.Н. Тхай, д.т.н., проф. В.А. Уткин.



**Основатель
и первый зав. лаб. № 16
Евгений Серафимович
Пятницкий**

Основные научные направления

- общие методы анализа и синтеза нелинейных систем управления;
- управление механическими системами;
- теория колебаний и устойчивость движения нелинейных динамических систем.
- методы спутниковой навигации и управление мобильными роботами.

Основные научные результаты

К числу основных результатов, полученных в лаборатории, следует отнести новый вариационный принцип механики – принцип минимакса, который позволяет сводить задачи оптимального управления механическими системами к стандартным задачам на условный экстремум.



**Зав. лаб. № 16
Лев Борисович Рапопорт**

Установлен принцип декомпозиции для управляемых механических систем, нашедший применение в управлении манипуляционными роботами (включая многоруких роботов), летательными аппаратами, судами, двигателями внутреннего сгорания, динамическими тренажёрами. Исследована задача управления чёрным ящиком механической природы.

Разработан метод анализа устойчивости нелинейных систем с неполной информацией, описываемых дифференциальными разностными включениями. Развита вариационный метод анализа таких систем, введены новые классы функций Ляпунова, что позволило получить новые критерии устойчивости.

Исследовано строение границы области абсолютной устойчивости систем управления с параметрическими возмущениями. Доказано существование инвариантных функций на границе области абсолютной устойчивости. Доказано существование периодических решений в таких системах в двумерном и трёхмерном случаях. Получены конструктивные необходимые и достаточные условия абсолютной устойчивости.



**Валентин
Николаевич
Тхай**

Для задачи абсолютной устойчивости систем управления с несколькими нелинейными стационарными элементами получены необходимые и достаточные условия существования функций Лурье–Постникова в форме разрешимости системы линейных матричных неравенств и в частотном виде. Получено «не ущербное» расширение S-процедуры для задачи о знакоопределённости квадратичных форм при квадратичных ограничениях специального вида.

Развит метод управления механическими системами с упругими элементами.

Разработаны численные методы построения функций Ляпунова для детерминированных и стохастических систем. Разработан метод построения функций Ляпунова, позволяющий получить условия асимптотической устойчивости, экспоненциальной устойчивости, абсолютной устойчивости.

Для нелинейных управляемых систем получены необходимые и достаточные условия стабилизируемости в терминах существования стабилизирующих пар – управления и функции Ляпунова, обеспечивающей устойчивость замкнутой системы управления. Необходимые и достаточные условия стационарной стабилизируемости сводятся к задаче нахождения гладкого решения специального неравенства в частных производных. Аналогичный результат получен для нестационарных объектов управления.

Установлены условия экспоненциальной и сильной стабилизируемости. Получены необходимые и достаточные условия стабилизируемости при неполной информации о



**Владимир Иванович
Матюхин**



**Иван Николаевич
Барабанов**

векторе состояния.

Разработаны основы конструктивной теории линейных матричных неравенств. Разработана концепция биомеханики управляемых движений человека.

В последнее время ведутся работы по применению методов спутниковой GLONASS / GPS и инерциальной навигации к задачам управления механическими системами. Активно развиваются методы управления колёсными роботами. Развита методика планирования траекторий колёсных роботов, решены задачи синтеза законов управления, оценки областей притяжения и областей достижимости. Полученные результаты находят применение в сельском хозяйстве, строительстве, обеспечении безопасности работы в сложных условиях.



Тестирование колёсного робота

Построены прототипы мобильных роботов и системы управления, реализующие теоретические результаты лаборатории. Подготовлено несколько патентов.

Развита методика нелинейного анализа обратимых механических систем, обладающих свойством пространственно-временной симметрии. Получен ряд фундаментальных результатов, нашедших большой отклик в международном научном сообществе.

В теории нелинейных колебаний предложена теория периодических движений, с единых позиций описывающая как колебания, так и вращения, развиты: теория систем, близких к резонансным и близких к автономным, для систем с первым интегралом проанализированы колебания, устойчивость, возможность стабилизации, решена задача управления.

Получен ряд важных результатов по синтезу управлений, обеспечивающих конечное время переходных процессов в механических системах. Этот подход, тесно связанный с принципом декомпозиции Е.С. Пятницкого и развитый В.И. Матюхиным, применён к решению задачи о безударном контакте твёрдых тел.

Для задачи управления многоагентными системами исследованы протоколы децентрализованного управления, обеспечивающие конечное время образования формации при большом количестве агентов механической природы.

Открыты грубые по периодическому движению модели, получены различные достаточные условия грубости.

Силами лаб. № 16 в Институте проводится популярный Международный семинар «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления» им. Е.С. Пятницкого – конференция РАН для специалистов по механике, прикладной математике. Организатором, идейным вдохновителем и председателем Оргкомитета семинара до конца своих дней был Е.С. Пятницкий. Первый семинар был проведён в 1987 г., а с 1992 г. он проводится каждые два года, с 2004 г. семинар носит имя Е.С. Пятницкого. Председателем Оргкомитета является В.Н. Тхай.

Круг научных проблем, обсуждаемых на семинаре, включает наиболее актуальные вопросы науки управления. Так, помимо традиционных направлений, таких как теория устойчивости движения и теория колебаний, вопросы управляемости, наблюдаемости и стабилизации, управление механическими системами, широко представлены проблемы робастной устойчивости, задачи управления гибридными системами, моделирование систем управления. По материалам докладов публикуются тематические номера журналов «Автоматика и телемеханика», «Прикладная математика и механика» и сборник работ, индексируемый в IEEE.

ЛАБОРАТОРИЯ № 17

АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ



**Основатель
и первый зав. лаб. № 17
Владимир Александрович
Жожикашвили**

Лаборатория образовалась в 1959 г., вобрав в себя часть сотрудников лаб. № 3 профессора М.А. Гаврилова. Руководителем лаборатории был назначен Владимир Александрович Жожикашвили, который исполнял эти функции до конца жизни. С 2008 г. и по настоящее время заведующим лаб. № 17 является доктор технических наук Маис Паша-оглы Фархадов, один из ведущих специалистов по разработке систем с речевыми технологиями.

Большой вклад в становление и развитие лаборатории внесли Р.В. Билик, Е.В. Картузов, В.Н. Силаев.

Деятельность лаб. № 17 последовательно развивалась в следующих главных направлениях:

- Бесконтактные системы телемеханики (1953–1965).
- Автоматизированные системы массового обслуживания, система и сеть «Сирена» (1965–1998).
- Применение речевых технологий в информационных системах, управлении, аналитике (1998–2008).
- Модели и методы интеллектуализации информационных и сервисных систем на базе использования современных интерфейсных и информационно-телекоммуникационных технологий (с 2008 г. по настоящее время).
- Фоновый принцип обработки сигналов.
- Управление роботами.

Бесконтактные системы телемеханики

В 1959–1965 гг. под руководством В.А. Жожикашвили впервые в мировой практике в лаборатории были созданы бесконтактные элементы дискретного действия на основе магнитных сердечников с прямоугольной петлёй гистерезиса, как антипод электромагнитным контактным реле. На основе этих элементов были разработаны бесконтактные системы телемеханики (телеуправления, телеизмерений и телесигнализации), отличавшиеся тем, что они не содержали ни одного электромеханического контакта и, следовательно, обладали супервысокой

надёжностью. Это была подлинная революция в области телемеханики и средств автоматизации, значительно опередившая уровень работ в других странах. Заводы СССР освоили промышленное производство бесконтактных систем телемеханики для нужд сельского хозяйства, электроэнергетики, металлургии, связи, армии и т.д.

Автоматизированные системы массового обслуживания

В 1965 г. в лаборатории была начата работа по созданию первой в СССР системы бронирования и продажи билетов на рейсы «Аэрофлота» – системы «Сирена». К созданию системы было привлечено несколько НИИ, КБ и заводов Минприбора и Министерства гражданской авиации, Институт получил статус головной организации. Генеральным конструктором системы был назначен зав. лаб. № 17 В.А. Жожикашвили. В рамках проекта «Сирена» были реализованы передовые идеи, которые в дальнейшем стали основополагающими для систем обслуживания разного назначения. Впервые в практике СССР был решён целый ряд проблем, среди которых:

- создание распределённой динамической базы данных, обслуживающей в реальном масштабе времени интенсивный поток транзакций;
- использование пультов ввода-вывода информации с экраном и алфавитно-цифровой клавиатурой;
- разработка сети передачи данных повышенной надёжности с пакетной коммутацией и адаптивной маршрутизацией;
- разработка и первое практическое применение электронной почты.



**Зав. лаб. № 17
Маис Паша-оглы
Фархадов**



**Валерий
Александрович
Кучерук**

В 1972 г. был введён в промышленную эксплуатацию московский узел системы «Сирена», а в течение нескольких последующих лет «Сирена» была распространена на всю территорию СССР и существенно улучшила работу «Аэрофлота». Для внедрения системы «Сирена» в Институте на базе лаб. № 17 был образован отдел под руководством В.А. Кучерука.

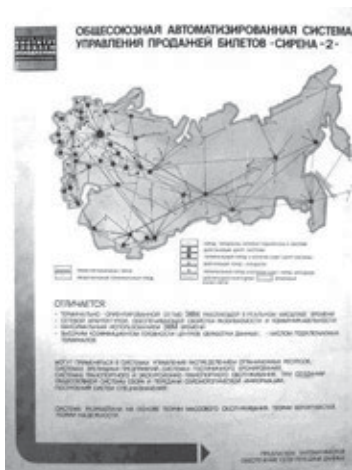
Опыт разработки системы «Сирена» стал основой для создания теории построения нового класса распределённых компьютерных систем с мультимедийным доступом к удалённым базам данных в реальном масштабе времени, получивших название «автоматизированные системы массового обслуживания» (АСМО). На этом этапе большой вклад в работу внесли В.Л. Бахрах, Л.Б. Белокриницкая, Р.В. Билик, В.А. Вертлиб,

ИПУ РАН: лаборатории

В.М. Вишнеvский, А.С. Ипатов, Е.В. Каргузов, Г.Л. Кацман, В.И. Курбатский, З.П. Мясоедова, С.В. Никифоров, Н.В. Петухова, А.А. Прытов, Б.И. Ребортович, А.Л. Розовский, А.Б. Савинецкий, В.Н. Силаев, И.В. Ситникова, С.И. Спиваковский, Л.М. Старкова, А.С. Твердохлебов, Б.Н. Терещенко, В.И. Тюнин, Е.В. Федотов, М.С. Шамова, Т.М. Шibaева, А.В. Шипунов, М.П. Фархадов.

Система «Сирена» была первой в СССР действующей системой массового обслуживания населения, уникальной в отечественной практике.

Прогрессивные научно-практические решения, положенные в основу построения системы «Сирена», позволили ей устойчиво развиваться и совершенствоваться на протяжении многих лет. В настоящее время успешно функционируют глобальная распределительная система (ГРС) «Сирена-Трэвел», ТАИС – Транспортная автоматизированная информационная система ТАИС CRS (Сирена-2.3), возникшие в ходе совершенствования системы «Сирена-2».



Сеть системы «Сирена-2»,
1979 год



Эти люди из лаб. № 17 делали систему «Сирена»
(в центре – В.А. Жожикашвили)

Системы массового обслуживания с речевыми технологиями

В 1998 г. лаборатория в составе ведущих специалистов В.А. Жожикашвили, Р.В. Билика, Н.В. Петуховой, В.А. Вертлиба, М.П. Фархадова, З.П. Мясоедовой развернула новую программу, получившую название «АСМО нового поколения». Эта программа была направлена на то, чтобы информационное и сервисное обслуживание населения стало более дешёвым, открытым и доступным. Ключевую роль здесь были призваны сыграть компьютерные речевые технологии – распознавание и синтез речи, идентификация голоса, анализ речевого потока. Речевой портал, реализующий функции самообслуживания в интерактивном режиме и предоставляющий интеллектуальные услуги, способен значительно повысить эффективность центров обслуживания.



Прикладные разработки лаборатории № 17

Области рационального применения речевых технологий практически неограниченны. Лаборатория применяет эти технологии, в первую очередь, в качестве надстройки над действующими АСМО («Сирена», заказы такси, банковские системы), а также в инновационных проектах. Для этого созданы необходимые универсальные блоки распознавания, включающие грамматики, словари и акустические модели: чисел, дат, времени суток, номеров телефонов, адресов, городов и др. Разработаны также конкретные сценарии: для бронирования авиабилетов, заказа такси, управления денежными счетами в банке. Разработанная методология, включающая ситуационное и динамическое управление

диалогом, делает его компактным и удобным для пользователя.

Помимо внедрений речевых интерфейсов в системы массового обслуживания, они могут использоваться и в других отраслях:

- речевое управление роботизированными комплексами;
- интеллектуальный речевой интерфейс для режимов *hands free*;
- ассистирующие системы для медицинского персонала;
- анализ речевых потоков для бизнес-аналитиков и систем безопасности;
- системы обучения на основе применения речевых и мультимедийных технологий, в том числе для людей с нарушением слуха.

Модели и методы интеллектуализации информационных и сервисных систем на базе использования современных интерфейсных и информационно-телекоммуникационных технологий

Текущие работы лаборатории связаны с созданием моделей и методов интеллектуализации современных информационных и сервисных систем. Эти работы включают разработку:

- принципов интеллектуализации информационных и сервисных систем с использованием актуальной информации, речи, мультимодальных интерфейсов и мобильных сервисов;
- и применение методов анализа и синтеза сетей на основе новых телекоммуникационных и информационных технологий;
- многоуровневой системы статических и динамических моделей сетей;
- и программную реализацию самосогласованной модели сетевых систем;
- методов и программных средств для определения психологического состояния операторов автоматизированных систем массового обслуживания с целью проверки их профессиональной надёжности на основе волновой модели мозга;

- искусственного нейронного кортекса и его применение в задачах интеллектуального управления, кластеризации, распознавания образов;
- социально ориентированных систем массового обслуживания;
- Интернет-портала «Сурдосервер» как социально значимой системы массового обслуживания;
- интеллектуальных мультимедийных обучающих систем.

Фоновый принцип обработки сигналов

В 2013 г. в состав лаб. № 17 вошёл коллектив лаб. № 26 «Системы восприятия информации на основе фонового принципа», которую возглавлял д.т.н. Автандил Николаевич Ануашвили.

Лаб. № 26 была создана в 1990 г. в связи с научным открытием «Закономерность проявления подвижности объекта» (фоновый принцип). Диплом на открытие был выдан по решению Отделения машиностроения, механики и процессов управления РАН на основе экспертного заключения двух академических институтов: Физико-технического Института им. А.Ф. Иоффе, и Института проблем механики.



**Автандил Николаевич
Ануашвили**

За годы своего существования лаб. № 26 выполнила 9 государственных заказов от Минобороны и Генштаба. В развитие фонового принципа были получены новые фундаментальные результаты. В частности, установлено неизвестное ранее явление когерентного усиления сигнала о подвижности объекта, которое легло в основу разработки радара нового поколения, известного в настоящее время как «Голографический радар» и реализованного, в том числе, в США. По тематике «Голографический радар» и «Фоновая локация» в настоящее время проводятся конференции и защищаются диссертации, посвящённые задачам оперативного управления.

Установлено, что фоновый принцип проявляется и в живой природе. Например, в мозгу человека естественным образом создаются условия, при которых происходит когерентное усиление сигналов о подвижности объектов – источников электромагнитных колебаний (очагов электрической активности). При этом установлена неизвестная ранее закономерность изменения психологического типа человека в зависимости от параметров электромагнитных колебаний в его мозге. Обнаружено также неизвестное ранее свойство психо-физиологической саморегуляции человека в условиях действия биологической обратной связи. В качестве теоретического обобщения фонового принципа разработана математическая модель обнаружения сигнала на фоне шума.

Исследования, начатые в лаб. № 26, успешно продолжаются в лаб. № 17. Главное направление работ – изучение фонового принципа обработки сигналов. Целью этих исследований является создание интеллектуальных систем восприятия информации на основе обобщения фонового принципа.

Управление роботами

С 2014 г. в лаборатории ведутся работы по управлению роботами на основе последних технических, технологических и научных достижений. В 2018 г. сотрудники лаборатории приняли участие в создании подводного аппарата «Малахит», который победил в своем классе аппаратов на конкурсе Аквароботех–2018. В процессе создания действующей модели были решены следующие задачи: стабилизация движения, использование видеоаналитики для помощи оператору в поиске определенных объектов и работе с ними, управление манипулятором.

Лаборатория выполнила 6 проектов по грантам РФФИ, принимала участие в 15 международных и отечественных научных и отраслевых выставках; её работы неоднократно награждались дипломами и медалями. В лаборатории действует молодёжная научная школа. За последние 10 лет сотрудниками лаборатории опубликовано более 400 научных работ.



Профессор Маис Фархадов и его молодёжная научная школа

ЛАБОРАТОРИЯ № 18

КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

Лаборатория как самостоятельное подразделение была создана по инициативе директора Института академика В.А. Трапезникова 1 октября 1978 г. на основе группы сотрудников лаб. № 29, которой в то время заведовала д.т.н., проф. Елена Карловна Круг. Руководителем лаборатории до последнего дня своей жизни (11 ноября 2013 г.) был её основатель – доктор технических наук, профессор Евгений Иванович Артамонов.

Теоретическая и практическая деятельность лаборатории связана с разработкой методов проектирования интерактивных систем (ИС), реализованных в виде технических или программных средств. Под интерактивными понимаются системы, взаимодействующие через устройства ввода-вывода с объектом или пользователем в реальном масштабе времени. В интерактивных системах из-за особенностей внешних устройств и систем используется большое разнообразие форматов обрабатываемых данных, в том числе графических, что существенно усложняет выбор структуры ИС.

В начале 70-х гг. Е.И. Артамоновым была разработана общая теория синтеза структур ИС, реализованных в виде технических средств. Основная идея синтеза структур заключалась в создании сетевой модели ИС на основе алгоритма функционирования и возможных взаимосвязей форматов данных с различными реализациями отдельных блоков ИС, а также последующего формального выбора лучшей реализа в виде определения кратчайшего пути на сетевой модели.

На основании теоретических исследований были отобраны перспективные структуры, построены и введены в эксплуатацию несколько типов цифровых регуляторов и создан ряд систем: управления процессом высокоточного смешения бензинов, вычисления параметров подвижных объектов, диспетчерского контроля для испытания сельскохозяйственной техники и др. На структуры таких систем получено более десятка авторских свидетельств.

Система управления процессом смешения бензинов была внедрена в начале 70-х гг. в г. Грозном: она была первой в СССР цифровой интерактивной системой смешения нефтепродуктов, обеспечивающей смешение на потоке в трубопроводе. Впервые в СССР была изменена технологическая схема процесса смешения бензинов, произошёл переход от последовательного смешения компонентов смеси в ёмкостях к параллельному смешению на потоке в трубопроводе.



**Основатель
и первый зав. лаб. № 18
Евгений Иванович
Артамонов**

С середины 70-х гг. начаты работы по исследованию принципов построения и созданию программно реализованных интерактивных систем, в частности систем автоматизированного проектирования (САПР). В то время в мире при решении задач создания САПР структуры систем представляли собой центральную часть, реализуемую в форме прикладной программы, которая была связана с подпрограммами графических пакетов (PLOT-10, «Графор», «ФАП-КФ» и др.). При такой структуре для решения новой задачи приходилось систему заново компилировать. В лаборатории был предложен новый подход по структурной организации систем проектирования, похожий на аппаратную реализацию спецпроцессоров, в котором выделялись инвариантная по отношению к решаемым задачам часть систем, включающая средства взаимодействия пользователя с системой и внешними устройствами, и проблемно-ориентированная часть.

Большую роль в осмыслении принципов организации систем проектирования, понимании места компьютерной графики в САПР и обсуждении структур данных и международных стандартов на эти структуры сыграл ежегодный Общесоюзный семинар по компьютерной графике (научный руководитель – Е.И. Артамонов). Два семинара были проведены в г. Ижевске (1979, 1982).

К 1981 г. была разработана идеология построения и создан интерактивный интегрированный программный комплекс «ГРАФИКА-81», включающий подсистемы выпуска конструкторско-технологической документации, моделирования пространственных конструкций, автоматического размещения элементов и трассировки соединений на принципиальных схемах и печатных платах, подготовки управляющей информации для станков с ЧПУ. Комплекс централизованно распространялся через «Центрпрограммсистем», г. Калинин (ныне – Тверь), и внедрён на ряде машиностроительных предприятий.

Разработка систем автоматизированного проектирования является достаточно сложной задачей, отнимает массу времени и требует участия большого количества высококвалифицированных разработчиков. Стоимость программной реализации для некоторых САПР составляет 20–50 тыс. долларов США за одно рабочее место, а затраты только на их продвижение на рынке измеряются миллионами долларов в квартал.

Сложность разработки таких систем в лаб. № 18 усугублялась обилием разных технических средств и операционных систем, на которых последовательно создавался комплекс «ГРАФИКА-81», – от ICL-4-70, ЕС-ЭВМ, М-6000, СМ-1420 до персональных компьютеров.

С 1975 по 1985 гг. лаборатория принимала участие в организации работ по САПР сначала в Министерстве приборостроения, затем среди 12 министерств гражданских отраслей машиностроения. С 1985 по 1990 гг. лаборатория возглавляла работы по САПР в Комплексной программе научно-технического прогресса стран-членов СЭВ (КПНТП СЭВ). В программе от СССР участвовали 300 организаций и столько же – со стороны стран-членов СЭВ и СФРЮ.

К концу 90-х гг. была сформулирована общая теория формального синтеза структур интерактивных систем, реализованных в виде технических и программных средств. Реализация сетевой модели для синтеза программных ИС

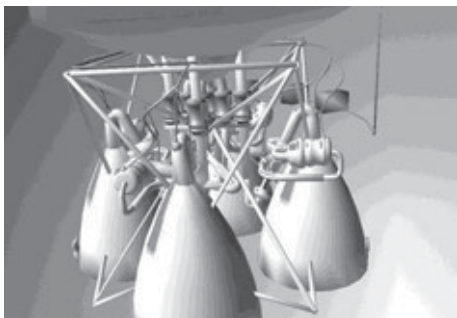
потребовала написания программ преобразования и визуализации как широко используемых, так и стандартных форматов данных: DXF, WMF, Gerber, HPGL, PLT, PCB, STEP, VRML и т.п.

Комплекс «ГРАФИКА-81» использовался для разработки объёмных геометрических моделей всех модулей орбитальной станции «МИР», кинематических моделей «Фермы-3» станции «МИР», а также компьютерных фильмов, созданных на основе этих моделей. Все разработки применялись при предполётном обучении космонавтов.

В дальнейшем прорабатывались методы объёмного геометрического моделирования, структур и программного обеспечения интерактивных систем на основе средств виртуальной реальности. Так, в 1998 г. был создан тренажёр по аварийному покиданию российских модулей Международной космической станции; с 1999 по 2004 годы – тренажёр для обучения космонавтов развёртыванию ретранслятора на орбитальной станции «МИР» в российско-грузинском эксперименте; объёмная геометрическая модель двигателя «Протон» для моделирования результатов аварии двигателей; подсистема визуализации при испытаниях разгонных блоков и мониторинге окружающей среды в процессе уничтожении химического оружия.



3D-модель станции «МИР»



Модель двигателя Proton GS

В развитие принципов построения и создания интерактивных систем внесли вклад многие сотрудники лаб. № 18.

К.т.н., с.н.с. А.И. Разумовский занимается разработкой интерактивных систем на основе средств виртуальной реальности, программами преобразования структур данных. Им создана подсистема визуализации при испытаниях разгонных блоков и мониторинге окружающей среды при уничтожении химического оружия.

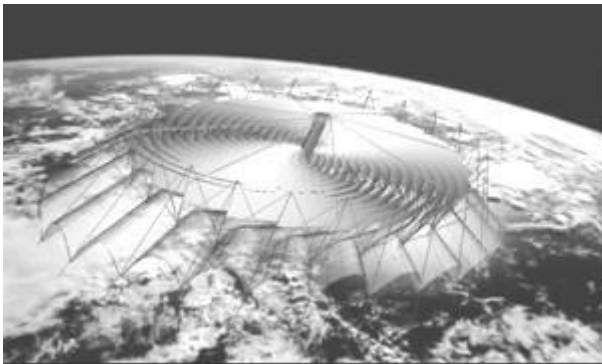
Л.Н. Сизовой разработан интерактивный программный комплекс, предназначенный для проектирования электронных устройств средств связи, создания схемной документации, разработки чертежей, нахождения и отображения кратчайшего пути между какими-либо объектами.

К.т.н., с.н.с. В.А. Ромакиным на основе средств виртуальной реальности созданы объёмная геометрическая модель большого космического рефлектора (БКР) по заказу ФГУП «Энергия» в рамках программы Еврокосмического агентства, система эргономического анализа пультов безопасности АЭС и система моделирования рельефов местности.

Под руководством д.т.н., проф. А.В. Толока, который стал заведующим лаб. № 18 в 2013 г., развивается направление воксельного графического моделирования, представлены работы в области построения воксельных геометрических моделей, описанных с применением аппарата R-функций. На основе проводимых исследований в этом направлении разработана система РАНОК, позволяющая строить воксельные графические образы, формирующие объёмную (многомерную) геометрическую модель объекта. Такая модель обеспечивает возможность её качественной визуализации, анализа дифференциальных характеристик и применима для решения оптимизационных задач, связанных с R-функциональным моделированием поверхности с критическими точками решения. В системе РАНОК реализован градиентный метод на основе графических данных воксельной геометрической модели, который применяется при решении широкого класса оптимизационных задач математического моделирования: математическое программирование, определение объёмов и площадей для тел со сложной аналитически заданной поверхностью, решение систем уравнений и многих других задач, основанных на оптимизационных постановках. Одним из перспективных исследований лаборатории в направлении воксельного моделирования является



**Зав. лаб. № 18
Алексей Вячеславович
Толок**



Моделирование процесса раскрытия БКР

класс инженерных задач твёрдотельного проектирования. Перспективным представляется переход от сложных расчётов физического состояния тел методом МКЭ к более точным и наглядным решениям на основе воксельных графических отображений.

Сотрудниками лаборатории разработано программное обеспечение графического

редактора для лазерного послойного синтеза изделий из металлических порошков. Синтезированы структуры и разработаны программные средства тренажёра по сборке космических аппаратов в космосе, тренажёра для освоения интервенционных операций диагностики и лечения заболеваний сосудов сердца.

Разработана программная система автоматизированного проектирования средств автоматики на элементах высокотемпературной струйной техники. Созданы система автоматической сборки машиностроительных конструкций и программно-технический комплекс для автоматического изготовления физических

моделей этих конструкций из жидких полимеров. Разработаны базы данных 3D-моделей космических конструкций, элементов струйной техники (совместно с лаб. № 2), сосудов сердца с оптимизацией структур данных этих моделей по сложности программной реализации.

В рамках проекта РФФИ «Разработка теории магнитной локации и управления движением магнитной капсулы эндоскопа и создание макета измерительно-управляющего комплекса с капсулой» совместно с лаб. № 14 (ныне вошла в состав лаб. № 2) разработаны алгоритмы, математическое и программное обеспечение обработки данных, поступающих в компьютер с АЦП, и визуализации расчётных данных, включая пространственное положение капсулы в исследуемом объекте; проведён сравнительный анализ теоретической векторной 3D-модели траектории движения капсулы эндоскопа с расчётной траекторией, построенной по показаниям датчиков.

В рамках проекта РФФИ также совместно с лаб. № 14 разработаны алгоритмы, математическое и программное обеспечение для управления продвижением АМР головки-градиометра в плоттере и обработки сигналов АМР датчиков магнитного поля (устранение наводок от токовых импульсов и шумов, возникающих вследствие малой величины сигнала, и выполнение расчёта сигнала), вычисления характеристик и построения графиков этих сигналов.

В 2016 г. А.В. Толоком издаётся авторская монография под редакцией академика РАН С.Н. Васильева с описанием метода функционально-воксельного моделирования (ФВМ). На основе метода ФВМ создаётся новое направление современной компьютерной геометрии – *локальная компьютерная геометрия*. Такой предмет является новым курсом для магистратуры, который читается студентам МГТУ «СТАНКИН», а также ННГАСУ (г. Нижний Новгород) по профилю «Инженерная и компьютерная графика».

В том же году состоялась защита кандидатской диссертации сотрудника лаборатории Михаила Александровича Локтева на тему «Функционально-воксельное моделирование в задачах поиска пути с препятствиями». Разработаны и исследованы расчётные средства с применением аппарата R-функций к методу ФВМ для автоматизации задач прокладки пути с препятствиями на основе известных аналитических подходов. Проведённые исследования показали эффективность применения функционально-воксельных моделей в компьютерном моделировании геометрических объектов для решения оптимизационных задач. Рассмотрены задачи построения пути на основе диаграммы Вороного, моделирования движения беспилотного объекта по градиентному спуску, а также предложен принципиально новый подход рельефной трассировки, базирующийся на выявлении и применении характерных форм рельефа поверхности, которая организована на принципах повышения простраства плоских контуров, описывающих габариты препятствия. Характерно, что предложенный подход и алгоритмы легко переносимы на задачи в многомерном пространстве.

С 2017 года коллектив сотрудников лаборатории (с.н.с., к.т.н. А.И. Разумовский, с.н.с., к.т.н. В.А. Ромакин, с.н.с., к.т.н. М.А. Локтев, ст. инженер, аспирант А.М. Плаксин, вед. инженер-программист Л.Н. Сизова, вед. инженер-

программист К.А. Савельев, инженер-программист Ю.В. Горская) ведёт проектно-исследовательскую работу над Государственным заказом по созданию и развитию системы адаптации пакета графических данных (САГП) для ПАО РКК «Энергия» для организации мультисистемных средств обработки электронной проектной документации космического аппарата с последующей адаптацией к прикладным задачам автоматизации процесса подготовки полётов и космонавтов.



Интерфейс системы САГП

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 450 научных статей, издано 5 монографий и зарегистрировано 7 патентов и свидетельств на изобретение и программную реализацию.

Одним из новых направлений исследований в лаб. № 18 являются квантовые технологии. Ведущим научным сотрудником к.т.н. П.А. Правильщиковым разрабатывается механизм квантового параллелизма для будущих квантовых компьютеров. Старший научный сотрудник, к.т.н. С.В. Смирнов стал организатором ежегодных международных конференций «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM — 2000–2018)».

В лаборатории действует МНШ (молодёжная научная школа) под руководством проф. А.В. Толока.

ЛАБОРАТОРИЯ № 19

МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В 1957 г. была создана лаборатория № 19 «Следящих электромагнитных систем», которая в 1962 г. была переименована в Лабораторию теории многосвязных систем. С 1962 по 1991 гг. лабораторией руководил лауреат премии им. А.А. Андропова, доктор технических наук, профессор Михаил Владимирович Мееров. С 1991 по 2005 гг. лабораторию возглавлял доктор физико-математических наук, профессор Владимир Николаевич Кулибанов. В настоящее время заведующим лабораторией является кандидат технических наук Атлас Валиевич Ахметзянов.

В первые годы существования лаборатория занималась вопросами построения высокоточных систем регулирования. В их основе лежали идеи и методы, разработанные М.В. Мееровым и изложенные в его фундаментальных работах «О системах регулирования, устойчивых при сколь угодно большом коэффициенте усиления», «Системы многосвязного регулирования», а также ряде монографий и статей. Эти исследования актуальны и поныне. Одновременно в лаборатории велись работы по учёту статистических свойств помех и параметров объекта в системах регулирования. Эту работу возглавлял И.И. Перельман, разработавший теорию операторов прогнозирования выходной реакции объекта регулирования, а также методы их использования в задачах управления. В 1967 г. И.И. Перельман возглавил самостоятельную группу № 39. В лаборатории длительное время работал И.Б. Семёнов, впоследствии учёный секретарь Института и заведующий лаб. № 52.

С середины 60-х годов в лаборатории активно развиваются методы построения многосвязных оптимальных систем управления. В этом направлении работал О.И. Ларичев, впоследствии академик РАН.

В работах В.Н. Кулибанова получили развитие методы построения замкнутых оптимальных систем управления на основе уравнения Беллмана и использована теория гиперболических уравнений в частных производных первого порядка. Р.Т. Янушевский для оптимизации многосвязных систем привлекал методы функционального анализа. Для задач с фазовыми ограничениями Я.М. Берщанский предложил итеративный метод построения оптимального управления, основанный на идеях А.А. Милютин и А.Я. Дубовицкого.

В 70-е – 80-е гг. активно развивались методы решения линейных задач оптимизации для уравнений в частных производных параболического и эллиптического типа (Б.Л. Литвак, М.В. Мееров) и были разработаны эффективные вычислительные алгоритмы. В это же время было предложено семейство



**Михаил Владимирович
Мееров**

эффективных алгоритмов для решения задач оптимизации на конечных множествах (О.Ю. Першин, О.А. Бабич, А.Б. Боронин). В частности, для широкого класса задач оптимального синтеза многокомпонентных сетей и задач размещения объектов с многокомпонентной структурой связей была разработана единая схема декомпозиции на *NP*-сложную и полиномиальную подзадачи. Кроме этого, были:

- исследованы приближённые модели многосвязных систем с неустойчивым соотношением между входом и выходом, выделены новые множества равномерной регуляризации задачи определения сигнала на выходе многосвязного линейного объекта по приближённо известному входному сигналу (А.В. Черепяхин);
- найдены новые методы решения, более полно учитывающие априорную информацию о свойствах объекта (указанные три направления послужили основой для создания нескольких пакетов вычислительных программ, которые применялись на ряде объектов нефтегазовой промышленности (А.В. Черепяхин);
- сформулированы и исследованы достаточные условия локальной и глобальной управляемости многосвязных систем, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями (М.Ю. Левит).

В 90-е годы была разработана универсальная (с полиномиальной оценкой сложности) вычислительная схема построения последовательности лучших решений для задач на конечных множествах, например, на матроидах, и задач, для которых справедлив принцип оптимальности (О.Ю. Першин). Тогда же выполнен качественный анализ систем управления, описывающих фильтрацию компонентов в пористой среде (А.В. Ахметзянов и В.Н. Кулибанов). Полученные результаты послужили основой для разработки методов и алгоритмов построения систем оптимального динамического управления гидродинамическими процессами при разработке нефтяных месторождений.

Одна из традиций лаборатории – активное участие в подготовке научной молодёжи: М.В. Мееров долгие годы заведовал кафедрой «Автоматика и телемеханика» в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, здесь же преподавал В.Н. Кулибанов, а О.Ю. Першин преподаёт и поныне.

За время существования лаборатории её сотрудниками были защищены 3 докторские и более десятка кандидатских диссертаций. Ими написано несколько монографий и более 340 научных статей и докладов.

Лаборатория традиционно сотрудничает с крупными российскими нефтегазодобывающими компаниями.

В настоящее время научная деятельность лаборатории направлена на развитие и обобщение результатов, полученных в 2000-е гг. под руководством В.Н. Кулибанова. Ведутся активные фундаментальные исследования проблем



**Владимир Николаевич
Кулибанов**

моделирования и управления нелинейными динамическими многосвязными системами большой размерности, в частности, проблем моделирования и управления процессами фильтрации газожидкостных смесей (нефть, газ, вода с активными примесями) в неоднородных пористых средах с учётом сжимаемости фильтрующихся жидкостей и газов. Результаты этих исследований подтвердили необходимость разработки новых принципов моделирования и управления процессами в сложных многосвязных системах рассматриваемого класса, учитывающих структурные и физические особенности их пространства состояний и физические свойства движущихся субстанций, а также характер допустимых управляющих воздействий. В частности, показано, что для достижения наибольшей эффективности при решении этих задач целесообразно использование принципов декомпозиции многосеточной конечно-разностной или конечно-элементной аппроксимации пространства состояний в сочетании с различными вариантами расщепления сеточных операторов по физическим процессам и пространственным координатам.



**Зав. лаб. № 19
Атлас Валиевич
Ахметзянов**

В 2010-х гг. в лаборатории начаты исследования, направленные на разработку дифференциально-геометрических методов решения сингулярных задач моделирования и управления нелинейными, нестационарными многосвязными системами с распределёнными параметрами. Лаборатория является инициатором создания научного коллектива из состава лаб. № 6 и № 19 по разработке моделей оптимального управления сингулярными процессами теплопередачи и тепломассопереноса в сплошных и пористых средах.

Дифференциально-геометрические методы направлены на исследование и моделирование особых режимов в рассматриваемых классах многосвязных объектов управления. Обычно особым режимам соответствуют сингулярные решения нелинейной системы уравнений математической физики с сильными или слабыми (контактными) разрывами, на которых должны выполняться условия Гюгонио-Ренкина, вытекающие из законов сохранения. Наличие разрывных решений приводит к возникновению проблемы сверхбольшой размерности при построении традиционных конечно-разностных или конечно-элементных схем (10^{12} и более узлов), поскольку для локализации положения скачка, обеспечения точности и устойчивости численных методов требуется существенное измельчение шага сеточной аппроксимации. Применение дифференциально-геометрических методов допускает адаптивное измельчение шага сетки лишь при приближении к поверхности разрыва, что создает благоприятные условия для существенного уменьшения размерности сеточной аппроксимации, обеспечивающей требуемую точность и устойчивость вычислительных процессов. В результате открываются широкие перспективы расширения области приложений иерархических методов декомпозиции с расщеплением и параллельной реализацией многоуровневых вычислительных

алгоритмов на гибридных многопроцессорных и многоядерных вычислительных системах (с использованием интерфейсов MPI, OpenMP, OpenCL, CUDA и др.) для решения задач моделирования и управления нелинейными, нестационарными неизоотермическими процессами в наиболее важных многосвязных промышленных объектах с распределёнными параметрами в реальном времени, в частности, управления нелинейными процессами, включая:

- неизоотермическими процессы многофазной и многокомпонентной фильтрации флюидов (нефти, газа, вытесняющих реагентов и др.) в неоднородных пористых средах резервуаров природных залежей углеводородов;
- процессы физико-химического, теплового, волнового и др. управляющих воздействий для фильтрационного вытеснения продукции при разработке месторождений тяжёлой и высоковязкой нефти, а также природных битумов;
- процессы тепломассопереноса, теплопроводности, конвекции-диффузии, фазовых превращений и др.) в химической, нефтеперерабатывающей, горнорудной, металлургической и других отраслях промышленности;
- нестационарные процессы течения многофазных сред в лифтах вертикальных и горизонтальных скважин нефтяных, газовых, газонефтяных, газоконденсатных, нефтегазоконденсатных и др.;
- нестационарные неизоотермические течения многофазных сред (газ, нефть, газоконденсат, пластовая вода и др.) в газонефтеборных промысловых сетях трубопроводов;
- нестационарные процессы распределения потоков в глобальных газотранспортных или электроэнергетических системах (газоснабжения или энергоснабжения) в целом.

В лабораториях № 6 и № 19 действует общая молодёжная научная школа под руководством Алексея Гурьевича Кушнера.



**Трое «школьников» из лаборатории № 19 (слева – направо):
Антон Сальников, Алексей Батов и Иван Боронин**

ЛАБОРАТОРИЯ № 20

МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ

Лаборатория была создана в июле 1961 г. Основателем и бессменным руководителем лаборатории до 1992 г. был заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Акоп Гаспарович Мамиконов. С 1992 г. лабораторию возглавляет заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Владимир Васильевич Кульба.

До 1966 г. включительно лаборатория занималась разработкой систем телемеханики и систем сетевого планирования и управления для отраслей народного хозяйства страны.

С 1967 г. и по настоящее время научные интересы лаборатории преимущественно сосредоточены в области создания теоретических, методологических и прикладных основ разработки и внедрения модульных автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) широкого класса и назначения, в том числе функционирующих в условиях неопределённости и различных чрезвычайных ситуаций (ЧС). На основе единой методологии и сформулированных признаков модульности и типизации решены теоретические и прикладные проблемы, связанные с формализацией процедур анализа, постановкой задач, моделями и алгоритмами синтеза оптимальных по заданным критериям эффективных структур модульных АИУС общего назначения, диалоговых систем и систем, работающих в режиме «жёсткого» реального времени.

Разработаны теоретические основы информационного управления, представляющего собой целостную стратегию, реализация которой основана на использовании показателей значимости и ценности информации при принятии управленческих решений в процессе достижения поставленных целей. Определены основные характеристики методов, объектов и организационной структуры информационного управления. Разработаны организационные механизмы реализации информационного управления в социально-экономических системах.

Предложены постановки задач синтеза оптимальных логических и физических структур локальных и сетевых БД и эффективные методы их решения. Это обеспечивает возможность определения оптимального



**Основатель и
первый зав. лаб. № 20
Акоп Гаспарович Мамиконов**



**Зав. лаб. № 20
Владимир Васильевич
Кульба**

числа и структуры логических записей и структуры связей между ними, формирование оптимальных структур запросов и заданий на корректировки, а также их спецификаций в архитектуре «клиент-сервер», определение оптимальных структур размещения, хранения и обработки записей и файлов БД, а также сетевого каталога во внешней памяти ЭВМ.

В качестве основных критериев синтеза логических структур используются достижение минимумов: суммарного времени загрузки информации в БД и обслуживания заданного множества запросов пользователей; суммарного объёма передаваемой по сети избыточной информации; времени ответа на запросы, поступающие в реальном масштабе времени; суммарной длины путей доступа к искомым информационным элементам и др.

Полученные результаты стали основой создания промышленной технологии автоматизированного проектирования модульных АИУС, ориентированной на комплексное решение задач автоматизации этапов разработки, внедрения, сопровождения и модификации проектов систем управления на базе новейших достижений в области вычислительной техники, максимального использования принципов модульности и типизации. Данная технология обеспечивает минимизацию общей трудоёмкости и длительности разработки информационного и программного обеспечения информационно-управляющих систем; высокое качество и надёжность комплексов программ и их информационного обеспечения; унификацию технологии разработки информационного и программного обеспечения уникальных и типовых АИУС различного назначения.

Применительно к проектированию типовых модульных АИУС разработаны методы: формализации анализа требований к алгоритмам решения заданного множества задач; оценки степени их информационной, процедурной и технологической общности; синтеза оптимальной структуры программного и информационного обеспечения. Использование этих методов позволяет ускорить процесс разработки и отладки программного и информационного обеспечения АИУС в среднем в 1,5–2 раза, сократить общее время и затраты на разработку типовых АИУС в 5–10 раз.

В данной технологии проектирования на основе использования принципов модульности, типизации и клонирования была разработана САПР «Модуль», обеспечивающая резкое повышение качества проектирования АИУС и сокращение времени их разработки. Данная САПР успешно использовалась при разработке и внедрении АИУС в условиях ЧС и в сфере образования. При этом время разработки достаточно простых типовых функциональных подсистем составляет 1–3 дня.

Результаты исследования в области АИУС реального времени позволили заложить теоретические основы, построить модели и предложить методы анализа, синтеза и отладки оптимальных модульных АИУС специального класса объектов – космических аппаратов.

На основе их исследования как специального объекта управления разработаны модели, методы и инструментальные средства создания модульного программного и информационного обеспечения бортового комплекса управления.

Полученные теоретические результаты использовались при разработке и внедрении ряда АСУ, имеющих важное народно-хозяйственное значение: АСУ «Металл», АСУ «Метро», АСУ «Обмен», АСУ «Ресурс», АИУС ЧС Республики Казахстан, си-

системы государственного управления в условиях ЧС в Китае, а также систем специального назначения по заказам Минобороны РФ и РКК «Энергия».

По результатам этих работ профессор А.Г. Мамиконов вместе с другими учёными Института был удостоен Государственной премии СССР, а профессор В.В. Кульба – премии им. академика Б.Н. Петрова Российской академии наук за 2007 г.

Важнейшее место в работах лаборатории занимают проблемы обеспечения информационной безопасности систем организационного управления (СОУ). Исследуются: информационная безопасность в системах организационного управления на законодательном и организационном уровнях, информационная безопасность и информационное управление, методы защиты информации от несанкционированного доступа, обеспечение достоверности и сохранности информации.

Цель исследований – разработка новых методов и способов резервирования и защиты информации на различных уровнях её представления, а также методических рекомендаций по обеспечению информационной безопасности, включая рекомендации по защите от агрессивных информационных воздействий на различные структуры общества.

В данном направлении разработаны комплексы формализованных методов и средств обеспечения достоверности и сохранности информации при обработке данных в СОУ. На основе предложенных понятий «механизм контроля и защиты данных» и «стандартная схема обработки данных» разработана методика оценки достоверности для различных структур обработки данных и различных законов возникновения и взаимодействия ошибок.

Подробно рассмотрен широкий круг вопросов резервирования программных модулей и информационных массивов в АИУС как системного метода повышения сохранности данных. Выделены основные стратегии резервирования и приведены результаты анализа их эффективности по различным критериям, а также методы расчёта основных вероятностных, временных и стоимостных характеристик рассмотренных стратегий. Проведён анализ основных факторов разрушения модулей и массивов и даны рекомендации по использованию методов защиты от их воздействия. Поставлены и решены задачи выбора стратегий резервирования и оптимального числа копий и (или) предыстории (дампов) основного массива. Рассмотрены задачи оптимального резервирования программ и массивов данных в системах обработки данных, работающих в реальном масштабе времени.

Важным направлением исследований является создание методов и моделей планирования и управления комплексами мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС). Разработаны методология, аппарат и прикладные методы создания систем и средств организационного управления комплексами таких мероприятий для последствий ЧС, возникающих на объектовом и региональном уровнях. Формализовано понятие сценария развития ЧС и исследованы методы его использования для моделирования процессов развития ЧС и ликвидации их последствий, включая формирование базовых (наиболее вероятных) сценариев развития ЧС на объектовом и региональном уровне, а также выделения их очаговых структур. Использование разработанных методов и моделей, алгоритмов и программ позволяет повысить оперативность процессов моделирования возможных сценариев развития ЧС, сконцентрировать ресурсы на наиболее опасных направлениях, повысить качество превентивных и оперативных планов

противодействия ЧС, что, в свою очередь, существенно снижает общие конечные потери и ущерб от их возникновения и развития. С их использованием были разработаны средства репланирования сельскохозяйственного производства в условиях чрезвычайных ситуаций с использованием аэрокосмической информации.

На базе полученных результатов в лаборатории создано и успешно развивается новое научное направление, связанное с разработкой математических моделей и механизмов управления и функционирования сложных социально-экономических систем (СЭС) на основе сценарного подхода. Принципиальной новизной предлагаемого подхода является возможность прогнозировать поведение СЭС путём формирования спектра сценариев их развития, в том числе наиболее вероятных. Последующий анализ спектра сценариев позволяет оценивать эффективность и согласованность множества управленческих решений, распределённых во времени и пространстве, при выборе и реализации стратегических комплексных программ развития крупномасштабных СЭС, то есть в случаях, когда экспериментирование на реальных объектах практически невозможно, экономически нецелесообразно и опасно в социальном плане.

Разработаны модели и методы выбора оптимального сценария из заданного множества альтернативных сценариев. Поставленная задача сведена к задаче выбора оптимального сценария по векторному критерию оптимизации с учётом пространственных характеристик и свойств формируемых сценариев. Разработан программно-аппаратный комплекс сценарного анализа и прогноза (ПАК САП), позволяющий реализовать методологию сценарного исследования СЭС различного класса и назначения.

Разработанные модели, методы и алгоритмы использовались при решении задач стратегического планирования и управления развитием СЭС различного класса и назначения. Решённые научные и практические задачи послужили основой для создания новых методов и средств стратегического управления развитием региональных социально-экономических систем.

Полученные результаты использованы также в структурах федерального уровня, занимающихся планированием развития СЭС и систем специального назначения (Совет безопасности, Министерство обороны, Академия Генштаба, Минсвязи, Фонд социального страхования).

Лаборатория имеет широкие международные научно-технические связи (Венгрия, Сербия, Черногория, Китай, Польша, Франция, Латвия, Казахстан, Украина и др.).

Лаборатория организует всесоюзные и международные конференции по методам синтеза модульных систем обработки данных, автоматизации проектирования систем управления, проблемам управления безопасностью сложных систем и проблемам регионального и муниципального управления. Проведено более 60 конференций, в том числе 26 Международных конференций по проблемам управления безопасностью сложных систем.

В 2017 г. в состав лаборатории вошла лаб. № 51 «Когнитивного моделирования и управления развитием ситуаций», которая была основана в 1991 г. д.т.н. Валерием Ивановичем Максимовым, а с 2008 г. её возглавляла д.т.н. Нина Александровна Абрамова.

Основным направлением научных исследований этой группы является разработка моделей, методов и средств поддержки интеллектуальной деятельности в об-

ласти решения задач анализа, моделирования и управления развитием сложных слабоструктурированных объектов, систем, ситуаций. В рамках данных исследований в качестве основного (но не единственного) формализма для представления знаний экспертов применяются модели причинно-следственных связей между разнородными факторами ситуации о слабоструктурированных ситуациях. В рамках прикладных работ группой разработан прототип системы моделирования, который может функционировать и как специализированная система моделирования, и включаться в состав комплексных систем поддержки принятия стратегических решений. Основная область применения разрабатываемых моделей и методов связана с развитием и внедрением технологий поддержки экспертно-аналитической деятельности в ситуационные центры, ориентированные на решение задач целеполагания, стратегического планирования в сфере государственного управления.

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 1700 научных трудов, из них свыше 130 монографий и брошюр по научно-методологическим основам создания и внедрения автоматизированных информационно-управляющих систем, безопасности систем организационного управления, управления в условиях ЧС, развития и использования сценарного подхода. Основные монографии: «Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем» (изд-во «Физматлит»); «Теоретические основы проектирования оптимальных структур распределённых баз данных» («СИНТЕГ»); «Оптимизация структур данных в АСУ» («Наука»); «Оптимизация структур распределённых баз данных в АСУ» («Наука»); «Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов» («Наука»); «Проектирование информационно-управляющих систем долговременных орбитальных станций» («Наука»); «Организационное управление» (Изд-во РГГУ); «Информационная безопасность систем организационного управления. Теоретические основы» («Наука»); «Достоверность и сохранность информации в АСУ» («СИНТЕГ»); «Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика» («Наука»); «Управление в чрезвычайных ситуациях» (Изд-во РГГУ); «Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем» («СИНТЕГ»); «Исследование систем управления» («ПРИОР»); «Создание систем мониторинга реализации федеральных целевых программ» («СИНТЕГ»); «Управление и контроль реализации социально-экономических целевых программ» («ЛИБРОКОМ»); «Математические методы в управлении обязательным социальным страхованием» (Изд-во ЛКИ); «Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем» («Наука»); «Информационное управление в условиях активного противоборства: модели и методы» («Наука»); «Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы)» (в 3 частях; «Наука»); «Информационный менеджмент» (учебное пособие для вузов; «Экономика»); «Модели и методы репланирования сельскохозяйственного производства в условиях чрезвычайных ситуаций с использованием аэрокосмической информации» («Экономика»).

В лаборатории подготовлено более 100 кандидатов и докторов наук. В нынешнем составе лаб. №20 – 20 сотрудников, среди них 7 докторов и 8 кандидатов наук.

ЛАБОРАТОРИЯ № 21

СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

ИНФОРМАЦИИ

Лаборатория № 21 создана в 1985 г. и отделилась от лаб. № 13, которой в то время руководил д.т.н., проф. Н.И. Андреев. Сегодня она является преемницей знаменитой в 60-80-е годы лаб. № 13, созданной и долгие годы руководимой академиком Владимиром Семёновичем Пугачёвым. Первым заведующим лаб. № 21 стал к.т.н. Игорь Иванович Паишев, много лет работавший в лаб. № 13 над задачами гидроакустического обнаружения. Задача вновь организованной лаборатории состояла в создании комплексного программного обеспечения для разработанных в ИПУ РАН многопроцессорных вычислительных машин ПС-2000, решавших специальные задачи гидроакустики в режиме *on-line*. Эта работа была успешно завершена к 1992 г.



Владимир Семёнович Пугачёв

В 1993 г. (после ухода из жизни Н.И. Андреева) в состав лаб. № 21 вошли сотрудники бывшей лаб. № 13. С тех пор профиль работ лаборатории сместился в сторону теоретических и практических исследований моделей стохастических систем в условиях неопределённости. Лаборатория приобрела опыт практической разработки таких моделей при описании распространения и приёма сигналов в радиотехнических и гидролокационных комплексах (И.И. Паишев, А.В. Добровидов), при обработке и сжатию оптических и радио-изображений (О.С. Агаронян, А.В. Добровидов). С 1993 по 1996 гг. были получены интересные результаты по сжатию изображений с использованием косинус-преобразования и фрактальных методов сжатия, приводящих к большим коэффициентам сжатия.

С 2004 г. заведующим лаб. № 21 назначен д.ф.-м.н. А.В. Добровидов.

Направления деятельности

1. В отличие от классических методов решения статистических задач и создания математических моделей в лаб. № 21 придерживаются более реалистического подхода, когда предполагается, что исходная информация о структуре систем, сигналов и помех известна не полностью, а в ряде случаев такая информация весьма скудна или попросту недоступна. В этом случае основные усилия предпринимаются для поиска методов решения задач синтеза таким образом, чтобы качество получаемого решения было близко к качеству соответствующих оптимальных задач с полной информацией. Такие задачи ещё с 70-х годов стали называть задачами



**Зав. лаб. № 21
Александр Викторович
Добровидов**

самообучения. Примером одного из подходов к решению задач самообучения является созданная в лаб. № 21 теория непараметрического оценивания сигналов (А.В. Добровидов), приводящая к асимптотически оптимальным результатам при неполной информации о полезных ненаблюдаемых сигналах. Это означает, например, что удаётся построить близкие к оптимальным процедуры фильтрации, интерполяции и проверки гипотез при неизвестных распределениях и уравнениях состояния ненаблюдаемого полезного сигнала. При этом предполагается, что если сигнал не наблюдаем, то есть невозможно получить его реализации, то восстановить его распределение и другие статистические характеристики не удаётся.

В дальнейшем теория непараметрического оценивания сигналов развивалась в направлении создания устойчивых ядерных оценок функционалов от распределений случайных последовательностей. Для этого были предложены класс кусочно-гладких аппроксимаций оценок подстановки, позволивший получить сходящиеся в среднеквадратическом устойчивые процедуры оценивания (А.В. Добровидов). Найден новый непараметрический алгоритм байесовского обнаружения, в котором распределение шумовой гипотезы предполагается полностью известным, а распределение полезного сигнала неизвестным. Кроме того, априорные вероятности классов также предполагаются неизвестными (А.В. Добровидов, В.О. Васильев).

Поскольку в реальной ситуации наблюдаемые сигналы всегда конечны, то при решении задач обработки сигналов в условиях статистической неопределённости возникают задачи непараметрического оценивания характеристик на ограниченных носителях; построены бета-ядерные оценки производных плотностей. Доказаны свойства асимптотической сходимости. Найден скорость сходимости и оптимальный параметр размытости ядерных функций. Решена задача фильтрации полезного сигнала из смеси с помехой в нелинейных моделях наблюдения. В качестве такой модели рассматривается мультипликативная модель с неотрицательными сигналами и шумами. В отличие от стандартных задач фильтрации, в рассматриваемом случае предполагается, что распределение и уравнение полезного сигнала не известны (А.В. Добровидов).

В эконометрических моделях одним из наиболее распространенных для оценивания параметров является волатильность. Знание волатильности имеет принципиальное значение для эффективного выбора портфеля, производных ценообразования и управления рисками, наряду с решением других вопросов. Основной целью является получение непараметрических оценок волатильности, которые приводят к лучшим результатам, чем их параметрические аналоги (фильтр Калмана и GARCH). На текущий момент соответствующий результат получен для стохастической модели Тейлора как на модельных, так и на реальных данных (А.В. Добровидов, В.Э. Тевосян).

2. Другим направлением теоретических исследований в лаб. № 21 является разработка методов оптимального управления многомерными стохастическими системами, описываемыми векторными стохастическими уравнениями Ито, коэффициенты сноса и диффузии которых линейно зависят от вектора состояния, сигнала управления и внешнего возмущения. Отыскание оптимального управления сведено к задаче отыскания решения системы нелинейных уравнений типа Риккати. Решена задача анализа такой системы, связанная с отысканием условий существования и единственности решений этой системы (М.Е. Шайкин).

С 2013 по 2018 гг. лабораторией опубликованы 53 научные работы. За последние 15 лет сотрудники лаборатории приняли участие в 9 грантах РФФИ, выступали с докладами на конгрессе IFAC (Кейптаун, 2014), на четырёх международных конференциях ISNPS по непараметрической статистике (Греция, 2012; Испания, 2014; Франция, 2016 и Италия, 2018) с публикациями в издательстве Springer; и ещё на пяти международных конференциях (Минск, 2010; Лондон, 2011; IFAC ALCOSP, 2013; IFAC MIM, 2016; Словакия, 2017). Восемь докладов прочитано на российских научных конференциях. Опубликовано 3 монографии (1997, 2004 и 2012 гг., в издательствах «Наука» и *Kendrick Press, USA*). Монография, изданная в США, носит название *Non-parametric state space models*.

В ближайшей перспективе дальнейшего развития теории стохастических систем научные интересы лаборатории будут сосредоточены на управлении в условиях параметрической и непараметрической неопределённости. При этом основной упор предполагается делать на нелинейных моделях динамических систем с переменными свойствами, на методах анализа и синтеза общих нелинейных стохастических систем, решении задач управления, оценивания состояния и декомпозиции билинейных стохастических систем. Для описания динамики систем будут применяться методы ортогональных разложений и кратных стохастических интегралов, для вычисления статистических характеристик сигналов – бескоординатные методы полилинейной алгебры и тензорного анализа. В задачах декомпозиции и вычисления переходных матриц состояния билинейных систем находят применение методы теории непрерывных групп Ли.

ЛАБОРАТОРИЯ № 22

ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖУЩИМИСЯ ОБЪЕКТАМИ

Лаборатория создана доктором физико-математических наук, профессором Дмитрием Викторовичем Тюкавкиным в январе 1998 г. Д.В. Тюкавкин был известным математиком в области регулярных колец и внёс большой вклад в становление и развитие лаборатории.

С 1 марта 2004 г. лабораторию возглавил доктор технических наук, профессор Александр Иванович Алчинов.

Основные научные результаты лаборатории

Благодаря выполненным исследованиям, разработаны:

– Система оперативного расчёта и визуализации в реальном времени модели местности по материалам аэрокосмической съёмки. Полученная модель местности может применяться для решения задач навигации и наведения движущегося аппарата, в том числе в автоматическом режиме, для:

а) воспроизведения на компьютере пройденного в реальности маршрута;

б) выбора маршрута и наведения при визуализации модели местности с использованием модели движущегося аппарата и дальнейшего применения полученных данных в реальности для движущегося аппарата;

в) навигации и наведения с помощью сравнения рассчитанной на борту во время движения аппарата модели местности с определённой заранее моделью.

– Алгоритмы интерполирования двумерной функции по набору значений в известных точках на основе двумерного варианта фильтра Калмана, которые обеспечивают улучшенное построение горизонтальных сечений по сравнению с известными ранее методами.

– Алгоритмы автоматического построения рельефа по взаимно ориентированным изображениям. При этом предложен принципиально новый метод идентификации соответствующих точек двух изображений. В результате создан алгоритм повышенной надёжности: он позволяет распознавать и не использовать в базисе рельефа малоинформативные участки (покрытые водой, снегом, ровным песком и др.), то есть участки, на которых отношение сигнал/шум мало и возникающие помехи могут привести к появлению «выбросов» или ложных идентификаций поверхности.



**Основатель и первый
зав. лаб. № 22
Дмитрий Викторович
Тюкавкин**



**Зав. лаб. № 22
Александр Иванович Алчинов**

- Способы автоматического построения областей допустимых деформаций горизонталей в процессе редактирования карты, автоматической и высоконадёжной расстановки бергштрихов на оригинале рельефа, автоматического нанесения надписей горизонталей на оригинале рельефа и назначения положений маркировочных знаков протяжённых линейных объектов.
- Способ расстановки точечных объектов с заданными верхней и нижней границами плотности.
- Алгоритм распознавания форм рельефа местности, использующий только горизонталы и не использующий точечные объекты уровня земли.
- Способы формирования изображения частей ломаной линии, лежащих внутри или вне многоугольной области, и границ областей, полученных в результате применения логических операций к двум многоугольным областям, которые обеспечивают повышение надёжности формирования изображений.
- Интерфейс автоматизации кодирования, обеспечивающий повышение достоверности результатов выполнения работ по кодированию изображений и снижение требований к квалификации операторов.
- Специальный формат хранения регулярной структуры пространственных данных с поддержкой возможности хранения неограниченного объёма данных, с уровнем хранения данных, с поддержкой быстрого доступа к данным каждого уровня и возможностью хранения данных на область произвольной формы. Это позволяет получать информацию в реальном времени независимо от объёма и сложности системы в целом. Повышенная скорость алгоритма обработки данных создаёт возможность его применения для разработки новых систем поддержки принятия оперативно-тактических решений.
- Технология создания многооконного стереоинтерфейса, не требующая специализированных видеоконтроллеров.

Прикладные результаты

- Результаты выполненных исследований нашли практическое применение при создании цифровой фотограмметрической станции (ЦФС), которая позволяет проводить оперативную обработку материалов аэрокосмической съёмки с последующей её визуализацией в виде трёхмерных моделей местности. На их основе проводятся исследования по оптимизации управления полётами над сложным рельефом местности с использованием цифровых картографических данных. С учётом того, что современные средства доставки высокоточного оружия существенно используют особенности рельефа местности, обеспечивающие максимальную скрытность средств доставки, дискретизация всей области театра возможных боевых действий должна производиться с учётом автоматического распознавания форм рельефа.
- Разработанная в Институте ЦФС является одним из лучших в мире программных продуктов по функциональным возможностям, оперативности обработки больших объёмов информации (до 2^{64} точек). Программа обеспечивает значительную степень автоматизации технологических процессов фотограмметрической обработки и составления карт. В развитие ЦФС разработан аппаратно-программный

комплекс для обработки и отображения трёхмерной информации, что обеспечивает расширение функциональных возможностей технологической поддержки процессов управления.

– Проводятся исследования и разработка новых алгоритмов и методов оперативной обработки аэрокосмической съёмки с визуализацией трёхмерной цифровой информации о рельефе местности и о текстуре объектов. Используемые алгоритмические решения дают возможность выполнения оперативной обработки аэрокосмических материалов с последующей визуализацией её результатов в виде трёхмерных моделей местности, что представляет огромный интерес к ним при решении задач управления.

– В настоящее время в лаборатории ведутся работы по исследованию и разработке методов обеспечения полётов над местностью со сложным рельефом на базе оцифрованных картографических данных. Это позволяет разработать новые информационные технологии для решения специальных задач создания оптимальной конфигурации помех с использованием средств маскировки, которые минимизируют вероятность поражения особо важных объектов (за счёт искажения видимой картины окрестности объекта, используемой противником в вероятных системах наведения высокоточного оружия).

– Продолжается интенсивное развитие геоинформационных технологий. Новые алгоритмы и технические решения отличаются высокой оперативностью и точностью обработки трёхмерных изображений. Это позволяет значительно сократить трудовые и временные затраты при создании карт и планов для информационного обеспечения управления движущимися объектами.

– Создан научно-технический задел для разработки перспективных автоматизированных средств разработки планов и проведения операций пассивной защиты (маскировки) особо важных объектов (стационарных, передвижных/гражданских и подвижных/военных) от высокоточного оружия в современных военных операциях, включая модели сетецентрических войн.

– Во многих угледобывающих компаниях на данный момент выполняются работы (с участием ИПУ РАН) по созданию цифровой картографической основы для территории деятельности своих предприятий. В рамках этих работ в последние годы лабораторией выполнены научные исследования по совершенствованию методов и технологий получения геопространственных данных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Новая технология обработки этих данных реализована при создании и обновлении цифровых топографических карт и планов для Сибирской угольной энергетической компании (СУЭК).

– Проведены исследования по совершенствованию технологий получения геопространственных данных методами дистанционного зондирования Земли, по определению состава и полноты геопространственной информации при её использовании в администрациях муниципальных образований (данных для управленческих задач в градостроительной деятельности и землеустройстве поселений).

– Существующие в настоящее время программные продукты, реализующие геоинформационные технологии в горном деле, классифицируются по применениям:

- горные системы общего назначения;
- специализированные горные программы;
- системы управления производством;
- системы регистрации производства.

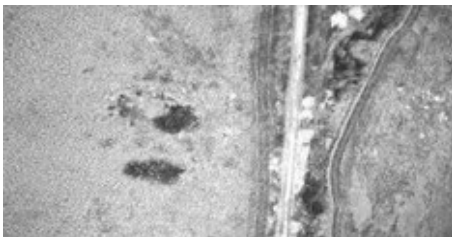
Десятки фирм предлагают более 1000 программных продуктов различного класса, в то же время на рынке отсутствуют программы, позволяющие производить трёхмерное моделирование горных предприятий как сложных земельно-имущественных комплексов. На основе выполненного анализа в лаборатории разработаны:

- теоретические основы, алгоритмы и программа построения трёхмерных моделей земельно-имущественного комплекса СУЭК;
- 3D-модель земельно-имущественного комплекса (ЗИК) угледобывающего предприятия.

Созданная 3D-модель базы данных картографического представления ЗИК предназначена для решения задач управления, связанных с планированием и контролем выполнения планов горных работ, проектированием строительства объектов инфраструктуры, размещением объектов инфраструктуры, использованием лицензионных земельных участков, горных отводов и объектов недвижимости. Разработаны методики создания 3D-моделей лицензионных участков, горных отводов, планов горных работ, месторождений на территории, занимаемой СУЭК, по открытым горным работам и объектов недвижимости. Все вышеперечисленные 3D-модели создаются, хранятся и редактируются в разработанном лабораторией программном пакете SUEK3D.



3D-модель экскаватора



Подъезд к угольному разрезу

Индивидуальное обучение специалистов предприятий в настоящее время осуществляется на вебинаре.

Вышеизложенная технология позволяет строить 3D-модели местности, которые могут использоваться для решения задач моделирования низковысотных поле-

Программная система SUEK3D установлена на предприятиях СУЭК. Только в 2016–2017 гг. получено 10 актов о её внедрении.

В апреле 2016 г. Институт (совместно с головным офисом АОА «СУЭК» и с представителями предприятий СУЭК) провёл семинар в г. Минске, на котором состоялась презентация программной системы SUEK3D и обучение работе с этой системой. Индивиду-

тов БПЛА над местностью с расположенными на ней зданиями, крупногабаритной техникой и растительностью. Технология была отработана на примере нескольких угольных разрезов для получения качественных материалов аэрофотосъемки.

Решена задача разработки многооконного стереоскопического интерфейса, в котором качество стереоскопической визуализации зависит от текущей конфигурации окон и от направления взгляда пользователя, что обеспечивает экономию вычислительных ресурсов.

Большинство современных систем (как аппаратных, так и программных) предъявляет высокие требования к соблюдению горизонтальности плоскости взгляда пользователя (для исключения потери стереоэффекта), поэтому при разработке программного обеспечения был реализован (программно) механизм, позволяющий сохранять стереоэффект при любом наклоне оптической базы глаз. Таким образом, реализован принципиально новый подход к решению проблемы сохранения стереоэффекта.

Большой вклад в развитие геоинформационных систем (ГИС) и их использование в задачах управления вносит Научно-внедренческий отдел (НВО) № 73 «Управляющие задачи в цифровой картографии», который был создан в октябре 2000 г. Ю.Д. Воробьевым. В настоящее время отделом руководит В.В. Каменев.



**Владимир Васильевич
Каменев**

Основные направления деятельности отдела – разработка и внедрение ГИС «НЕВА» для решения задач управления. ГИС «НЕВА» предназначена для создания (обновления) и обработки векторных, растровых, матричных карт и подготовки их к изданию цифровыми методами. Результаты становятся исходной информацией при последующей печати топографических, авиационных и морских карт и планов городов, а также могут служить входами системы управления базами данных электронных карт.



**Юрий Дмитриевич
Воробьев**

ГИС «НЕВА» обеспечивает:

- создание (обновление) и обработку векторных карт с использованием материалов космической съёмки, аэрофотосъёмки, тиражных оттисков и других исходных материалов;
- цифровое составление топографических карт по базовому масштабу с последующей подготовкой к изданию;
- построение трёхмерных моделей местности для решения прикладных задач;
- подготовку созданных векторных карт к изданию в соответствии с действующими нормативами или требованиями заказчика для последующей полиграфической печати;

– возможность совмещения электронных топографических и морских карт, например, для прибрежной полосы.

ГИС «НЕВА» применяется в учреждениях и организациях Министерства обороны РФ (Военно-топографическое управление Генштаба, Главное управление навигации и океанографии МО, Главный штаб ВВС МО), МВД РФ, «Росреестре», российских сотовых компаниях и на картографических фабриках.

ГИС «НЕВА» использована при разработке комплексной геоинформационной системы для нужд городов с целью расширения спектра решаемых управленческих задач в рамках градостроительной деятельности и земельных отношений с опорой на методы и технологии получения геопространственных данных с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

С 2006 г. начались разработка, совершенствование и использование миниатюрных БПЛА. Особенностью БПЛА является наличие возможности автономного полёта по заранее заданному маршруту. В этом случае БПЛА самостоятельно выполняет содержательную функцию, связанную с наблюдением, фотографированием или исследованием местности.

В состав комплекса БПЛА входят: собственно, БПЛА со съёмным модулем полезной нагрузки (фотокамера не менее 12 Мпкс, работающая как в режиме фото-съёмки, так и в режиме видеокамеры) и наземная станция управления и приёма информации на базе защищённого ноутбука.

Несколько экземпляров БПЛА переданы в «Службу спасения» МЧС Якутии. Институтом организовано обучение пилотов.

На основе ГИС «НЕВА» при использовании современных БПЛА реализован геоинформационный портал для дорог Московской области, с помощью которого можно в интерактивном режиме наблюдать за состоянием дорог. Портал позволяет оценивать качество ремонта дорог (на базе сравнения цифровых изображений, полученных аэрофотосъёмкой до и после ремонта).

ЛАБОРАТОРИЯ № 24 СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

В 1962 г. в Институте была организована Лаборатория магнитных и магнитно-полупроводниковых устройств систем автоматического управления и вычислительной техники, основателем и руководителем которой со дня её создания до 1991 г. был д.т.н., проф. Морис Аронович Розенблат. В 1991 г. заведующим лаб. № 24 стал д.т.н., проф. Алексей Антонович Ромашёв. В 2006 г. на должность зав. лаб. № 24 был избран д.т.н., проф. Игорь Борисович Ядыкин.

Ещё до создания лаб. № 24 в Институте выполнялись исследования по использованию магнитных свойств различных материалов для построения технических средств автоматики, систем управления и вычислительной техники. Разрабатывались принци-

пы построения, методы расчёта и проектирования магнитных усилителей, модуляторов, высокочувствительных датчиков напряжённости магнитного поля. При разработке комплексов магнитно-полупроводниковых устройств памяти, контроля и управления исследовались методы повышения их точности, надёжности и отказоустойчивости с учётом действующих магнитных помех.



**Зав. лаб. № 24
Игорь Борисович
Ядыкин**

Начиная с 2007 г. в лаборатории развивается новое направление исследований, связанное с изучением фундаментальных проблем управления в большой электроэнергетике. В результате было поставлено и решено несколько новых задач в фундаментальной теории управления.



**Основатель
и первый зав. лаб. № 24
Морис Аронович Розенблат**

Возрастающие требования к эффективности и надёжности систем математического контроля и управления стимулировали исследования проблем, возникающих при управлении сложными системами. В ходе исследований решались задачи, связанные с разработкой принципов проектирования унифицированных программируемых преобразователей для создания разнообразных типов интеллектуальных измерительных устройств нижнего уровня. Интеллектуализация позволяет резко сократить объём и повысить достоверность информации, поступающей на верхние уровни систем контроля и управления.

В 2009 г. в лаборатории были начаты работы по исследованию свойств грамианов, которые привели к созданию нового научного направления: мониторинг и управление устойчивостью сложных слабоустойчивых динамических систем. Слабоустойчивыми называют устойчивые системы, в которых некоторые собственные числа матрицы динамики имеют близкую к нулю вещественную часть. К таким системам относятся большие космические конструкции, современные гидравлические системы управления высотных зданий, крупные электроэнергетические системы. В этих системах под влиянием возмущений возникают резонансные явления, выражающиеся в появлении слабо демпфированных низкочастотных колебаний, имеющих тенденцию переходить в расходящиеся колебания. Очевидна энергетическая природа расходящихся колебаний, поэтому возникла идея контроля степени устойчивости, а в дальнейшем и управления устойчивостью резонансных систем путём измерения или вычисления критериев энергии слабоустойчивых мод системы. Новый энергетический подход к анализу устойчивости основан на анализе матричных дифференциальных и алгебраических уравнений Ляпунова, решением которых являются грамианы управляемости и наблюдаемости. Основой метода грамианов стали разработанные в лаборатории новые методы и вычислительные алгоритмы решения матричных дифференциальных уравнений Ляпунова и Сильвестра. Принципиальная новизна предложенных методов связана с применением спектральных разложений грамианов, являющихся решениями указанных уравнений по собственным числам матрицы динамики системы. Это позволило для целей анализа устойчивости отделить составляющие решения, соответствующие слабоустойчивым модам, которые были названы субграмианами. Было доказано, что при приближении слабоустойчивой системы к границе устойчивости грамиан системы можно оценить суммой субграмианов слабоустойчивых мод. Метод грамианов был успешно применён для анализа устойчивости нормальных и предаварийных электроэнергетических режимов на этапе *feasibility study*.

За последние 5 лет получены следующие результаты:

– На основе метода субграмианов были получены аналогичные *спектральные разложения для квадрата H_2 нормы передаточной функции*, вычисление которых может оказаться существенно проще в практической реализации, чем вычисление разложений грамианов. Сформулирована и решена задача разработки принципов построения и алгоритмов *иммунной интеллектуальной системы мониторинга статической устойчивости ЭЭС* на основе методов ассоциативного поиска, мультиагентного управления и спектральных разложений грамианов (совместно с лаб. № 41, зав. лаб. – д.т.н., проф. Н.Н. Бахтадзе). Основная идея данного подхода состоит в формировании текущей дискретной динамической модели на основе методов ассоциативного поиска, основанного на использовании технологических архивов и интеллектуального анализа данных, и формировании оценки риска потери устойчивости электроэнергетической системы с помощью спектральных разложений грамианов для текущей модели. Виртуальный анализатор риска потери устойчивости реализуется на основе использования мультиагентных технологий, которые применяются также для построения иммунной интеллектуальной системы управления устойчивостью ЭЭС.

– Решена задача вычисления *спектрального разложения решения матричных дифференциальных уравнений Ляпунова и Сильвестра*, которые называются конеч-

ными грамианами, с учётом ненулевых начальных условий матриц для простых и кратных собственных чисел матриц динамики. Спектральные разложения конечных грамианов автономных систем аналогичны спектральным разложениям соответствующих бесконечных грамианов. Метод даёт точное решение уравнения Ляпунова в частотной области, основанное на разложении матрицы решения по спектру матрицы динамики уравнения Ляпунова независимо от того, является ли этот спектр простым или кратным, устойчивой или неустойчивой является динамическая система. Полученные ранее *спектральные разложения* для решений непрерывного и дискретного уравнений Ляпунова были *обобщены на более широкий класс решений уравнений* М.Г. Крейна (совместно с лаб. № 19, к.ф.-м.н. А.Б. Исаков).

Новый подход позволяет получить по единой схеме спектральные разложения для алгебраического непрерывного и дискретного уравнений Ляпунова, а также для двучленного уравнения Сильвестра. Сформулирована и решена задача *спектрального разложения решения* дискретных матричных уравнений Ляпунова для *дискретных билинейных динамических систем*. Грамиан билинейной системы, являющийся решением уравнения Ляпунова, представляет собой матричный ряд Вольтерра. Получены спектральные разложения итеративного процесса вычисления грамианов управляемости и наблюдаемости дискретных билинейных систем. Получены первые результаты *применения метода грамианов для настройки параметров демпфирования колебаний в подвеске автомобиля и для медицинской диагностики*. В частности, модель кинетики подсистемы инсулина описывает процесс абсорбции инсулина быстрого действия в поджелудочной железе, причем передаточная функция модели зависит от максимального времени абсорбции инсулина. Квадрат H_2 -нормы передаточной функции определяет энергетический баланс виртуальной энергии. Вычисление энергетических функционалов и анализ их составляющих позволяет выявить аномалии баланса энергии и оценить развитие процесса абсорбции инсулина во времени. В лаборатории разработаны робастные H_2 -оптимальные алгоритмы настройки регулятора заданной структуры, основанные на использовании в алгоритмах настройки робастной эталонной модели. Решена проблема робастной оптимизации сложных ПИД-регуляторов на основе процедур условной минимизации H_2 -нормы разности передаточных функций замкнутых настраиваемой и эталонной систем при ограничениях на H_∞ -норму передаточной функции настраиваемой системы в форме линейных матричных неравенств (совместно с лаб. № 1, д.т.н. М.М. Чайковский).

– Полученные в лаб. № 24 результаты по идентификации и прогнозированию состояния нестационарных нелинейных объектов могут быть использованы также при решении проблем, связанных с анализом состояния и управлением крупномасштабными динамическими системами, в том числе экономической природы (д.ф.-м.н. В.Г. Клепарский).

– Получены критерии робастной устойчивости нелинейных систем управления с периодическими ограничениями. Установлены различные условия робастной устойчивости линейных нестационарных систем управления с интервальными ограничениями на элементы матрицы системы. Для анализа робастной устойчивости непрерывных линейных нестационарных систем управления с периодическими ограничениями разработан алгоритм численного построения периодических по времени функций Ляпунова из заданных параметрических классов, основанный на решении

соответствующих минимаксных задач математического программирования. (к.ф.-м.н. М.В. Морозов).

В лаб. № 24 имеется сектор, руководимый к.т.н. Н.Э. Менгазетдиновым, занимающийся разработкой принципов построения и методов технической реализации средств автоматики нижнего уровня, обеспечивающих измерение, преобразование, первичную обработку и передачу информации на верхние уровни систем контроля и управления. Предложены и исследованы алгоритмы и схемотехнические решения для измерения и преобразования сигналов, основанные на принципах инвариантности и обеспечивающие автоматический выбор диапазона измерения, учёт факторов влияния и индивидуальных характеристик канала измерения, включая характеристики чувствительных элементов. Созданы опытные образцы унифицированного малогабаритного микроконтроллера, предназначенного для встраивания в конструкции интеллектуальных датчиков.

В настоящее время работа ведётся в следующих основных направлениях:

- дальнейшее исследование и разработка математических и методологических основ идентификации, оценивания параметров и прогнозирования состояния нестационарных объектов и процессов;
- исследование и определение классов сочетаний первичных преобразователей и методов измерений, для каждого из которых могут быть сформулированы единые требования к устройствам обработки и преобразования информации с позиций создания унифицированных измерительных микросистем со встроенным «интеллектом».

Важной прикладной работой лаборатории является участие в разработке верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС, которая внедрена на АЭС «Бушер» (Иран) и на отечественных АЭС нового поколения.

Полученные в лаборатории теоретические и практические результаты используются в различных отраслях народного хозяйства. Особо следует отметить работы в области создания интеллектуальных энергетических систем с активно-адаптивными сетями (ИЭС ААС). Лаборатория принимала участие в разработке концепции ИЭС ААС для ОАО «ФСК ЕЭС» в части принципов построения и архитектуры автоматизированной и мультиагентной систем мониторинга статической устойчивости в реальном времени. Кроме того, лаборатория разрабатывала алгоритмы управления модами электромеханических колебаний в ЕЭС, методы и модели систем автоматической настройки сложных регуляторов энергетического оборудования.

Разработан действующий образец беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с функцией запуска из-под воды. Опробовано несколько концепций и компоновочных решений БПЛА. Создана опытная система управления и навигации для такого БПЛА (совместно с лаб. № 17, зав. лаб. – д.т.н. М.П. Фархадов).

Сотрудниками лаборатории за последние 5 лет опубликованы 2 монографии, 24 статьи в ведущих рецензируемых российских журналах, 19 докладов в трудах российских и международных конференций.

ЛАБОРАТОРИЯ № 25

ТЕОРИИ ВЫБОРА И АНАЛИЗА РЕШЕНИЙ

им. М.А. Айзермана



**Основатель и
первый зав. лаб. № 25
Марк Аронович Айзерман**

В 1962 г. в Институте автоматики и телемеханики получили развитие (на базе лаб. № 11 пневмогидравлической автоматики) работы в области теории автоматов, начались работы по бионике и сформировалась сильная группа специалистов для работы в этих направлениях. В связи с необходимостью развивать эти новые направления 25 декабря 1962 г. приказом директора Института академика В.А. Трапезникова была образована Лаборатория теории и методов построения автоматов – лаб. №25. С первого дня её создания и до 1991 г. лабораторией руководил выдающийся учёный доктор технических наук, профессор Марк Аронович Айзерман (1913–1992).

За этот период в лаб. № 25 под руководством М.А. Айзермана проводились исследования по теории устойчивости, теории автоматов, теории графов, работы по управлению в медицине и биологии и огромный комплекс работ по теории выбора и анализа решений. Результаты сотрудников лаборатории внесли большой вклад в науку об управлении. Исследования учёных лаборатории в таких областях, как теория регулирования, теория устойчивости, распознавание образов и анализ данных, теория конечных автоматов, теория многоагентных систем, теория графов, математическая логика, медицинская кибернетика, теория выбора, теория голосований, входят в золотой фонд мировой науки. С первых дней создания лаборатории в ней трудились выдающиеся учёные. Объединившихся в совместных исследованиях М.А. Айзермана, Э.М. Бравермана и Л.И. Розоноэра называли «могучей тройкой АБР». Их классические результаты в области теории обучения машин вошли в учебники по распознаванию образов по всему миру. Ещё студентами МФТИ в лабораторию пришли А.А. Дорофеюк, Н.В. Завалишин, А.И. Литвинцев, А.В. Малишевский, В.И. Чернов, А.Л. Чернявский. Здесь проходило их становление как учёных.

В 1964 г. в лабораторию пришёл Е.С. Пятницкий. В 1982 г. по инициативе М.А. Айзермана в Институте была организована лаборатория динамики нелинейных процессов управления (лаб. № 16), которую Е.С. Пятницкий возглавил и руководил ею до последнего дня своей жизни.

В 1984 г. в лаборатории был создан сектор № 25.1 под руководством А.А. Дорофеюка, защитившего к тому времени докторскую диссертацию. В 1988 г.

по инициативе М.А. Айзермана на базе этого сектора была создана лаборатория обработки больших массивов информации в иерархических системах (лаб. № 55).

В 2015 г. из лаборатории выделилась группа под руководством д.ф.-м.н. П.Ю. Чеботарева, образовав лабораторию математических методов анализа много-агентных систем (лаб. № 70).

Лаб. № 25 внесла большой вклад в воспитание молодых кадров в Институте. В лаборатории учились и защищали диссертации аспиранты из Грузии, Армении, Азербайджана, Эстонии и Узбекистана. Международные контакты лаборатории широко известны. В разные годы в лаборатории проходили стажировку молодые учёные из Италии, Франции и США. Бывшие сотрудники и аспиранты живут и работают в США, Франции, Канаде и Израиле. Сотрудники лаборатории преподавали и работали в ведущих мировых научных центрах. В настоящее время сотрудники лаборатории преподают в МФТИ, НИУ ВШЭ, МГУ им. М.В. Ломоносова.



Зав. лаб. № 25
Фуад Тагиевич Алескеров

За более чем полвека существования лаборатории её сотрудниками написаны около сотни монографий, более тысячи статей по различным областям теории и практики управления. На многие разработки лаборатории получены авторские свидетельства и патенты.

Лаб. № 25 в течение десятилетий проводит знаменитый общемосковский семинар «Проблемы расширения возможностей автоматов» и уже более 40 лет проводит семинар «Экспертные оценки и анализ данных».

С 2001 г. лаб. №25 носит название Лаборатория теории выбора и анализа решений им. М.А. Айзермана и трудится под руководством почётного работника науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Фуада Тагиевича Алескерова. В 2018 г. Ф.Т. Алескеров избран членом секции «Информатика»

Европейской академии (Academia Europaea).

В 2017 г. в состав лаб. № 25 были включены лаб. № 55 (под руководством д.т.н., проф. А.А. Дорофеюка) и лаб. № 44 (под руководством д.т.н. А.С. Манделя).

Основные направления исследований:

1. Построение и анализ новых теоретических моделей принятия решений. Разработка дескриптивного и аксиоматического подходов к агрегированию предпочтений и к формирова-



Александр
Александрович
Дорофеюк



Александр
Соломонович
Мандель

нию коллективных решений. Исследование формальных структур, используемых, в частности, при выборе и анализе решений.

2. Разработка моделей и методов для анализа и прогноза результатов голосования в больших и малых группах. Создание моделей и вычислительных методов для определения степени влияния членов группы на процесс принятия решений, а также моделей анализа влияния участников в сетевых моделях.
3. Разработка новых классов индексов для описания центральности в сетях, учитывающих параметры вершин, средние и дальние взаимодействия в сетях (Long-Range Interactions Centrality, LRIC), а также групповое влияние одних вершин на другие.
4. Разработка моделей оценки влияния в финансовых сетевых структурах, таких как рынок международных заимствований, с учётом интенсивности взаимодействий агентов.
5. Разработка моделей анализа миграционных процессов.
6. Разработка многомерных индексов для анализа поляризации в политических органах.
7. Построение суперпозиционных моделей прогнозирования возникновения торнадо.
8. Анализ индивидуальной и коалиционной манипулируемости известных схем агрегирования предпочтений.
9. Теория экспертно-статистических систем управления и идентификации. Экспертно-статистические и экспертно-классификационные методы поддержки принятия решений. Методы профессионального тестирования.
10. Методы управления производством и запасами в условиях неопределённости. Методы прогнозирования в условиях неполноты исходных и текущих данных.
11. Методы интеллектуального анализа сложноорганизованных данных, в том числе распознавания образов, структурно-классификационные методы анализа, моделирования и идентификации широкого класса систем управления.
12. Методы структурного прогнозирования в крупномасштабных системах управления.
13. Методы поддержки принятия решений в слабо формализованных системах управления, в том числе теории экспертизы и экспертных оценок, консалтинга.
14. Теория и методы управления в междисциплинарных моделях организационных, социально-экономических и медико-биологических систем.
15. Модели специализации в биологических системах.
16. Разработка новых методов обработки медицинской информации и получения новых диагностических признаков.

Прикладные результаты:

1. Оценка качества условий проживания в регионе и удовлетворенности населения деятельностью администрации

Компьютерная система оценки качества условий жизни населения предназначена для обеспечения органов управления различных территориальных образований инстру-

ментарием для производства и анализа современной актуальной, надёжной и достоверной информации о процессах и результатах жизнедеятельности населения для поддержки социально-экономических и инфраструктурных решений по развитию региона. Система предназначена для расчёта прогностических моделей оценки качества проживания населения муниципальных округов, районов, городов и регионов.

Внедрение, реализация: 17 областей и 7 городов РФ и 2 города за рубежом.

2. Система оценки потенциала увеличения продаж для клиентов розничной торговой сети

Предназначена для выявления возможностей роста продаж на имеющемся множестве клиентов; адресных кампаний по продвижению товаров и услуг; персонализации предложений и адресной ценовой политики и политики скидок.

Внедрение, реализация: Торговая фирма «Метро» (штаб-квартира в Германии).

3. Оценка развития филиальной сети, значимости коммерческих клиентов и эффективности функционирования коммерческих банков

Система предназначена: для получения советом директоров банка информации о функционировании отделений банка; принятия решения об открытии новых отделений с учетом локального рынка, на котором они работают; определения относительной эффективности и значимости клиентов для банка.

Внедрение, реализация: Крупные коммерческие банки Турции (Yapi Kredi) и Италии (UniCredit).

4. Методы поиска закономерностей среди разнородных данных

Разработанные методы предназначены для поиска и выявления закономерностей в больших массивах информации с возможными неточностями в данных. Например, это могут быть данные инновационного развития различных территориальных образований, банковского сектора, макроэкономических показателей, выявление заболеваемости на основе анализа различных клинических данных и т.п.

5. Прогнозирование процесса разлива нефти на поверхности моря

Внедрение, реализация: моделирование разливов нефти в Баренцевом море.

6. Анализ спорных территорий в Арктическом регионе

Разработана математическая модель, осуществляющая (на основе определения интереса стран к зонам в зависимости от удалённости и наличия ресурсов) распределение спорных территорий, удовлетворяющее все заинтересованные стороны. Работа была представлена в странах, имеющих интересы в Арктическом регионе, таких как Россия, Канада и Норвегия.

7. Определение ключевых игроков на рынке продовольственной безопасности

Разработан метод анализа торговых отношений между странами с целью выявления наиболее существенных торговых игроков.

8. Аппаратно-программный комплекс для ранней и дифференциальной диагностики и управления лечением заболеваний центральной нервной системы, связанных с нарушением двигательных функций (Болезнь Паркинсона, Эссенциальный тремор, Спастическая кривошея и т.п.)

Аппаратно-программный комплекс (АПК) предназначен для использования в неврологической клинике в помощь врачу. Позволяет проводить дифференциальную диагностику заболеваний, имеющих схожую симптоматику, особенно на ранних стадиях заболеваний, когда нет клинических проявлений, проводить мониторинг состояния пациента в процессе лечения, оценивать эффективность различных форм лечения больных (медикаментозных, хирургических, электростимуляции и т.п.), проводить оценку действия фармакотерапии на различную симптоматику в процессе индивидуального подбора лекарственных препаратов.

Внедрение, реализация: АПК разработан и используется ведущими клиниками. Среди них – Научный центр неврологии РАМН (ранее НИИ неврологии РАМН), Москва; Российская медицинская академия последипломного образования, Кафедра неврологии Центра экстрапирамидных заболеваний МЗ РФ, Москва; Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского (ГУ МОНИКИ), отделение неврологии; Республиканский клинико-диагностический центр Экстрапирамидной патологии и ботулинотерапии (РКД ЦЭПиБТ, Казань). Получен патент.

9. Метод выявления доклинических маркеров реакции человека на слабые воздействия ионизирующих и неионизирующих излучений

Разработанный метод позволяет выявлять доклиническую реакцию центральной нервной системы человека на различные воздействия малых доз (мощностей): радиацию, электромагнитные поля СВЧ и КВЧ диапазонов, ультразвук, компьютеры, имеющие широкий спектр излучений и сотовые телефоны. Метод позволяет проводить биологическую дозиметрию, оценку экологического состояния среды различных регионов и выявлять группы риска среди людей, профессионально связанных с радиационным фактором.

Внедрение, реализация: Использовался при диспансерных обследованиях персонала Калининской АЭС и Ленинградской АЭС.

В настоящее время в лаборатории работают 25 человек, из них 2 доктора и 14 кандидатов наук. Сегодня сотрудники лаборатории читают лекции и делают доклады в ведущих научных учреждениях мира. Среди них: Гарвардский университет, МТИ, Калифорнийский технологический институт, Кембриджский университет, университет Гейдельберга (Германия), университет Гента (Бельгия), университете Париж 1 (Сорбонна, Франция) и др. Лаборатория ведёт совместные исследования с университетом Париж 1, университетом Тор Вергата (Рим, Италия), университетом г. Турку (Финляндия), университетом Тромсе (Норвегия) и др.

На базе лаборатории работает молодёжная научная школа «Модели индивидуального, коллективного и многокритериального выбора», члены которой участвуют в разработке перечисленных направлений исследований.

Результаты теоретических и прикладных работ докладывались и получили высокую оценку на многочисленных международных и всероссийских конференциях.

ЛАБОРАТОРИЯ № 27

ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ



**Основатель и
первый зав. лаб. № 27
Павел Павлович Пархоменко**

Лаборатория родилась в 1964 г. в недрах лаб. № 3, руководимой членом-корреспондентом АН СССР Михаилом Александровичем Гавриловым, и первоначально называлась Лабораторией логических машин. Это название связано с пионерскими разработками логического анализатора релейно-контактных схем и ряда образцов программно-управляемых машин для автоматизированной проверки технических объектов (телефонной аппаратуры, электровозов, самолётов, систем управления ракетами и др.). Разработки привлекли всеобщее внимание и активизировали решение задач автоматизации контроля в различных областях народного хозяйства.

Руководил новой лабораторией кандидат технических наук, ныне член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор Павел Павлович Пархоменко. В состав лаборатории влились

энтузиасты нового направления в технической кибернетике к.т.н. В.В. Карибский, к.т.н. Ю.Л. Томфельд и тогда ещё не доктор и не профессор Е.С. Согомонян. Новизна тематики привлекла в лабораторию многих молодых инженеров.

К интересным теоретическим результатам начального периода жизни лаборатории относится введение в обиход понятия однократного эквивалента многотактной схемы; разработка методов синтеза логических схем из элементов различных базисов (метод замены входных переменных и метод замены выходных функций); получение фундаментальных результатов по состязаниям в логических цепях, по распознаванию классов конечных автоматов.

Лаборатория перевела на русский язык знаменитую монографию А. Гилла «Введение в теорию конечных автоматов», ставшую настольной книгой многих исследователей и побудившую сотрудников лаборатории к написанию фундаментальной монографии «Введение в техническую диагностику» в двух томах.

Техническая диагностика, новая в то время дисциплина, стала тематикой работы и названием лаборатории в конце 60-х гг. В начале 70-х в лаборатории широким фронтом стартовали работы по теории и практике тестового диагностирования комбинационных и последовательностных схем, по тестам поиска неисправностей, встроенным системам контроля и тестирования, автоматизации тестирования, расчётам и оптимизации надёжности. Большинство этих важных для практики проблем было поставлено впервые. Эта тематика сохраняется и сегодня.

Научно-организационная роль лаборатории оказалась весьма значительной. Ежегодные школы-семинары по технической диагностике под руководством П.П. Пархоменко укрепили интерес к этим проблемам, заслужили авторитет и признание среди советских учёных и инженеров, занятых разработкой вычислительной и управляющей техники. Всего с 1973 г. проведено 18 школ, почти 100 «учеников» защитили кандидатские диссертации, а более 20 стали докторами наук. Проведено шесть Всесоюзных совещаний по технической диагностике и отказоустойчивости, вызвавших интерес представителей ближнего и дальнего зарубежья. Был создан прочный научный фундамент важных технологических знаний по автоматизации проектирования, тестированию, диагностированию, функциональному контролю и отказоустойчивости. И разрушить этот фундамент полностью не удалось даже в перестроечное безвременье.

С 70-х гг. лаборатория стала де-факто играть в стране роль координационно-исследовательского центра по технической диагностике. Сотрудники лаборатории были тесно связаны с практическими разработками многих предприятий страны: НИЦЭВТ, НИИНЦ, НИИПМ, НИИП, НПО «ВЕГА», НИИ «ИМПУЛЬС», КБ «Электроприбор» (г. Харьков) и др. Лаборатория с честью справилась с заданием АН СССР по диагностированию, восстановлению и обслуживанию управляющей и вычислительной техники новой серии импортных рыболовных супертраулеров на стационарных базах и в открытом океане.

С середины 70-х гг. на волне институтских работ по ПС-2000 в тематику лаборатории вошли темы по проектированию отказоустойчивых многопроцессорных управляющих систем. Работы проводились в интересах космоса (КБ «Электроприбор») и перспективных разведывательных летающих лабораторий дальнего обнаружения (НПО «ВЕГА»). Этот круг вопросов остаётся актуальным и поныне.



**Зав. лаб. № 27
Михаил Фёдорович
Каравай**

С 1995 г. лабораторию возглавил к.т.н. (в настоящее время – доктор технических наук, почётный деятель науки и техники) Михаил Фёдорович Каравай.

В 2006–2007 гг. лаборатория пополнилась новыми научными кадрами по проблемам надёжности в микроэлектронике (к.т.н. Б.П. Петрухин и его коллеги), специалистами по теории сетей и коммутации (д.т.н., проф. Г.Г. Стецюра, д.т.н. В.С. Подлазов), в 2010 г. в состав лаборатории влилась лаб. № 4, возглавлявшаяся до этого д.т.н., проф. В.В. Игнатущенко и исследовавшая проблемы надёжности выполнения сложных программных комплексов в многопроцессорных системах, и специалистом в новой для лаборатории тематике – разработке модели нейронного кортекса (к.т.н. А.М. Михайлов).

В последние годы в лаб. № 27 выполнены и продолжают исследования по следующим теоретическим направлениям:

- исследование и создание высоконадёжных, живучих управляющих информационных систем;
- анализ надёжности и разработка методик расчёта безотказности систем, построенных на современной микроэлектронной базе;
- исследование модели нейронного кортекса для решения задач распознавания, связанных с обработкой очень больших объёмов информации.

В рамках направления по исследованию и созданию высоконадёжных, живучих управляющих информационных систем:

- Была разработана теория отказоустойчивости, базирующаяся на инвариантно-групповом исследовании структур систем. Впервые найден эффективный аналитический подход к проблеме отказоустойчивости, позволяющий синтезировать оптимальные отказоустойчивые системы различной архитектуры. Впервые было понято, что математическим фундаментом отказоустойчивости служат свойства симметрии (группа автоморфизмов) структуры изучаемой системы (М.Ф. Каравай). Решён ряд задач по системному диагностированию и оптимальному размещению ресурсов в многопроцессорных системах с архитектурами гиперкубов и однородных графов (П.П. Пархоменко).

– Теоретические результаты по отказоустойчивости и живучести, полученные в лаборатории в предшествующие годы, позволяют по-новому взглянуть на проектирование «систем в кристалле» (*systems-on-chip*, SoC). Обилие коммутационных и логических ресурсов в кристалле позволяет реализовать разработанные в лаборатории экономичные и эффективные структурные методы отказоустойчивости. Методы основаны на виртуальном представлении схемы, спроектированной в кристалле, как совокупности логических блоков размером от единичного (один или несколько сложных логических блоков, КЛБ) до удвоенного их числа на каждом следующем уровне. Например, 1/128 всей схемы, 1/64 и т.д. до 1/2 схемы. Разработан алгоритм упаковки кристалла для САПР, позволяющий воспользоваться всегда существующей естественной избыточностью в кристалле и отображать отказавший КЛБ на избыточное пространство в кристалле (к.т.н. С.С. Уваров).

– Решён ряд принципиальных проблем по встроенным системам тестового и функционального диагностирования цифровой аппаратуры с декомпозицией системы и проверкой её на предельных рабочих частотах. Результаты позволяют по-новому подходить к синтезу контролепригодных устройств при проектировании систем в кристалле (к.т.н. Г.П. Аксёнова и к.т.н. В.Ф. Халчев). Продолжаются исследования по встроенным механизмам самовосстановления систем с избыточными структурно-функциональными ресурсами. Для систем в кристалле такие механизмы исследуются на основе причинно-ориентированного подхода к учёту повреждающих факторов по аналогии с принципами выживания во враждебном окружении (неблагоприятной среде) биологических организмов, симбиозов, высокоорганизованных сообществ (Е.А. Адоян, к.т.н. Ю.Л. Томфельд).



**Владислав Валентинович
Игнатущенко**

– Проводились исследования по разработке новых подходов к организации надёжных (достоверных) числовых вычислений. Предполагалось, что в основе должен лежать новый стандарт, требующий проведения одновременно с вычислениями оценки достоверности получаемых результатов. Подобный подход должен резко уменьшить возможность непрогнозируемого получения некорректных результатов при работе высоконадёжных систем (С.И. Уваров).

– Значительные усилия направлены в настоящее время на решение принципиально важных проблем коммутационных сетей (П.П. Пархоменко, М.Ф. Каравай, В.С. Подлазов). В настоящее время проблемы коммутации в суперкомпьютерах, в многоядерных кристаллах и локальных управляющих сетях реального времени заявили о себе как одной из важнейших задач вычислительной техники. От её решения зависит успешность основного направления повышения производительности и отказоустойчивости, и в целом, надёжности современных систем на основе параллелизма. Предыдущие исследования инвариантно-групповых свойств структур систем показали, что из произвольной структуры редко удаётся получить отказоустойчивую структуру приемлемой избыточности, даже если это решение минимальное. Чтобы выйти из, казалось бы, непреодолимых рамок, было предложено отображать исходную структуру в структуру полного графа. При выборе и проектировании средств коммутации анализу подвергаются вопросы *производительности* систем коммутации, их *ёмкости*, *сложности* реализации, *масштабируемости*, параллелизма, *отказоустойчивости*, *возможности работы в гетерогенной среде*, *простоты управления*, *бесконфликтности прохождения информации*, допустимых *частотных диапазонов*, *помехоустойчивости*, преемственности предыдущих решений и др. Однако выбор полного графа (или кросс-бара) в качестве среды, на которую отображают исходный граф, к сожалению, неприемлем из-за сложности. В то же время остальные из перечисленных характеристик полного графа весьма привлекательны для проектируемых систем.

– В лаборатории проводятся исследования по проектированию новых коммутационных структур для микроэлектроники, вычислительной техники и локальных системных сетей реального времени. Цель работы – построение математической конструкции, которая помогла бы дать ясный ответ на все рассмотренные выше вопросы, включая проблему сложности полных графов. Обнаружено, что малоизвестная в инженерно-технических кругах математическая комбинаторная конструкция «*симметричная уравновешенная блок-схема*» содержит большие возможности в создании сетевых средств коммутации для высокопроизводительных отказоустойчивых, в том числе неоднородных управляющих и вычислительных систем. У блок-схем есть графовый эквивалент – двудольный граф.

При надлежащей интерпретации, блок-схемы можно рассматривать как квазиполные коммутационные структуры - графы, вершины которых соединены не по принципу «точка-точка», а через достаточно простой переключатель, практически не вносящий дополнительной задержки при прохождении сигналов. При этом число каналов связи и портов n -узловой сети уменьшается пропорционально в \sqrt{n} раз по сравнению с полным графом. В этом основное их преимущество перед коммутационными структурами, моделируемыми полными графами.

Впервые было замечено, что *двудольные графы* (bipartite graphs), уравновешенные блок-схемы (block-designs) и коммутационные сети – не разрозненные понятия, а «родные братья». Это оказалось самым важным, поскольку дало в руки исследователей сильный математический инструмент и позволило сформулировать задачу проектирования *высокопроизводительных отказоустойчивых* сетевых систем коммутации. Также пришло понимание того, что эти исследования могут сделать прорыв в технологической области создания сверхбольших интегральных схем типа ПЛИС или SoC, поскольку на порядки снижается число необходимых соединений в коммутационной сети.

Предлагаемая топология, по существу, представляет собой двухкаскадный коммутатор, который оказывается «почти» полным графом: для практических применений его можно рассматривать как полный граф. Мы назвали его «квазиполным графом».

Почему квазиполный граф представляет такой интерес? В основном потому, что обладает всеми положительными характеристиками полного графа, значительно проще и, что очень важно, в него можно отобразить любую топологию – это бесценное свойство для производительности и отказоустойчивости. Достаточная для практических результатов работа уже проделана. Ясно, как проектировать кластеры, насчитывающие до 1500 абонентов. Ясно, как каскадировать эти сети, строить их комбинации, насчитывающие десятки тысяч абонентов.

Ещё одно направление исследований связано с многолетними работами Г.Г. Стецюры по совмещению вычислений и обмена данными в каналах передачи данных. Над данными в процессе их побитной передачи по каналу группа объединённых каналов узлов выполняет распределённые вычисления (логические, арифметические: сложение, вычитание, умножение, операции *max* и *min*). Перемещающийся по каналу пакет с данными после выхода из последнего узла группы содержит результат групповой операции. Область применений подхода довольно обширна: это ускорение коллективных операций в ЭВМ (не менее чем в $\log n$ раз при n процессорах на таких задачах, как вычисление значения полиномов, свёртка, дискретное преобразование Фурье, сортировка); сокращение активной площади кристалла, отводимой под операции обмена данными; быстрое обнаружение и устранение неисправных компонент и др.

Приведённые подходы разрабатываются как методы поддержки автономности систем управления жёсткого реального времени. Под автономностью понимается наличие в системе развитых средств самоуправления: конфигурируемости, оптимизации, самовосстановления и самозащиты от враждебного вмешательства. Интересно отметить, что на суперкомпьютерном форуме СКФ-2018 в Переславле-Залесском представители фирмы *Intel* заявили, что они начали разработки по совмещению вычислений и обменов с памятью в каналах как перспективное направление для повышения производительности систем.

В 2009–2013 гг. под руководством Б.П. Петрухина в лаборатории проводился сравнительный анализ различных методик расчёта безотказности интегральных схем по результатам их испытаний различными фирмами и по различным методо-

логиям для разработки модели прогнозирования показателей безотказности современных КМДП ИС.

Сегодня в мире основными элементами цифровой техники являются интегральные полевые микросхемы (КМДП ИС). Это и программируемые массивы логических элементов, микропроцессоры, различные элементы памяти и т.п. Основные производители больших и сверхбольших КМДП ИС – фирмы *Altera*, *Xilinx*, *Atmel* и др. В соответствии со стандартом ISO 9000 все изготовители обязаны подтверждать качество своей продукции, в частности показатели надёжности.

Указанные элементы относятся к классу высоконадёжных изделий, у которых показатели безотказности очень высоки, в частности, интенсивность отказов составляет один отказ на сто млн. приборочасов и менее. Поэтому для подтверждения таких показателей нужно проводить контрольные испытания в форсированных режимах и условиях, хотя изготовители предупреждают, что пользоваться значениями интенсивности отказов, полученными при контрольных испытаниях, для оценки надёжности изделий, в которые входят эти элементы, не рекомендуется. Однако достоверную информацию об отказах в процессе эксплуатации получить практически не реально. Отмечается, что отказы ПЛИС в нормальных условиях очень редки. Поэтому цель данной работы состояла в оценке возможности использования результатов контрольных испытаний, проводящихся фирмами *Altera* и *Xilinx* в течение последних пяти и более лет и посему имеющих существенную эквивалентную наработку. При этом проводился критический анализ видов отказов, учитывались механизм отказа и влияние на него различных внешних факторов. Американский военный стандарт MIL-217 + F.2 даёт более пессимистическую оценку, чем французский UTC (CNET93). Анализ показывает, что расчётная интенсивность отказов, получаемая по обоим методикам, как правило, выше, чем при испытаниях. Анализ результатов испытаний показывает, что интенсивности отказов ПЛИС практически не зависят от характерного размера и степени интеграции. В настоящее время ПЛИС широко проникли в самые разнообразные методологии проектирования бытовой, авиационной и космической аппаратуры. И проявилась их зависимость от влияния радиационных излучений. Знание их реальных характеристик необходимы для проектирования надёжных электронных устройств.

Сотрудники лаборатории (М.Ф. Каравай) активно вовлечены в работы МОКБ «МАРС» и ФГУП ЦНИИмаш по проектированию и производству новейших отказоустойчивых управляющих и вычислительных систем для разгонных блоков и малых спутников широкого назначения. Многолетний опыт лаборатории по созданию диагностического обеспечения, по возможности, передаётся в последние разработки МОКБ «МАРС». Совместно с МОКБ «МАРС» получен патент РФ на новую архитектуру отказоустойчивой памяти для работы в условиях усиленного ионизирующего излучения. Память «выдерживает», то есть парирует, до нескольких сотен устойчивых отказов, которые раньше считались невозстановимыми. При этом заметных потерь в производительности нет. Ещё одно направление совместной деятельности – создание двугранных (двухканальных) отказоустойчивых систем с характеристиками, близкими к характеристикам современных четырёх- и трёхгранных систем. Двугранные системы предназначены для оснащения ими разгонных блоков, малых спутников, летательных аппаратов, производимых «ГосМОКБ «РАДУГА»». Управ-

ляющие бортовые ЭВМ проектируются на базе отечественных «систем-в-кристалле», производимых фирмой «Элвис» в г. Зеленограде.

В 2016 г. в состав лаб. № 27 были включены сотрудники бывшей лаб. № 5 «Анализа свойств систем сложной структуры», специалисты по надёжности высочайшего класса: г.н.с., д.т.н. В.С. Викторова, в.н.с., к.т.н. Н.В. Лубков, с.н.с., к.т.н. А.В. Антонов, с.н.с., к.т.н. Г.Л. Поляк, с.н.с. А.С. Степанянц, и аспирант мехмата МГУ м.н.с. М.Ю. Воробьёва. В том же 2016 г. в состав лаб. № 27 была включена часть сотрудников бывшей лаб. № 13 «Функциональной безопасности»: её заведующий, теперь г.н.с., д.т.н. Е.В. Юркевич, с.н.с., к.ю.н. Б.В. Колосов и н.с. Л.Н. Крюкова.

Лаб. № 5 была создана в 1972 г. посредством слияния двух научных коллективов, успешно работавших над проектом комплексной автоматизации нового класса атомных подводных лодок (Проект 705). Один коллектив, которым руководил доктор технических наук, профессор Сергей Михайлович Доманицкий (1927–1971), работал над созданием методов анализа и обеспечения надёжности систем логического управления. Второй коллектив (в составе лаб. № 49) занимался новыми для того времени задачами: разработкой методов анализа и выбора оптимальных уровней свойств систем сложной структуры на основе имитационного моделирования их функционирования. Руководитель этого коллектива Борис Григорьевич Волик и возглавил объединённую лаб. № 5.



**Основатель
и первый зав. лаб. № 5
Борис Григорьевич Волик**

Работы лаб. № 5 велись в двух направлениях.

Первое направление охватывало проблемы анализа надёжности, живучести, эффективности и техногенной безопасности систем сложной структуры. Эти проблемы объединяет общность методологии построения расчётных моделей и используемого математического аппарата, включая теорию вероятностей, алгебру логики, комбинаторный анализ, математическую статистику.

Второе направление работ лаб. № 5 включало разработку методов и средств имитационного моделирования организационных систем сложной структуры. При создании моделей может учитываться взаимодействие систем, в том числе и в конфликтных ситуациях. В этом случае система моделирования дополняется игровыми моделями, определяющими потери и выигрыши сторон конфликта. Разработанные имитационные модели могут быть использованы для выработки алгоритмов наилучшего поведения, а также поиска сбалансированных значений показателей, определяющих свойства исследуемых систем. В наиболее сложных игровых моделях (например, модели двустороннего конфликта) при разыгрывании ситуаций конфликта решения принимает человек-оператор. В этих случаях система моделирования снабжается системой поддержки принятия решений (СППР), в которую включается имитационная модель ситуации. Имитационная модель позволяет оценить различные варианты решений и рассчитать показатели векторного критерия эффективности.

ности каждого из них, по которым ЛПР, пользуясь алгоритмами СППР, определяет вариант решения, наиболее полно отвечающего его предпочтениям.

За время своего существования лаб. № 5 выполнила ряд прикладных работ, качество которых неизменно высоко оценивалось заказчиками.

Под руководством к.т.н. Б.Б. Буянова выполнен анализ вариантов навигационно-пилотажного комплекса самолёта Ил-62м для получения международного сертификата на полёты над Северной Атлантикой (70-е гг.) и проведены исследования надёжности систем числового программного управления станками. Им предложен принцип сравнения проектных решений по векторным оценкам в многокритериальных задачах принятия решений, разработаны алгоритмы выделения предпочтительных вариантов с учётом информации о предпочтениях ЛПР.

Начиная с 80-х гг. работы лаб. № 5 по проектному анализу надёжности судовых энергетических установок, систем жизнеобеспечения атомных подводных лодок, подсистем АСУ ТП АЭС возглавлял к.т.н. Н.В. Лубков. В комплексной теме по разработке автоматизированных систем управления городским хозяйством он отвечал за направление, связанное с оценкой технического состояния объектов энергоснабжения.

В 90-х гг. в лаб. № 5 проводились исследования и разработки моделей надёжности бортовых отказо-сбоеустойчивых вычислительных комплексов, проектируемых в НИИ НЦ (г. Зеленоград). В 2000-х гг. лаб. № 5 участвовала в российско-американском проекте по RAM анализу объектов уничтожения химического оружия. Руководил этими работами А.С. Степанянц.

С середины первого десятилетия XXI в. в лаборатории под руководством к.т.н. А.В. Антонова ведутся разработки:

- по испытаниям и верификации программного обеспечения для АСУ (блочного и станционного уровней управления) АЭС «Бушер» и «Куданкулам»;
- по подготовке к сертификации по требованиям безопасности комплекса технико-программных средств повышенной надёжности (КТПС ПН) для АЭС;
- по алгоритмизации управления движением сложных технических объектов при выполнении ими основной работы, а также программных средств для обработки измерений параметров движения и восстановления сил и моментов;
- сверхбольших баз данных, включённых в состав специализированного комплекса для контроля и управления параметрами рабочих процессов для предотвращения аварийных ситуаций при проведении испытаний установок космических аппаратов.

С 2006 г. сотрудники лаб. № 5 стали развивать новое научное направление – исследование контролепригодности авиационных систем, и были вовлечены в крупномасштабные проекты ведущих авиационных организаций страны – ЗАО «ГСС», корпорации «ИРКУТ», ФГУП «ГосНИИАС». Лаборатория выполняет следующие хозяйственные работы: «Разработка моделей, методов, алгоритмического обеспечения автоматизированного анализа контролепригодности самолётов семейства МС-21», «Исследование моделей контролепригодности и технического обслуживания бортового авиационного оборудования и влияния указанных факторов на показатели надёжности». Проектами по анализу и автоматизации контролепригодности авиационных систем руководила д.т.н. Валентина Сергеевна Викторова



**Валентина Сергеевна
Викторова**

ва. С июля 2013 г. она стала зав. лаб. № 5.

С начала XXI в. под руководством к.т.н. Г.Л. Поляка осуществлялось внедрение теоретических результатов, полученных в рамках второго направления:

- выполнена работа «Компьютерные имитационные системы как инструментарий для выработки научно-технической политики в условиях военной реформы», вошедшая в перечень важнейших результатов РАН в интересах обороны и безопасности страны;

- разработаны программы демонстрационных образцов двух морских операций в Северной Атлантике и Каспийском море, на базе которых создан программный комплекс фрагмента имитационной системы, внедрённый в учебный процесс Военной академии Генерального штаба.

В конце 1993 г. Учёный совет Института принял решение о создании лаб. № 13. «Функциональной безопасности». Заведующим новой лабораторией был избран к.т.н. Е.В. Юркевич, (ныне д.т.н., профессор, академик РАН, г.н.с лаб. № 27).

Лаб. № 13 была образована как научное подразделение, развивающее идеи построения Государственной системы приборов и средств автоматизации нового поколения (ГСП-2). Этим объясняется тесный контакт её тематики 90-х годов с заказами Российского комитета по машиностроению (преемника Минприбора) и Госстандарта России. Первыми результатами, полученными в лаборатории, были модели оперативных воздействий, определяющие пути совершенствования работы органов государственного управления в новых рыночных условиях.

Более десяти лет на базе лаборатории активно работал Орган по сертификации электрооборудования, аккредитованный Госстандартом России, а сотрудники лаборатории были аккредитованы как эксперты в области информационных технологий и электротехники. Среди заявителей этого Органа были IBM, DUX, Samsung и другие крупные корпорации.

Дальнейшие направления в развитии исследований определила актуальность задач обеспечения надёжности управления человеко-машинными системами автоматизации технологических процессов. Был создан журнал «Надёжность». В течение более 10 лет его первым главным редактором был Е.В. Юркевич.

В развитие положений международных стандартов, определяющих функциональную безопасность программно-технических средств, в лаб. № 13 исследовалась функциональная надёжность сочетания технических и организационно-экономических систем. Была предложена методология использования ситуационного принципа управления в стандартизации работы программно-технических комплексов (Е.В. Юркевич, Л.Н. Крюкова).

Решение задач обеспечения функциональной надёжности технических систем



**Евгений Владимирович
Юркевич**

определило участие лаб. № 13 (Е.В. Юркевич, Л.Н. Крюкова) в работе по стандартизации технического комитета 65 МЭК «Измерение и управление в промышленных процессах».

С целью формирования методической поддержки инновационного развития ракетно-космической отрасли, совместно с организациями Роскосмоса (ЦНИИмаш, АО «Корпорация «ВНИИЭМ») ведутся работы по формированию методологии обеспечения устойчивости бортовых систем космических аппаратов к внешним воздействиям. Одним из важных направлений в этих работах является создание методов построения экспертных систем. На Международной выставке научно-технических и инновационных разработок «Измерение, мир, человек» разработка «Экспертная система поддержки прогнозных решений при обеспечении стойкости космического аппарата к электрофизическим воздействиям» в 2015 г. получила золотую медаль в номинации «Информационно-аналитические системы». В 2016 г. (совместно со специалистами АО «Корпорация ВНИИЭМ») за разработку «Информационно-аналитическая система оценки качества ракетно-космической техники» получена золотая медаль в номинации «Автоматизация и информатизация производства».

В настоящее время специалистами, перешедшими в состав лаб. № 27, изучаются возможности обеспечения функциональной надёжности работы бортовых систем космических аппаратов. Совместно с лаб. № 31 Института предложена методология имитационной оптимизации механизмов управления стойкостью функциональных модулей к внешним воздействиям. Рассматриваются особенности информационного обеспечения компьютерных мультиагентных технологий при интересующем взаимодействии экспертов. Регулярное обсуждение новых результатов на общероссийском семинаре «Теория систем и задачи управления» (руководитель Е.В. Юркевич) является действенным инструментом развития перспективных работ.

Работы лаб. № 27 представлены многочисленными журнальными статьями и авторскими свидетельствами, а также монографиями, основными из которых являются «Методы анализа и синтеза структур управляющих систем» (М.: Энергоатомиздат, 1988); «Модели и методы расчёта надёжности технических систем» (М.: URSS, 2014). Многие работы выполнялись по решениям Правительства, отмечены дипломами как лучшие работы Института и правительственными наградами. С 2017 г. лаборатории поручена важная работа по диагностированию технического состояния систем базового ЦУП в г. Королёве, включённая в Государственную 4-х летнюю Программу модернизации базового ЦУП Роскосмоса (М.Ф. Каравай, В.Ф. Халчев, Н.В. Лубков, А.В. Антонов).

ЛАБОРАТОРИЯ № 29

СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ



**Основатель и
первый зав. лаб. № 29
Елена Карловна Круг**

Лаборатория была создана в 1964 г. для разработки методологии проектирования систем прямого цифрового управления. Со дня образования до 1991 г. включительно лабораторию возглавляла заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор Елена Карловна Круг.

Сейчас в составе лаборатории – 15 сотрудников, из них 2 доктора и 4 кандидата технических наук. За это время больше полутора десятка аспирантов успешно защитили диссертации, из них 8 сотрудников лаборатории получили степень кандидата технических наук, а 2 – доктора технических наук. Сотрудниками опубликовано 6 монографий, более 170 научных статей, получено 15 авторских заявок на изобретения.

С 1991 г. лабораторией руководит кандидат технических наук Юрий Сергеевич Легович.

В конце 60-х гг. лаборатория принимала участие в проекте, возглавляемом д.т.н. Б.Я. Коганом, по разработке первого в СССР аналого-цифрового вычислительного комплекса, явившегося основой Универсального моделирующего комплекса (УМК) на ММЗ им. С.В. Ильюшина. Комплекс предназначался для отработки ручной системы управления самолётом Ил-62. Первый контакт с авиационной промышленностью на много лет определил направление исследований: разработка теории, методов и средств автоматизации научного эксперимента. Были разработаны и реализованы принципы построения многоуровневых систем управления натурным экспериментом, систем моделирования и идентификации динамических параметров объекта. Работа проводилась совместно с ЦАГИ и ММЗ им. С.В. Ильюшина, МНТК «Надёжность машин» (ИМАШ РАН). В процессе управления и обработки результатов выполненных натуральных экспериментов был получен богатый практический опыт, который в дальнейшем реализовали при разработке программных пакетов SAD – сбор, обработка и анализ данных и ЕМР – подбор эмпирических формул. Впоследствии эти пакеты не только использовались во всех проводимых лабораторией работах, но и нашли применение в других научных организациях. Разработанная методика управления, алгоритмы, программы, комплекс технических средств использовались при создании системы автоматизации прочностных испытаний авиационных конструкций на ММЗ им. С.В. Ильюшина. Под научно-методическим руководством ИПУ и при активном участии сотрудников лаборатории созданная система успешно использовалась при проведении статических испытаний на прочность серии самолётов ИЛ-76, -86, -96). К середине 90-х гг. для обеспечения более тесного научно-технического

сотрудничества Института с ЦАГИ и ММЗ им. С.В. Ильюшина было принято решение о строительстве на территории ИПУ силами ММЗ здания для межведомственной лаборатории. Завершить проект создания лаборатории не позволила начавшаяся в стране перестройка.

Опыт, полученный лабораторией при разработке УМК, позволил приступить к созданию целой серии разнообразных тренажёров.

В 1990–2002 гг. совместно с лаб. № 5 и кафедрой ОИ ВМФ Академии Генштаба ВС выполнялся комплекс работ по исследованию и разработке теоретических и методологических основ и программного обеспечения (ПО) системы имитационного моделирования вооружённой борьбы противодействующих группировок. В рамках этого направления был создан комплекс имитационного моделирования сложных организационных систем и процессов их функционирования. Помимо ПО для управления процессом моделирования и регистрации результатов лабораторией были разработаны картографический интерфейс, обеспечивающий взаимодействие имитационной системы непосредственно с офицерами высшего звена, стохастическая модель боевого столкновения группировок, расчёт соотношения сил, базы данных боевых соединений.



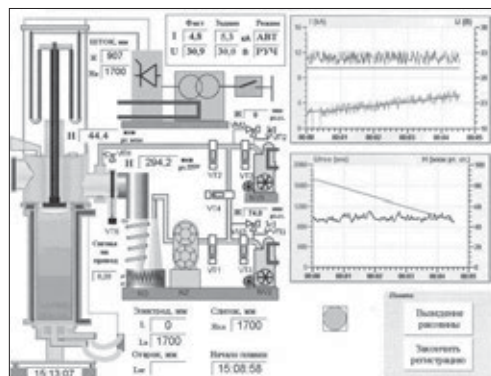
**Зав. лаб. № 29
Юрий Сергеевич
Легович**

Использование имитационного моделирования позволило исследовать процессы взаимодействия противоборствующих систем на оперативно-стратегическом и оперативно-тактическом уровнях. Результатом работ стало внедрение оперативно-тактического тренажёра. Разработка такого тренажёра для кафедры ОИ ВМФ Академии Генштаба ВС позволила создать впервые в стране комплексную систему имитационного моделирования вооружённой борьбы противодействующих группировок.

С середины 90-х гг. основным направлением лаборатории становится разработка теоретических и методических основ системной интеграции средств управления. На основе современных подходов к формализации описания технико-экономических свойств основных составляющих систем управления сложными объектами разрабатываются методы автоматизации процесса синтеза систем в соответствии с заданными обобщёнными показателями качества. Проводятся теоретические и практические исследования современного состояния средств автоматизации управления за рубежом.

Первым шагом в направлении проверки эффективности разработанных в лаборатории методик было создание в 1996 г. системы управления промышленной рудотермической электропечью «Кремний» для выплавки кремния на Запорожском алюминиевом комбинате (ЗАЛК). По условиям, заданным ЗАЛК, лаборатории пришлось конкурировать с московским представительством такого известного мирового системного интегратора, как компания *Siemens AG*. В процессе создания системы основные проблемы были связаны с новизной объекта, жёсткими сроками реализации и очень большими электромагнитными помехами. Такой объект

управления, как печь, оказался неустойчивым, что придавало особое значение не только алгоритмам управления, но и надёжности технических средств. Впервые в отечественной практике система прямого цифрового управления была с успехом реализована на основе промышленного компьютера, расположенного в непосредственной близости от печи. Это позволило доверить управление системой непосредственно плавильщику без участия специального оператора. Система эксплуатируется до сих пор в круглосуточном режиме.



**Система управления
промышленной электропечи**

В дальнейшем был создан ряд автоматизированных систем управления новыми электродуговыми печами:

- Информационно-регистрающая система управления вакуумной дуговой печью ВДУ-52 «Регистр» на Ступинском металлургическом комбинате (1999).
- Система автоматизированного управления вакуумной дуговой печью ДСВ-4, 5Г2И2 «АВАК» на Ступинском металлургическом комбинате (2000).
- Система автоматического управления вакуумной индукционной печью на «Красном выборжце», Санкт-Петербург (2001).
- Система автоматического управления вакуумной дуговой печью на «Красном выборжце», Санкт-Петербург (2002).

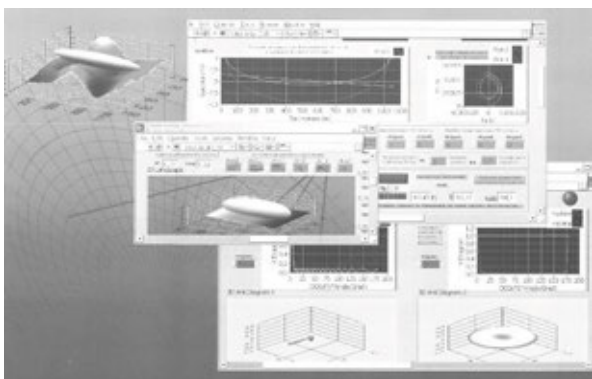
Ещё одним направлением деятельности лаборатории стало решение экологических проблем.

Одно из таких решений – разработка методических основ, теории и методов практической реализации лазерного зондирования аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха. Работа проводилась при научно-техническом сотрудничестве с Институтом прикладной геофизики (ИПГ), Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО), кафедрой нелинейной оптики МГУ. Методология получения и обработки результатов лазерного зондирования для оценки концентрации и размеров частиц была доведена до практической реализации. Разработанные параметрические методы оценки содержания загрязняющих веществ по спектрометрическим измерениям позволили выполнить большой комплекс работ по оценке уровня загрязнения, источником которого являются промышленные объекты. Был проведён комплекс натурных экспериментов по идентификации параметров модели оценки концентрации и размеров частиц в процессе изучения выбросов из труб промышленных предприятий на Литовской ГРЭС и Прибалтийской ГРЭС в Эстонии.

С 2003 г. лаборатория принимает активное участие в комплексной теме, начатой под руководством И.В. Прангишвили. Это разработка теории и методов построения систем экологического мониторинга объектов повышенной опасности применительно к объектам по уничтожению химического оружия.

В рамках данной темы лаборатория выполнила исследования и разработку структуры, состава комплекса технических средств информационно-аналитического центра системы экологического мониторинга, беспроводной сети сбора информации от территориально распределённых автоматических пунктов контроля, включая каналы сбора и передачи данных. Выработанные решения явились типовыми для всех объектов по уничтожению химического оружия, обеспечили безотказную работу системы в течение всего срока эксплуатации объекта и легли в основу ряда систем:

- Информационно-аналитической системы (ИАС) сбора и обработки данных производственно-экологического мониторинга объекта по уничтожению химического оружия, которая была внедрена в посёлке Горный Саратовской области (2003–2005);
- ИАС сбора и обработки данных производственно-экологического мониторинга объекта по уничтожению химического оружия – в г. Камбарка Удмуртской Республики (2004–2006).;
- ИАС сбора и обработки данных производственно-экологического мониторинга объекта по уничтожению химического оружия – в посёлке Марadykovo Кировской области (2005–2007);
- ИАС сбора и обработки данных производственно-экологического мониторинга объекта по уничтожению химического оружия – в посёлке Леонидовка Пензенской области (2006–2008).



Расчёт затухания сигнала в беспроводных системах передачи данных

В основу центра обработки был положен 3-серверный кластер с возможностью горячей замены всех узлов серверов. В качестве каналов передачи данных впервые использованы беспроводные каналы на основе технологии WiFi и GSM. Были разработаны методы проектирования беспроводных каналов связи технологии WiFi повышенной дальности. Отметим, что, несмотря на достаточно широкое распространение за рубежом технологии WiFi, практически отсутствуют системы автоматизации процесса синтеза беспроводных каналов, учитывающие конкретные параметры передающих и принимающих антенн, реального ре-



Система информационной поддержки принятия решений главным экологом

льефа местности и типа подстилающей поверхности. Именно такая система была разработана в лаборатории и с успехом использовалась при проектировании беспроводной сети сбора данных систем экологического мониторинга. Другим важным результатом было создание беспроводной сети передачи данных для мобильных экологических лабораторий.

Дальнейшее развитие теоретических и практических работ по экологическому мониторингу в лаборатории было направлено на создание алгоритмов и программ для обработки данных наблюдений при решении следующих задач:

- исследование экологического состояния в зоне объекта по уничтожению химического оружия;
- информационная поддержка принятия решений главным и дежурными экологами;
- формирование обобщённой экологической информации и передача её в надзорные органы.



**Моделирование распространения
аэрозольных загрязнений**

Значительное внимание в лаборатории уделяется разработке численных моделей физических процессов, позволяющих проводить численные эксперименты в реальном времени. Так была разработана численная модель химического промышленного реактора с выделенным объёмом. Проведенные с моделью численные эксперименты были подтверждены результатами, полученными на работающем реакторе, что явилось доказательством адекватности разработанной модели.

В последние годы сформировалось несколько устойчивых направлений деятельности лаборатории.

Направление 1. Методология оценки структурной целостности сложных систем (И.С. Павловский)

На основе теоретических исследований понятия «целостность» в рамках общей теории систем, с учётом философских взглядов на данное понятие разработана методология оценки структурной целостности сложных систем.

Методология включает:

- показатели структурной целостности;
- однородную модель взаимодействия элементов сложной системы;
- метод синтеза сетевой структуры на основе интеграции однородных моделей взаимодействия элементов сложной системы;
- метод иерархической структуризации сетевой структуры;
- методы выявления фрагментов и противоречий в иерархической структуре сложной системы;
- алгоритмы реализации указанных методов.

Методология реализована в виде программного комплекса и протестирована при исследовании терминологических стандартов и словарей.

Разработанная методология легла в основу дальнейших исследований в интересах решения проблемы системной интеграции изменений в сложной гетерогенной робототехнической системе управления (ГРТСУ) с перестраиваемой структурой. Под гетерогенностью ГРТСУ понимается способность (готовность) каждого робота (элемента управления) перейти к одной из функций управления (измерительной, контрольной, выработки управляющего воздействия, исполнительской) в зависимости от изменяющейся в процессе управления обстановки. Изменение выполняемых роботами функций управления приводит к необходимости согласования (системной интеграции) элементов управления в условиях новой структуры ГРТСУ. Под структурной целостностью понимается состояние структуры ГРТСУ, при котором отсутствуют противоречия в связях управления между роботами. Результаты оценки структурной целостности ГРТСУ позволяют оперативно выявить указанные противоречия при перестроениях в ГРТСУ.

Содержание данных исследований составляет:

- разработка методов и алгоритмов формирования вариантов изменяемой структуры ГРТСУ;
- оценка структурной целостности сформированных вариантов;
- сравнительный анализ результатов оценки целостности сформированных вариантов;
- разработка методологии выбора варианта структуры ГРТСУ повышения эмерджентного эффекта в процессе функционирования ГРТСУ.

В результате проведенных исследований ожидается развитие методов согласования (системной интеграции) выбранных вариантов структуры ГРТСУ с целью прогнозирования и предотвращения конфликтов элементов ГРТСУ при пересечении функций элементов структуры ГРТСУ, а также планирования и координации действий элементов ГРТСУ.

Направление 2. Теория, методы и средства разработки робототехнических систем на основе интеллектуальной обработки информации и управления автономными роботами различных типов (С.А. Диане)

Разрабатываются методы и алгоритмы автоматической настройки систем технического зрения на основе применения нейросетевых технологий с целью классификации объектов или явлений внешней среды, в том числе:

- локализация целевого объекта в зоне видимости робота;
- оценка собственной скорости движения на основе анализа потоковой видеoinформации;
- оценка параметров расположения препятствий на пути движения робота.

Сочетание технологий моделирования интеллектуальных роботов и нейросетевых технологий как средства решения слабо формализованных задач позволяет организовать единый автоматический процесс непрерывной генерации эталонных примеров и обучения систем технического зрения. В результате за счёт повышения качества настройки сенсорных систем отдельных роботов происходит совокупное

повышение эффективности многоагентных робототехнических систем, которые также являются объектом исследований, проводимых сотрудниками лаборатории

Полученные результаты в области группового управления мобильными роботами связаны с разработкой средств планирования при выполнении многоэтапных сценарных задач, а также применением эволюционных методов для организации распределения заданий между отдельными роботами.

Направление 3. Поиск источников загрязнения атмосферного воздуха в городах на основе открытых данных в геоориентированных социальных сетях (Ю.Г. Фатеева)

Несмотря на существующие государственные системы экологического мониторинга в крупных городах люди используют социальные сети, чтобы выразить свое отношение и чувства по этому поводу. Таким образом, жители городов постоянно участвуют в динамическом мониторинге качества воздуха, становясь «социальными сенсорами».

Лаборатория развернула серию работ по созданию системы сбора и анализа данных о загрязнении воздуха из открытых источников, а также созданием геоориентированной социальной сети, где каждый человек может выступить в роли «сенсора» и заявить об экологической проблеме.

Будет создан сервис по сбору, анализу и прогнозированию загрязнения окружающего воздуха, а также информационная карта с визуальным наглядным отображением собранных данных о загрязнении воздуха и о районах, в которых следует проводить дополнительные исследования и выявление источников разрушительного воздействия на жизнедеятельность человека.

ЛАБОРАТОРИЯ № 30

ПРОБЛЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК



**Зав. лаб. № 30
Леонид Рафаилович
Соркин**

Теоретические и прикладные разработки по автоматизации производства проводятся в Институте с начала 60-х годов в различных отраслях: энергетике, машиностроении, чёрной металлургии, нефтедобыче, нефтехимии и др.

Разработки для предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) всегда занимали особо важное место, что и обусловило создание в 1991 г. проблемно-ориентированной лаб. № 30 «Проблемы оперативного управления и планирования предприятий ТЭК», которая в течение многих лет занимала лидирующие позиции в этой области. Руководителем лаб. № 30 с момента её создания является д.т.н., проф. Леонид Рафаилович Соркин.

Проводимые исследования и эффективное использование современных информационных технологий позволили создать условия для решения сложных междисциплинарных проблем планирования и управления в нефтегазовом комплексе, обеспечить принципиально более высокий уровень качества текущего и перспективного бизнес-планирования.

В первые 20 лет в лаборатории работали доктора технических наук Н.В. Шестаков, А.С. Хохлов, А.В. Карибский, В.М. Дозорцев, Е.Н. Хоботов, Ю.В. Митришкин; кандидаты технических наук Ю.М. Цодиков, Д.В. Кнеллер, Ю.Р. Шишорин и др.

Тематика исследований охватывала широкий спектр проблем:

- поддержка принятия решений для непрерывных и дискретно-непрерывных технологических процессов и производств;
- автоматизация сложных технологических объектов;
- моделирование и проектирование средств и систем управления;
- обучение операторов сложных технологических объектов.

В рамках основных направлений деятельности получены важные теоретические и прикладные результаты, связанные с исследованием и созданием:

- методологии построения компьютерных тренажёров реального времени для обучения персонала химико-технологических производств на базе современных методов математического моделирования и интерактивных вычислительных средств;

- комплексного подхода к решению задач размещения, переработки и поставок сырья и продукции для интегрированных компаний;
- методологии ведения и анализа процессов финансового планирования в интегрированных компаниях;
- методологии моделирования и оптимизации схем магистрального транспорта нефти;
- оптимизационных моделей смешения бензинов, дистиллятов, мазутов и масел, учитывающих нелинейные эффекты смешения;
- методологии, моделей и методов формирования технологически и финансово согласованных проектов развития предприятий ТЭК.

Полученные результаты успешно внедрялись в процессе выполнения крупных российских и международных проектов в области планирования и управления ТЭК.

Лаборатория активно участвовала в организации и проведении крупных международных конференций по своей тематике исследований. На основе обобщения опыта работ в области автоматизации процессов планирования и управления предприятиями ТЭК разработаны и реализуются учебные курсы, включающие лекционные и практические занятия для студентов старших курсов МФТИ и Университета нефти и газа им. И.М. Губкина.

В настоящее время коллектив лаб. № 30, включая д.т.н. Е.Н. Хоботова, д.т.н. Ю.В. Митришкина и к.т.н. Ю.М. Цодикова, остаётся важной точкой роста масштабов сотрудничества ИПУ РАН с корпорацией «Хоневелл», МФТИ, МГУ и Университетом им. И. М. Губкина.

Группа сотрудников под руководством Ю.М. Цодикова продолжает исследования в области создания: оптимизационных моделей планирования производства предприятий нефтепереработки; методологии, моделей и методов формирования технологически согласованных и обоснованных экономически проектов развития предприятий ТЭК.

Группа сотрудников под руководством Е.Н. Хоботова проводит исследования по созданию моделей и методов планирования и построения расписаний работ на предприятиях машиностроения, а также моделей и методов выбора оборудования для производственных систем, участков и предприятий машиностроения при их модернизации и проектировании.

Под руководством Ю.В. Митришкина решены две задачи кинетического управления плазмой для токамака ITER. В первом случае разработана и моделировалась на коде ASTRA (НИЦ «Курчатовский институт») адаптивная система управления с развязкой каналов мощностью термоядерного горения, а во втором случае разработана нелинейная система управления профилем тока плазмы с учётом ограничений на входные воздействия источников дополнительного нагрева. Система промоделирована на кинетической модели плазмы, содержащей уравнение Грэда-Шафранова и уравнение диффузии плазмы (ГНЦ РФ ТРИНИТИ).



**Юрий Владимирович
Митришкин**

Для проекта токамака Т-15 решена задача переноса обмотки горизонтального магнитного поля для управления неустойчивым вертикальным положением плазмы из расположения вне обмотки тороидального поля в расположение между вакуумной камерой и обмоткой тороидального поля. Такой перенос обеспечил системе управления вертикальным положением плазмы необходимое свойство внутренней устойчивости, поскольку в этом расположении обмотка горизонтального поля не экранировалась другими обмотками полоидального поля. Для модели вертикального движения плазмы в Т-15 синтезированы и промоделированы модальная система, система с LMI-регулятором, а также система с прогнозирующей моделью с целью выяснения возможностей таких систем при управлении с

исполнительными устройствами в виде многофазного тиристорного выпрямителя и инвертора напряжения на транзисторах типа IGBT. При этом было установлено, что для подавления малых срывов требуется мощность 5-6 МВт.

Разработан стенд реального времени на компьютерах с операционной системой xPC Target от компании MathWorks. В стенде с Host PC загружаются симьюлинк-схемы, конвертированные в С-код, в модели объекта и регулятора, соединенные по схеме обратной связи и реализованные на компьютерах реального времени. Такой стенд позволил промоделировать системы магнитного управления плазмой в ITER и токамаке Т-15 в реальном времени, показав правомерность данного направления реализации систем управления плазмой посредством стендов реального времени.

Дальнейшая перспектива связана с внедрением в практику физического эксперимента сферического токамака Глобус-М2 цифровых систем управления плазмой с перенесением полученного экспериментального опыта работы на проектирование электромагнитной системы и цифровой системы управления плазмой на сферический модуль-токамак термоядерной электростанции.

ЛАБОРАТОРИЯ № 31

РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ им. И.В. Прангишвили



Основатель и первый заведующий лабораторией № 31 Ивери Варламович Прангишвили

Лаборатория № 31 была образована в 1964 г. Заведующим был назначен будущий доктор технических наук, академик АН Грузии, профессор Ивери Варламович Прангишвили, который руководил по февраль 2006 г.

Ивери Варламович Прангишвили был крупным учёным в области теории и разработки процессов и систем управления, информатики и вычислительной техники. В 1969 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Принципы построения однородных структур для логических и вычислительных устройств». В 1970 г. его назначают заместителем директора по научной работе Института, а в 1987 г. утверждают в должности директора Института.

И.В. Прангишвили было предложено новое перспективное направление построения элементов и узлов управляющих и вычислительных систем на основе однородных микроэлектронных структур (ОС), функционально настраиваемых на решение проблемно-ориентированных задач.

С 1972 г. началась разработка первой ЭВМ на однородной перестраиваемой среде ПС-300 (совместная разработка ИПУ и ТНИИСА – Тбилисского научно-исследовательского института средств автоматизации Минприбора), процессор которой был выполнен на однородной перестраиваемой структуре, позволяющей посредством настройки реализовать широкий спектр операций над данными. Особенностью машинного языка ПС-300 являлись реализация в машине векторных команд обработки данных и использование конвейерной обработки данных (будущий д.т.н. В.Д. Малюгин, к.т.н. А.И. Иванов).

В дальнейшем ЭВМ ПС-300 была расширена до управляющего вычислительного комплекса, серийно выпускаемого НПО «ЭЛВА» (г. Тбилиси). Была выпущена также новая версия УВК ПС-300 Микро (А.И. Иванов), ориентированная на мультипроцессинг ввода-вывода. Опытная эксплуатация УВК ПС-300 Микро была проведена в Одессе в производстве литья под давлением цветных металлов и сплавов.

Последующее развитие ОС под руководством И.В. Прангишвили (д.т.н. И.Л. Медведев, к.т.н. Ю.С. Затуливетер, к.т.н. Е.А. Фищенко, будущий д.т.н. С.Я. Виленкин) привело к разработке и созданию высокопроизводительных

многопроцессорных вычислительных систем с перестраиваемой структурой ПС-2000, проблемно-ориентированных на решение векторно-матричных задач большой размерности. Такие системы необходимы для обработки геофизической информации, изображений в реальном времени, различных данных, поступающих с искусственных спутников Земли, метеорологической, акустической и радиолокационной информации.

С 1981 по 1988 г. НИИУВМ (г. Северодонецк) Министерства приборостроения по совместным с ИПУ РАН разработкам была выпущена заводская серия из 242 вычислительных комплексов ПС-2000.

На базе ПС-2000 был создан промышленный экспедиционный вычислительный комплекс ЭГВК ПС-2000, обеспечивающий углублённую обработку данных сейсмической разведки месторождений нефти и газа (ВНИИ геофизики, В.М. Крейсберг). На базе нескольких комплексов ПС-2000 были созданы высокопроизводительные (до 1 млрд. операций в секунду) системы обработки гидроакустической информации в реальном масштабе времени (будущий д.т.н. И.И. Паишев).

Несколько комплексов ПС-2000 с 1982 по 1997 гг. эксплуатировались в Центре управления космическими полётами (ЦУП). На них была реализована система предварительной обработки телеметрической информации в реальном времени.

В развитие архитектурной линии ПС-2000 с 1989 по 1991 гг. в рамках проектов ГКНТ СССР проводились исследования возможностей построения многопроцессорных архитектур на одном кристалле СБИС (И.Л. Медведев, Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко, В.А. Кротов). Это был первый в мире проект, направленный на СБИС-погружение высокопараллельных архитектур. В связи с опережающим прогрессом технологий массового производства СБИС актуальность предложенных архитектурных и технологических решений в настоящее время только нарастает.

Компьютеры линии ПС-2000 стали примером воссоединения актуальной востребованности опережающих идей и полномасштабного их воплощения с использованием отечественных технологий.

Одновременно (будущий д.т.н. В.В. Игнатушенко) совместно с лаб. № 46 (д.т.н. Э.А. Трахтенгерц) проводилась разработка вычислительных систем, получивших название ПС-3000, со многими потоками команд и многими потоками данных, предназначенных для обработки данных на верхних уровнях иерархии сложных систем управления, требующих высокой производительности. Первые машины были выпущены (НИИУВМ, г. Северодонецк) только во второй половине 1980-х гг. Их доработка и дальнейший выпуск были прекращены в связи с происходившими в стране изменениями.

В середине 90-х гг. атомная промышленность России начала стремительный



ПС-2000 в ЦУП
(тёмные стойки на дальнем плане)

выход на мировой рынок. Ряд стран (Иран, Индия, Китай и др.) проявили заинтересованность в приобретении отечественных энергоблоков с реакторами на лёгкой воде типа ВВЭР-1000. Возникла потребность в разработках и создании автоматизированных систем управления верхним блочным уровнем (СВБУ) ТП АЭС. В АСУ ТП АЭС должны быть реализованы алгоритмы контроля, управления и диагностики, система представления параметров безопасности АЭС, система регистрации важных параметров эксплуатации и др., выполнение которых является обязательным в соответствии с требованиями МАГАТЭ.

Создание принципиально новой системы управления верхним блочным уровнем (СВБУ) АЭС было поручено Институту проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Общее руководство работами вёл директор ИПУ РАН И.В. Прангишвили (ответственные исполнители – кандидаты, но будущие доктора технических наук М.А. Зуенков и А.Г. Полетыкин).

Был разработан математический аппарат, позволяющий создавать программные системы, основанные на логике нечётких множеств, язык программирования АБИС, программы генерации правил по данным моделирования сложных технологических процессов и нечёткие базы знаний для качественного моделирования. Был разработан ряд новых информационных технологий, которые могут применяться в различных областях, включая предприятия ТЭК, химические и другие производства.

По результатам исследований была разработана АСУ ТП АЭС, содержащая интегрирующую часть – вычислительную систему верхнего блочного уровня, которая централизует информационные потоки и предоставляет оперативному персоналу АЭС удобные, надёжные и быстрые средства управления АЭС.



**Михаил Анатольевич
Зуенков**



Блочный пульт управления АЭС с разработанной в Институте СВБУ

На основе новых информационных технологий контроля, управления и диагностики для АСУ АЭС была разработана система «Оператор», в которую входят: операционная система, SCADA-система, САПР и ряд комплексов программ для разработки, внедрения, обучения и сопровождения сложных распределённых информационно-вычислительных и управляющих систем. Были разработаны и исследованы методы анализа характеристик детерминированных систем с очередью для опреде-

ления предельных временных характеристик для АСУ ТП АЭС (к.т.н. В.Г. Промыслов).

В последние годы жизни И.В. Прангишвили занимался системным исследованием задач управления, пытаясь выявить системные закономерности в функционировании природных и общественных систем. Им был формализован процесс возникновения конфликтных и кризисных ситуаций в системе управления обществом, изучены способы смягчения их последствий. Была также разработана методика оценки сложности систем управления различной природы, экологизации науки и техногенных систем. Был предложен ряд закономерностей ограничительного характера, учёт которых в процессе управления повышает эффективность демпфирования конфликтов и минимизирует вероятность возникновения кризисных ситуаций.

С середины 2006 г. заведующим лаборатории № 31 стал доктор технических наук Алексей Григорьевич Полетыкин, работавший в ней с 1983 г. В настоящее время в лаборатории работает 42 сотрудника, из них 2 доктора технических наук и 9 кандидатов технических наук.

Деятельность лаборатории была продолжена в направлениях разработки и развития новых моделей, а также средств построения и методов управления функционированием распределённых автоматизированных систем управления (АСУ); разработки новых структур, сетевых информационных технологий для управления технологическими процессами, включая управление критически важными объектами (КВО): АСУ объектами атомной энергетики, управление стационарными и подвижными объектами морского флота, энергетики и системы мониторинга окружающей среды.

На основе современных информационных технологий была разработана система контроля, управления и диагностики «Оператор», в которую входят операционная система, SCADA-система, САПР и ряд программных комплексов для разработки, внедрения, обучения и сопровождения сложных распределённых информационно-управляющих систем. Основное значение придается приоритету кибербезопасности на всех этапах создания и эксплуатации системы управления объектами, в частности АСУ АЭС. Научные результаты этих работ реализованы в действующих АСУ АЭС: Бушер (Иран), Куданкулам (Индия).

Проводимые работы обеспечивают комплексный подход к построению крупномасштабных высокоэффективных информационно-управляющих и вычислительных систем, отвечающих жёстким требованиям по критериям энергоэффективности и кибербезопасности. Основная часть комплексов программ АСУ АЭС прошла аттестацию и получила разрешение на применение в атомной энергетике, в системах, важных для безопасности.



**Зав. лаб. № 31
Алексей Григорьевич
Полетыкин**

В настоящее время в лаборатории исследования проводятся в следующих основных направлениях:

- Развитие теории и новых технологий разработки распределённых информационно-управляющих систем для управления объектами повышенной опасности эксплуатации. Большое значение придается развитию методологии информационной (кибер) безопасности цифровых систем управления энергетическими объектами. (А.Г. Полетыкин, В.Г. Промыслов).

- Развитие концепции, принципов построения, методов и алгоритмов высоконадёжных кибербезопасных информационно-управляющих систем (ИУС) на основе когнитивных методов мониторинга угроз. (А.Г. Полетыкин).

- Развитие методов обеспечения кибербезопасности и киберустойчивости ИУС критически важных объектов (КВО). Определение политики кибербезопасности и разработка формальных моделей. Исследование и развитие методологии оценки и обеспечения кибербезопасности ИУС, в том числе исследование возможных вариантов создания внешней системы сопровождения ИУС для оценки рисков и ущерба от кибератак. Принципы построения и развития аналитического инструмента и средства для моделирования ИБ ИУС, позволяющего оценить кибербезопасность и повысить защищённость АСУ КВО от кибератак, а также найти места уязвимости в существующих АСУ КВО. (А.Г. Полетыкин, В.Г. Промыслов).

- Анализ и критическая оценка состава и функций существующих и успешно работающих АСУ АЭС 1-го поколения. Проведён анализ стандартов СВБУ, и выявлены новые требования, которые должны быть реализованы в СВБУ 2-го поколения в полном объеме на основе использования современных технологий *Industry 4.0*. Проанализированы способы защиты от киберугроз. Предлагается расширенная дискреционная модель передачи прав доступа (*take-grant*) для формального описания киберзащищённости АСУ КВО. (А.Г. Полетыкин, В.Г. Промыслов).



**Александр Иванович
Иванов**

- Исследование и разработка оптимальных методов программно-аппаратной реализации отказоустойчивых реконфигурируемых систем управления техническими средствами подводных и надводных кораблей и автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Исследование и разработка методов построения и структуры сетевых систем группового управления на основе беспроводных технологий с учётом жёстких эксплуатационных требований, включающих высокую экономическую эффективность, защищённость от внешних воздействий и угроз. Разработка концепции построения и реализации измерительно-вычислительных систем регистрации параметров объектов, требующих повышенной безопасности эксплуатации. (А.И. Иванов).



**Виталий Георгиевич
Промыслов**

- Сетевая экспертная деятельность (СЭД), которая в современную эпоху глобализации и цифровизации находит всё большее применение. СЭД связана с развитием новых идей для их воплощения в конкурентоспособные продукты. Наглядным примером может служить *DigitalCatapult* – среда корпоративной деятельности большого числа компаний и организаций, технических специалистов, творческих работников, представителей бизнеса и академических кругов. Новейшие решения в области аппаратной поддержки СЭД связаны с разработками гиперконвергентных систем, ориентированных на реализацию принципа «ИТ как услуга» (IT as a service, ITaaS). На этом фоне большую актуальность приобретает разработка приложений СЭД в рамках онтологической инженерии, поддерживающей прикладную настройку на уровне сервисов управления контентом, контекстом и дискурсом. В данном направлении эта проблема рассматривается применительно к приложениям мониторинга, развиваемым на платформе интернета вещей, социальных сетей и систем тотальной регистрации через Интернет всех этапов всех видов деятельности физических и юридических лиц. Основу предлагаемого подхода составляет использование стандартов обработки больших данных в контуре сетевой экспертной деятельности. (И.А. Степановская).

- Разработка методологии развития глобальной компьютерной среды (ГКС) как системно и функционально целостного кибернетического объекта. На основе массовых сетевых компьютеров с не микропроцессорной архитектурой разработаны принципы неограниченного наращивания функционала ГКС, открывающие возможности формирования в ГКС математически однородного, бесшовно программируемого и кибербезопасного алгоритмического пространства распределённых вычислений и сетевидного управления для целостного решения всего разнообразия сильно связанных задач цифровой экономики. (Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко).



**Юрий Семёнович
Затуливетер**

- На основе разработанной ранее в лаборатории архитектуры ПС-2000 исследование возможности создания масштабируемой многопроцессорной компьютерной архитектуры ПС-2000 М для однокристалльного воплощения в диапазоне от 130 до 10 нм, которая может стать основой построения новой отечественной элементной базы для высокопроизводительных вычислений в виде семейства программно совместимых однокристалльных компьютеров-ускорителей общего назначения. Структурная масштабируемость архитектуры ПС-2000 М обеспечивает её высокую эффективность и конкурентоспособность при переходе к перспективным технологиям глубокого нанометрового диапазона, что позволит размещать на кристалле более 2048 процессоров, обеспечивая, высокую производительность на одном кристалле. Семейство ПС-2000 М предназначено для создания расширяемой номенклатуры высокопроизводительных вычислительных систем двойного назначения в широких диапазонах применений от мобильных компьютерных устройств и встраиваемых систем до суперкомпьютеров. (Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко).

- Корпусной подход к идентификации социальных и экологических явлений.

- Моделирование крупномасштабных систем на основе понятийного анализа предметной области. Динамическое управление процессами на основе совмещённых сетей управления и данных. Представление и обработка знаний в формализме понятийных моделей. Разработка и применение проблемно- и предметно-ориентированных языков в рамках контекстной технологии программирования. (В.С. Выхованец).
- Развитие информационно-диагностической системы анализа и распознавания микроизображений медико-биологических объектов, организации системы мониторинга состояния и процесса лечения больных, включая системы сбора, группировки и обработки результатов наблюдений для решения задач диагностики, прогнозирования и управления лечебными процессами с целью применения их в повседневной работе практикующих врачей медицинских учреждений. (Г.М. Попова).

Лаборатория участвует в выполнении грантов РФФИ, программ Российской академии наук и большого числа хоздоговоров (в частности, выполняет договора по разработке систем управления для зарубежных АЭС).

Лаборатория участвует в НИР ГК «Роскосмос», выполняет работы в интересах МО и других ведомств.

Лаборатория принимает активное участие в организации и проведении научных семинаров, школ и конференций. В течение ряда лет проводилась организованная лабораторией школа «Многопроцессорные вычислительные системы. Однородные структуры». Лаборатория является одним из организаторов международных конференций: «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD)», «Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО)», «Технические и программные средства систем управления, измерения и контроля (УКИ)»; международной конференции-совещания «Новые технологии АСУ ТП АЭС» и других, близких по тематике конференций и семинаров.

Сотрудники лаборатории представляют интересы РФ в Международной электротехнической комиссии (МЭК), Международном агентстве по атомной энергии (МАГАТЭ), участвуют в разработке российских и международных стандартов.

ЛАБОРАТОРИЯ № 33

УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ



**Зав. лаб. № 33
Анатолий Данилович
Цвиркун**

Лаборатория управления развитием крупномасштабных систем под руководством доктора технических наук, профессора Анатолия Даниловича Цвиркуна создана в 1980 г.

Основное направление научной деятельности лаборатории – исследование проблем синтеза и управления развитием крупномасштабных систем, базирующееся на широком применении методов математического моделирования и программных средств вычислительной техники.

В лаборатории создано и развивается научное направление управления развитием крупномасштабных систем, заложены методологические основы теории анализа и синтеза структур крупномасштабных систем. Выполнен ряд исследований по проектированию и построению крупномасштабных систем, имеющих приоритетный характер. В том числе разработаны: агрегативно-декомпозиционный подход к проектированию

структур сложных (крупномасштабных) систем; методология построения комплексов взаимосвязанных моделей оптимизации планирования развития и функционирования крупномасштабных социально-экономических и технических систем; итеративные процедуры планирования развития крупномасштабных систем на уровне их макроэкономического описания для исследования магистральных свойств таких систем.

Крупномасштабные системы – это класс сложных (больших) систем, характеризующихся комплексным (межотраслевым, межрегиональным) взаимодействием элементов, распределённых на значительной территории, требующих для развития существенных затрат ресурсов и времени.

Типичные примеры крупномасштабных систем: топливно-энергетический комплекс и отдельные его отрасли, транспортные, аграрно-промышленные, территориально-промышленные, региональные и отраслевые системы, холдинги, концерны, финансово-промышленные группы, транснациональные корпорации, распределённые системы передачи и обработки информации и другие комплексы.

Основные особенности крупномасштабных систем:

Значительные затраты ресурсов и времени на развитие систем, заблаговременность инвестиционных мероприятий может составлять несколько лет;

Тесная взаимосвязь с другими крупномасштабными системами и с окружающей средой;

Комплексный характер управления (в частности, требуется согласование государственных и частных, отраслевых, корпоративных и региональных интересов);

Другие характеристики сложных (больших) систем:

Для крупномасштабных систем оказывается невозможным описание их свойств и особенностей на одном уровне детализации, поэтому такие системы представляются в виде взаимосвязанной совокупности элементов различных уровней детализации и этапов развития производственных и транспортных объектов и т.д.

Учёт динамики развития элементов требует совместного использования оптимизационных и имитационных моделей, итеративных процедур выбора рациональных вариантов развития системы.

Научные исследования лаборатории реализованы в крупномасштабных системах и проектах, имеющих важное народно-хозяйственное значение, что позволило улучшить технико-экономические и тактико-технические характеристики их создания и функционирования.

Важные научные результаты:

Разработаны подходы к построению методологии, моделей и методов управления развитием крупномасштабных систем с учётом динамики их развития и функционирования подсистем и элементов.

На основе развиваемого в лаборатории агрегативно-декомпозиционного подхода к построению комплексов взаимосвязанных моделей оптимизации применительно к исследованию механизмов формирования плановых решений в многоуровневой распределённой системе разработаны методологические основы построения комплекса моделей и процедур при решении задач планирования, в том числе оптимального размещения заказа по производственным элементам совместно с выбором вариантов реконструкции и развития их производственных мощностей; формирования планов рационального ресурсообеспечения с учётом схемы комплектации; определение оптимальной степени локализации при создании технологически сложных систем, управление глобальными цепочками создания стоимости, проблемы критических ситуаций в человеко-машинных системах.

Проведены исследования по разработке теории, моделей и методов формирования программ развития крупномасштабных систем производственно-транспортного типа. Предложены и исследованы стохастические модели планирования развития крупномасштабных систем, позволяющие учесть на этапе формирования программ развития неопределённость в исходной информации.

Специалистами лаборатории исследованы методы формирования программ развития крупномасштабных систем с учетом надёжности и риска, основанные на итеративном взаимодействии оптимизационных и имитационных моделей.

Проведены исследования, связанные с оптимизационными моделями экономической динамики. Полученные результаты позволяют обозначить рамки применимости классической магистральной теории. Теоретические результаты подкреплялись расчётами по динамической стационарной модели межотраслевого баланса. Исследованы модели динамического равновесия.

В настоящее время в лаборатории разрабатываются методология, модели, методы и алгоритмы стратегического планирования и управления с учётом динамики развития и функционирования подсистем и элементов.

Рассмотрена задача анализа и выбора управленческих инвестиционных решений компаний в конкурентной среде и в условиях неопределенности спроса на их продукцию. Построены математические модели, описывающие инвестиционное поведение компаний на рынке олигополии. Задача сводится к анализу динамической матричной игры, в которой матрица выигрышей формируется в результате численного моделирования.

Приведены результаты практического использования предлагаемого подхода для моделирования конкуренции, анализа и выбора инвестиционных стратегий нефтяных компаний с традиционным и нетрадиционным способами добычи нефти. На основе проведённых расчётов на реальных данных глобального нефтяного рынка дан прогноз динамики цен на среднесрочную перспективу.

Построена модель управления инфляцией, которая позволяет рассчитать влияние инфляции на экономику и программы развития крупномасштабных региональных и производственно-транспортных систем. На её основе получены показатели равновесия на рынке благ при наличии инфляции, потребительского спроса, условия равновесия на рынке денег, оценки производственного капитала. Разработаны аналитические зависимости по регулированию рыночного равновесия и проведены расчеты для экономических регионов РФ.

Разработан и успешно внедряется в различных отраслях промышленности, бизнес-структурах, малом и среднем бизнесе программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ» – профессиональная система для финансового анализа и разработки бизнес-планов инвестиционных проектов. «ТЭО-ИНВЕСТ» предназначен для анализа и обоснования инвестиционных проектов, включая оценку эффективности реорганизации и модернизации производства, строительства новых промышленных предприятий и внедрения технологий.

Специалисты лаборатории совершенствуются в области стратегического управления, технико-экономических исследований, построения компьютерных систем оценки инвестиционных проектов и программ. Они осуществляют подготовку инвестиционных предложений, разработку и экспертизу бизнес-планов инвестиционных проектов и программ с использованием международных методик и компьютерных систем для отечественных и зарубежных пользователей.

Лабораторией проведены работы по технико-экономическим расчётам и синтезу бизнес-планов инвестиционных проектов и программ в следующих областях: строительство крупных городских комплексов, реконструкция и модернизация действующих промышленных предприятий в области добычи и переработки нефти, пищевой промышленности, производства минеральных удобрений, машиностроения и переработки сельскохозяйственной продукции, а также создание ряда новых производств.

Выполнены разработки «концепций развития» и/или «программ развития» для Министерства путей сообщения, Минэкономики, ОАО «Газпром», ОАО «РЖД» и других организаций и ведомств.

Разработанные научные основы синтеза и управления развитием структур сложных систем опубликованы в монографиях «Основы синтеза структуры сложных систем» («Наука»), «Моделирование развития крупномасштабных систем» («Экономика»), «Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем» («Наука»), «Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития» («Наука»), «Анализ инвестиций. Методы и инструментальные средства» («Ось-89»), «Управление развитием крупномасштабных систем» («Физматиздат»).

В последнее время получены новые научные результаты, в том числе разработаны многоуровневые схемы оптимизации и процедуры согласования решений для агрегированных и детализированных моделей управления развитием крупномасштабных систем. Рассмотрены также прикладные вопросы оптимизации инвестиционных программ развития производственных систем с использованием программно-инструментальных средств, разработанных лаб. № 33. Для выбора и оптимизации инвестиционных программ развития производственных систем разработан имитационно-оптимизационный подход, который подразумевает построение комплекса взаимосвязанных имитационных, оптимизационных и расчётных моделей.

На базе лаборатории возникли другие самостоятельные подразделения Института. Бывшие сотрудники лаборатории работают сейчас в крупных зарубежных научных центрах США, Канады, Израиля и др.

Лаборатория – организатор проведения международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD), которая является продолжением конференций, семинаров и школ, ранее организовывавшихся Институтом с 1979 г.: Звенигород (1979, 1985, 1990), Саратов (1980, 1986, 1989), Ташкент (1981, 1987), Киев (1985), Рига (1986), Харьков (1986), Батуми (1988), Херсон (1989) и др. Первый семинар состоялся в 1979 г., председателем Программного комитета был академик В.А. Трапезников, последняя конференция состоялась в 1990 г., председателем Программного комитета был И.В. Прангишвили.

Конференция возобновила проведение семинаров и обсуждений по данной проблематике в 2007–2018 гг., она проводится в Институте проблем управления РАН, председатель Программного комитета – академик С.Н. Васильев.

После значительного перерыва тематика управления развитием крупномасштабных систем вновь становится востребованной. Теперь конференция стала ежегодной и помогает объединять усилия научных сотрудников, занятых проблематикой управления развитием крупномасштабных систем.

К настоящему времени сотрудниками лаборатории опубликовано более 1000 работ, в том числе 23 монографии.

ЛАБОРАТОРИЯ № 37

СИСТЕМ С РАЗРЫВНЫМИ УПРАВЛЕНИЯМИ



**Зав. лаб. № 37
Антон Викторович
Уткин**

Лаборатория (с её нынешним названием) создана в 2017 г. в результате реорганизации инициативной группы под неформальным руководством д.т.н., проф. Виктора Анатольевича Уткина. Научные интересы этой группы лежат в области фундаментальной, классической теории управления в технических системах, а задачи, развиваемые в течение четверти века, определили тематику новой лаборатории – методы анализа и синтеза систем с разрывными управлениями, функционирующих в скользящем режиме. В настоящее время в лаборатории работают к.т.н. Антон Викторович Уткин (заведующий лабораторией), доктора наук Светлана Анатольевна Краснова, Сергей Александрович Кочетков, Виктор Анатольевич Уткин (недавно перешёл в лаб. № 16) и другие сотрудники. Кроме того, в научной работе постоянно участвуют аспиранты и дипломники. На сегодняшний день лаб. № 37 представляет собой молодой и

динамично развивающийся коллектив.

Особенность рассматриваемых в лаб. № 37 постановок и решения задач управления связаны с использованием методов теории систем с разрывными управлениями и декомпозиционных методов синтеза с созданием разнотемповых движений в замкнутых системах. В рамках этих подходов решаются фундаментальные задачи теории управления – синтеза обратной связи и построения наблюдателей состояния различных видов. Для решения первой задачи разработан блочный подход в управлении (в задачах стабилизации, обеспечения инвариантности к внешним возмущениям, слежения, автономности), для решения второй – каскадный метод синтеза наблюдателей состояния для линейных и нелинейных многомерных динамических систем, функционирующих в условиях неопределённости и при действии внешних несогласованных возмущений.

В рамках указанных методов решены следующие фундаментальные проблемы теории управления:

➤ Разработаны концепция, методология и процедуры декомпозиционного синтеза инвариантных систем слежения для линейных и нелинейных многомерных, многоканальных объектов автоматического управления, функционирующих в условиях действия внешних неконтролируемых возмущений, неполных измерений и неопределённости целевого условия. Впервые в мировой практике введены: понятие и принципы организации совместной блочной формы наблюдаемости и управляемости относительно выходных переменных с учётом внешних возмущений различных типов; комплексный подход к оцениванию смешанных переменных без выделения отдельных подзадач наблюдения не измеряемых переменных

вектора состояний и внешних воздействий. Реализация данных методов позволяет: упростить структуру регулятора; существенно снизить требования к объёму априорной информации об объекте управления и среде его функционирования; расширить класс систем, в которых можно обеспечить асимптотическую сходимость выходных переменных к заданным траекториям без расширения пространства состояний за счёт ввода экзогенных динамических моделей возмущающих и задающих воздействий. Полученные результаты вносят весомый вклад в развитие фундаментальной проблемы регулирования выходных переменных многоканальных объектов управления, функционирующих в условиях неопределённости и неполных измерений.

➤ В рамках блочного подхода разработаны концепция, методология и процедуры декомпозиционного синтеза робастных регуляторов для практически значимого класса линейных стационарных систем, в которых при изменении параметров известных диапазонов сохраняются структурные свойства управляемости, определяемые номинальной системой. Впервые в мировой практике для указанного класса систем разработаны конструктивные декомпозиционные процедуры синтеза обратной связи, обеспечивающие заданную степень устойчивости замкнутой системы при всех допустимых значениях неопределённых параметров. Разработанные методы достаточно универсальны, так как опираются на структурные свойства управляемости оператора объекта управления.

Их распространение на нестационарные линейные системы, а также на некоторые классы нелинейных систем может составить основу нового научного направления по структурному синтезу робастных регуляторов.



**Виктор Анатольевич
Уткин**



**Светлана Анатольевна
Краснова**

➤ Разработаны декомпозиционные процедуры синтеза систем управления техническими объектами, функционирующими в условиях неопределённости и при неполных измерениях: роботами–манипуляторами, электроприводами различного типа, двигателями внутреннего сгорания, летательными аппаратами. Использование каскадных наблюдателей состояния для информационного обеспечения базовых законов комбинированного управления позволило обеспечить высокую динамическую точность систем управления различными режимами работы указанных объектов при действии внешних возмущений, неопределённости целевого условия и неполном комплекте измерительных устройств (что подтверждено результатами моделирования), а реализация комплексного подхода к проблеме

наблюдения существенно упростило структуру регулятора. Каждая система управления разрабатывалась с учётом особенностей конкретного объекта управления. В то же время можно говорить о создании единой методологии и принципиально новых, универсальных и эффективных подходов к синтезу систем управления широ-

ким классом сложных технических объектов автоматического управления, функционирующих в условиях неопределённости.

➤ Применительно к линейным системам решены задачи идентификации неизвестных параметров объекта управления с использованием теории разрывных систем. В частности, решена задача восстановления характеристического полинома линейной многомерной системы с одним входом и одним выходом при полной параметрической неопределённости по измерениям только выходной переменной. Задача идентификации решена также для линейных систем при релейных измерениях за счёт подачи на вход объекта управления вибролинеаризирующего сигнала и сведения задачи наблюдения на низких частотах к непрерывному случаю.



**Сергей Александрович
Кочетков**

➤ Разработаны концепция, методология и процедуры каскадного синтеза наблюдателей состояния динамических систем, позволяющие с единых позиций проводить анализ разрешимости задачи наблюдения и реализовывать метод декомпозиции при синтезе наблюдателей состояния для широкого класса линейных и нелинейных многомерных динамических объектов управления, функционирующих в условиях действия внешних возмущений и параметрической неопределённости оператора объекта управления. Впервые в мировой практике разработаны: методы решения задачи наблюдения нелинейных систем при действии внешних возмущений различного типа без ввода экзогенных динамических моделей, имитирующих действие внешних возмущений; декомпозиционные методы синтеза наблюдателей состояния и с непрерывными, и с разрывными корректирующими воздействиями, функционирующими в скользящем режиме. В отличие от стандартных подходов разработанные подсистемы наблюдения обладают свойствами робастности к параметрической неопределённости и инвариантности к действию внешних возмущений, не требуют детализированной математической модели объекта управления, а также перенастройки в зависимости от наличия/отсутствия внешних возмущений. Реализация данных методов позволила существенно расширить класс систем, по выходным переменным которых с помощью наблюдателей состояния указанных типов можно восстановить в реальном времени значения не только неизмеряемых переменных вектора состояний, но и внешних возмущений. Полученные результаты вносят весомый вклад в развитие фундаментальной проблемы наблюдения в нелинейных динамических системах.

➤ Разработан новый класс систем с обратной связью и наблюдателей состояния за счёт введение S-образных локальных обратных связей и непрерывных корректирующих воздействий наблюдателей в виде сигма-функций. Использование таких нелинейных управлений позволяет, во-первых, учесть ограничения на управления и фазовые переменные на стадии синтеза регуляторов и наблюдателей состояния и, во-вторых, обеспечить заданную точность регулирования и оценивания за счёт увеличения коэффициентов в цепи обратной связи и корректирующих воздействий в наблюдателе с сохранением декомпозиция общего движения на разнотемповые составляющие.

- Разработаны концепция, методология и процедуры декомпозиционного синтеза инвариантных систем слежения для линейных и нелинейных многомерных, многоканальных объектов автоматического управления, функционирующих в условиях действия внешних неконтролируемых возмущений, неполных измерений и неполной информации о задающих воздействиях. В основе разрабатываемых подходов лежат понятие и принципы организации совместной блочной формы наблюдаемости и управляемости относительно выходных переменных с учётом внешних возмущений различных типов, необходимые и достаточные условия её существования и пошаговые процедуры её получения.
- В рамках блочного подхода разработаны концепция, методология и процедуры декомпозиционного синтеза робастных регуляторов для практически значимого класса линейных стационарных многомерных систем, в которых при изменении параметров в известных диапазонах сохраняются структурные свойства управляемости, определяемые номинальной системой. Впервые в мировой практике для указанного класса систем разработаны конструктивные процедуры синтеза обратной связи, обеспечивающие:
 - заданную степень устойчивости замкнутой системы при всех допустимых значениях неопределённых параметров;
 - выполнение заданных ограничений на диапазоны изменения фазовых переменных при использовании сигмоидальных локальных связей.
- Получены уникальные результаты по теории инвариантности к неизвестным не согласованным (не принадлежащим пространству управлений) возмущениям с использованием релейно-непрерывных управлений. Разработанный VORTEX-алгоритм применим как в цепи обратной связи, так и в устройстве наблюдения.
- Предложены подходы к компенсации неустранимых неидеальностей разрывных управления (типа гистерезиса) за счёт подачи на их вход дополнительного высокочастотного сигнала. Получаемый эффект вибролинеаризации позволяет использовать методы синтеза непрерывных управлений на низких частотах.
- С использованием блочной структуры управляемых и наблюдаемых линейных систем получены методы оптимизации (минимизации) коэффициентов обратной связи за счёт выбора собственных чисел и векторов в задаче модального управления с заданным запасом устойчивости.

Сотрудниками лаборатории решён ряд прикладных задач:

- Разработаны методы синтеза электроприводов различного типа, в частности, бездатчиковых электроприводов (без использования датчиков механических переменных).
- Предложены методы решения задач управления роботами-манипуляторами с учётом динамики исполнительных устройств (электроприводов) при неполных измерениях компонент вектора состояния и при наличии параметрических и функциональных неопределённостей в модели объекта управления.
- Разработаны алгоритмы управления мобильным роботом в задаче отработки заданной траектории движения.
- Разработана система управления топливоподачей в двигателях внутреннего

сгорания (ДВС) по показаниям релейного λ -зонда, что включает построение наблюдателя состояния параметров воздушного тракта ДВС по измерению давления во впускном трубопроводе (внедрена в учебный процесс в МАДИ, а также использована в ООО «НПП ЭЛКАР» (г. Москва) при разработке микропроцессорных систем управления двигателями отечественных автозаводов; использована при создании программного обеспечения контроллеров семейства «Январь» на ОАО АВТОВАЗ (г. Тольятти)).

➤ Оригинальные алгоритмы параметрической идентификации были использованы при разработке опытного образца портативного профилометра (проект «Исследование, разработка и изготовление экспериментального образца портативного профилометра для оперативного контроля микрогеометрии поверхности в производственно-цеховых условиях», № гос. регистрации НИР 0120.0950414).

➤ алгоритмы каскадного синтеза обратной связи использованы при разработке системы управления манипуляционным роботом в РКК «Энергия» им. С.П. Королёва (г. Королёв Московской обл.).

➤ Методология синтеза устройств наблюдения использована в разработке бездатчиковых асинхронных электроприводов на ГУП СПО «Арктика» (г. Северодвинск).

➤ Разработана авторская программа спецкурса «Декомпозиционные методы анализа и синтеза систем автоматического управления», которая внедрена в учебный процесс МГТУ им. Н.Э. Баумана.

➤ В рамках блочного подхода предложено решение комплекса задач управления парогенератором – турбоагрегатом в условиях параметрической неопределённости модели объекта управления, действия внешних неконтролируемых возмущений и при неполных измерениях вектора состояния.

➤ Создан макет управления комплексом двигатель-ременная передача-перевёрнутый маятник в рамках комплексных прикладных работ робототехнического кластера ИПУ РАН.

➤ Разработаны основные методологические положения, а также связанные с ними формализованные методы и модели управления системой обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний ФСС РФ. Разработанный комплекс математических методов в значительной мере восполняет имеющийся пробел в области разработки научно-методических и прикладных основ обеспечения эффективного функционирования системы обязательного социального страхования в условиях рыночной экономики.

В лаборатории действует молодёжная научная школа (руководитель – В.А. Уткин).

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 400 статей и 6 монографий.

ЛАБОРАТОРИЯ № 38

УПРАВЛЕНИЯ ПО НЕПОЛНЫМ ДАННЫМ

Лаборатория была образована в 1968 г. в результате реорганизации самостоятельной группы № 38 во главе с доктором технических наук, профессором Александром Михайловичем Петровским, который и возглавил лабораторию. Эта группа была создана по инициативе Якова Залмановича Цыпкина. В её состав вошли два коллектива научных сотрудников, до этого момента работавших в лабораториях Я.З. Цыпкина и А.А. Фельдбаума. Такое происхождение на долгие годы вперёд обусловило выбор направлений исследований вновь образованной лаборатории и высочайшие требования к их уровню.

Первыми из тех, кто внёс большой вклад в становление и развитие лаборатории, стали А.М. Петровский, В.Н. Новосельцев (впоследствии д.т.н., проф.), Н.А. Кузнецов (ныне академик РАН), Р.Ш. Липцер (впоследствии д.т.н., проф., профессор Тель-Авивского университета, Израиль).

Первоначальная тематика лаборатории – теория информации и математическое моделирование, управление наблюдениями в стохастических системах и управление подвижными объектами в условиях неполноты информации. Кроме того, с середины 60-х годов велись совместные работы с Институтом сердечно-сосудистой хирургии по созданию искусственного сердца (руководитель – академик РАМН В.И. Шумаков).

В последующие годы лаборатория пополнилась ещё двумя коллективами. В 1971 г. в её состав были включены сотрудники группы В.Н. Вапника – А.Я. Червоненкиса, до этого работавшие в лаборатории А.Я. Лернера. Наконец, в 1977 г. к лаборатории присоединилась группа И.А. Любинского из лаборатории Н.В. Позина. Тематика исследований каждой из этих групп стала составной частью тематики лаборатории. Долгие годы (с 1993 по 2017 гг) лабораторией руководил д.т.н. Евгений Петрович Маслов. В настоящее время лабораторией руководит член-корреспондент РАН Андрей Алексеевич Галяев.

Основным направлением исследований лаборатории стала разработка теории и методов управления системами техногенной, биологической и социальной природы, функционирующими в условиях неполноты информации.

Традиционно лаборатория занималась задачами управления подвижными объектами. В 60-70-е годы проводились исследования, связанные с оптимальным управлением наблюдениями в задачах наведения снарядов на маневрирующие цели (А.М. Петровский, Н.А. Кузнецов, Е.П. Маслов, Е.Я. Рубинович – ныне д.т.н.,



**Основатель
и первый зав. лаб. № 38
Александр Михайлович
Петровский**

проф., г.н.с.). В 1980 г. за цикл работ по управлению наблюдениями и оптимизации движения динамических объектов в условиях неполноты информации и противодействия Е.Я. Рубиновичу была присуждена Премия Ленинского комсомола.

Дальнейшим развитием стали исследования, связанные с формализацией и решением задач противодействия подвижных объектов в условиях искусственно организованной неполноты информации. Подобные задачи возникают в широко распространённых на практике ситуациях, когда одна из участвующих в конфликте сторон использует для срыва действий противника средства радиоэлектронного противодействия. Искусственная неполнота информации организуется путём постановки ложных целей, имитирующих характеристики основного объекта, и/или подавлением каналов наблюдений.

Было предложено моделировать противодействие подвижных объектов дифференциально-игровыми и оптимизационными задачами преследования-уклонения групповой цели и дифференциально-игровыми и оптимизационными задачами поиска активно противодействующих подвижных объектов (поиск в условиях конфликта).

В ходе исследований были формализованы для целей управления понятия ложной и групповой цели, впервые сформулированы, введены в научный оборот и решены дифференциальные игры совместного и поочередного преследования с групповой целью (В.К. Ольшанский, Е.Я. Рубинович). Было показано, что в дифференциальных играх поочередного преследования вектор управлений преследователя имеет специфическую структуру: он содержит собственно закон управления



**Роберт Шевилевич
Липсер**

траекторией подвижного объекта и правило выбора очередности встреч с целями. Была предложена математическая формализация схемы выбора и решены дифференциальные игры с программным (Е.Я. Рубинович) и позиционным (Е.П. Маслов, Е.Я. Рубинович) выбором очередности. Было проведено сравнение ряда законов преследования при полностью и частично известном фазовом векторе групповой цели, найдены стратегии поиска в условиях конфликта, реализующие седловую точку. Данный класс задач составил новый раздел теории конфликтно-управляемых процессов.

В настоящее время в лаборатории ведётся разработка методов поиска-наведения-уклонения подвижных объектов, функционирующих в конфликтной среде (А.А. Галяев, Е.Я. Рубинович). Это направление интенсивно развивается в мире в связи с широким применением беспилотных аппаратов.

Теоретические результаты были использованы при решении задач управления подвижными объектами морской и ракетной техники.



Евгений Петрович Маслов



Зав. лаб. № 38
Андрей Алексеевич Галеев

Второе направление, управление в сложных медико-биологических системах, возникло по инициативе А.М. Петровского в середине 60-х годов.

В рамках этих исследований в 60-70-х годах был проведен анализ гомеостатических систем в организме человека и животных (В.Н. Новосельцев). Одновременно выполнялся цикл исследований по инженерной физиологии – математическому моделированию систем искусственного жизнеобеспечения (искусственное сердце, искусственная поджелудочная железа) и систем защитного снаряжения (терморегуляция у водолазов на континентальном шельфе).

С конца 60-х годов под руководством А.М. Петровского начались работы по математическому моделированию процессов развития популяции опухолевых клеток. Работы проводились совместно с Медицинским радиологическим научным центром РАМН (г. Обнинск), Институтом экспериментальной химиотерапии Российского Онкологического научного центра РАМН, Институтом биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН. В результате были созданы математические модели, адекватно описывающие развитие опухолевого процесса без лечения (к.т.н. Е.Л. Оркина), после лучевого воздействия (чл.-корр. РАМН В.К. Иванов) и после введения химиотерапевтических препаратов (к.б.н. Н.А. Бабушкина). Разработанные математические подходы позволяют получать зависимости «доза – эффект» для расчёта оптимальной стратегии лечения по различным критериям. Для оценки эффективности лечения были сформулированы критерии, учитывающие не только действие препаратов на опухолевые клетки, но и степень токсического поражения организма. Разработанные математические модели развития опухолевого процесса используются для исследования стратегии лечения онкологических заболеваний новыми методами, основанными на применении магнитных управляемых наночастиц с носителями, в качестве которых могут быть различные противоопухолевые препараты или антигены.

В начале 90-х годов была решена задача междисциплинарного моделирования сложных медико-биологических систем, нашедшая применение в токсикологии при анализе острых отравлений ядами. Было проанализировано воздействие на организм яда бледной поганки, хлора, аммиака, полония 210. В этом направлении основное внимание уделялось моделированию катастроф в сложных системах, причём смерть организма рассматривалась в качестве одного из вариантов катастрофы.

На рубеже веков, по инициативе д.ф.-м.н. А.И. Яшина, в лаборатории начались работы по комплексному исследованию механизмов и процессов старения и смертности у различных видов животных и человека. Этими проблемами занялась группа учёных во главе с В.Н. Новосельцевым и А.И. Михальским, которые в 2008 г. приняли участие в работе общественной организации «За увеличение



Василий Николаевич
Новосельцев

продолжительности жизни» и подготовили раздел для общероссийской программы «Наука против старения». Сегодня под руководством А.И. Михальского продолжается изучение и моделирование воздействия различных факторов на жизнедеятельность и жизнеспособность сложных систем (организмов и популяций); в частности, анализируется влияние репродуктивного поведения организмов на продолжительность их жизни.

Применение управленческого подхода при анализе продолжительности жизни позволило сформулировать, проверить и предложить биологам новые гипотезы о пределах внутривидовой продолжительности жизни и причинах различия продолжительности жизни у мужчин и женщин.



**Анатолий Иванович
Михальский**

Проблематика управления здравоохранением была поставлена в 70-е годы самим А.М. Петровским и группой его сотрудников (А.А. Клементьев, И.И. Толмасская, В.К. Ольшанский, П.И. Кицул, А.И. Яшин). Эти работы вызвали широкий международный научный резонанс и частично велись в Международном институте прикладного системного анализа ИААА (Вена, Австрия) в рамках проекта «Народонаселение».

По мере накопления опыта работы с объектами, включёнными в систему здравоохранения, и решения задач на уровне популяций, расширился круг проблем, исследуемых в лаборатории в направлении, которое можно сформулировать как управление в слабо формализованных системах. К данному кругу относится мониторинг группового здоровья и выделение групп повышенного риска по заболеваемости и потере здоровья (Л.А. Дартау). Для целей мониторинга и оценки медико-социального благополучия населения в лаборатории были разработаны компьютерная технология и система «ЭДИФАР» («Экспертный диалог для исследования факторов риска»). Система установлена в ряде регионов РФ. В дальнейшем эти работы привели к разработке новых принципов организации управления здоровьем, характеризующихся тем, что сам человек становится активным элементом системы управления. В настоящее время эти принципы практически внедряются в жизнь на муниципальном уровне.

В лаборатории разрабатываются методы анализа здоровья популяции, или, в более широком смысле, её состояния (д.б.н. А.И. Михальский). Развитие теоретических методов, позволяющих корректно осуществлять индивидуальный прогноз на основании наблюдений за популяцией, затрагивает область решения некорректных обратных задач, неклассическую статистику и оформилось в теорию анализа неоднородных популяций (А.И. Михальский, А.И. Яшин). Новое направление исследований связано с междисциплинарным моделированием процессов жизнеобеспечения (Ж.А. Новосельцева), стохастическим моделированием течения заболеваний (А.И. Калинин), анализом сигналов ЭКГ (В.П. Горлищев), поиском генетических закономерностей возникновения онкологических заболеваний (В.В. Цурко, И.В. Петров).

Современные достижения биологии и медицины ставят новые задачи, успешно решаемые в лаборатории. В настоящее время ведутся исследования, связанные с поиском факторов риска потери здоровья в пожилом возрасте, анализом эволюци-

онно сложившихся механизмов сохранения жизнеспособности человека и других живых организмов. Задачи по оценке эпидемиологических рисков и рисков для здоровья при радиационном воздействии (А.И. Михальский) решаются при активном участии ведущих отечественных и зарубежных центров (Медицинский радиологический научный центр РАМН, г. Обнинск; Гейдельбергский университет, Германия). Получены результаты, демонстрирующие роль, необходимость и социальную значимость ранней профилактики здоровья, эволюционную оптимальность соотношения фаз развития и размножения живых организмов и воздействие изменения этого соотношения на продолжительность жизни.

Современные мировые тенденции в народонаселении, связанные с быстрым ростом продолжительности жизни в экономически развитых странах и увеличением доли лиц сверхстарых возрастов, также отражены в тематике исследований по направлению «Математическое моделирование процессов в популяциях» (В.Н. Новосельцев, Ж.А. Новосельцева, А.И. Михальский). В этих работах математическими методами проводится анализ геронтологических (связанных со старением) процессов в отдельных организмах и на уровне популяции. Эти работы ведутся в сотрудничестве с Институтом демографических исследований (г. Росток, Германия), Университетом Дюка (г. Дюрам, США), Калифорнийским Университетом (г. Дэвис, США). Результаты исследований отражены в коллективной монографии «Геронтология *in silico*: становление новой дисциплины. Математические модели, анализ данных и вычислительные эксперименты», вышедшей в 2007 г. под редакцией Г.И. Марчука, В.Н. Анисимова, А.А. Романюхи, А.И. Яшина.

К этому же направлению примыкают исследования, связанные с анализом акустических и речевых сигналов (А.С. Колоколов) и разработкой принципов построения технических систем для управления физическими характеристиками воздуха на объектах с искусственной средой обитания (А.Ю. Мещеряков).

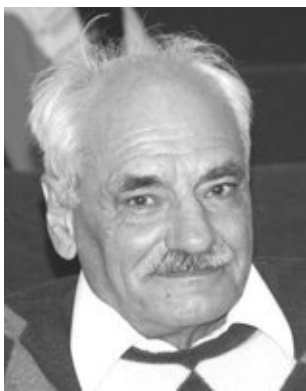
В работах А.С. Колоколова исследуется восприятие акустического сигнала, разрабатываются методы частотного анализа и обработки акустического сигнала в частотной области, устойчивые к частотным искажениям и фоновым шумам. Предложены методы обработки, анализа и исследования акустических признаков речевого сигнала. Разработан и запатентован способ неразрушающей акустической диагностики лопаток газотурбинного авиационного двигателя. Методология анализа акустического сигнала нашла применение в ряде внедренческих проектов в области диагностики состояния летательных аппаратов.

В рамках исследований, проводимых А.Ю. Мещеряковым, получены новые результаты, основанные на комплексном учёте взаимодействия разнополярных аэроионов на объектах с искусственной средой обитания и действия их на организм человека. Создан научный и технический задел в области построения, использования и исследования новых технических средств, предназначенных для искусственной генерации отрицательных аэроионов воздуха. Разработаны способ и устройство для его реализации, используемые при создании базовых систем управления средой обитания гермозамкнутых объектов. Устройство, получившее название «ИАТ-АЛМАЗ», демонстрировалось на выставках в Вашингтоне, Париже, Генуе, защищено патентом РФ и рекомендовано Комитетом по новой медицинской технике МЗ РФ к практическому использованию. Его промышленные образцы внедрены на различных объектах в России и за рубежом.

После 1971 г. в лаборатории возникло ещё одно направление исследований – создание теории и алгоритмов машинного обучения. Это задачи обучения распознаванию образов, машинная диагностика, задачи восстановления зависимостей и построения моделей сложных объектов по эмпирическим (статистическим, экспериментальным) данным.

Предложенные алгоритмы распознавания образов связаны с методом обобщённого портрета, разработанного В.Н. Вапником и А.Я. Червоненкисом в 1964-1974 гг. Теоретические исследования основывались на фундаментальном результате – условиях равномерной сходимости частот к вероятностям по классу событий (опубликованы с доказательством в 1971 г.). Аналогичные условия были получены для равномерной сходимости средних к математическим ожиданиям по семейству случайных величин. Из оценок равномерной сходимости следует, что чем более обширен (сложен) класс решающих правил (или моделей), тем больший объём данных обучения требуется для получения приемлемого результата. Была найдена мера объёма (сложности) класса в явном виде и оценка качества решения в зависимости от результата, полученного на материале обучения, а также от длины обучающей выборки и сложности модели. Это позволило поставить задачу выбора оптимального уровня сложности модели.

Комплекс программ, реализующих метод обобщённого портрета с применением структурной минимизации риска, был разработан совместно с Всесоюзным онкологическим центром АМН СССР и использован при решении ряда задач медицинской диагностики и выделении групп риска.



**Алексей Яковлевич
Червоненкис**

Важная прикладная область работ, проводившихся под руководством А.Я. Червоненкиса – построение моделей крупных рудных месторождений по данным геологической разведки. В 1980–1985 гг. совместно с Институтом геологии рудных месторождений АН СССР была создана система для оптимального автоматического контурирования руд по данным эксплуатационной разведки и для построения сортовых планов в ходе отработки месторождений. Эта работа была отмечена Государственной премией СССР за 1987 г. В 1997–2001 гг. совместно с фирмой «ИНТЕГРА» разработан комплекс программ для построения моделей крупных рудных месторождений по данным детальной разведки. Он предназначен для подсчёта запасов месторождения и проектирования и оптимизации графика его разработки и используется для построения моделей ряда месторождений в России, странах СНГ и дальнем зарубежье.

Ещё одна область исследований лаборатории – статистический анализ экстремальных величин (д.ф.-м.н. Н.М. Маркович). Эта область знаний интенсивно развивается с начала 1990-х годов. Связано это с тем, что распределения с «тяжёлыми» хвостами (распределения, хвосты которых убывают на бесконечности медленнее, чем экспонента, и у которых не все моменты существуют) получили всеобщее признание как вполне реалистические модели различных явлений, естественных и искусственно созданных. Объёмы файлов, передаваемых через Интернет; размеры страховых сумм на случай катастроф; наблюдаемые в природе ряды низких и высо-

ких температур; уровни воды в реках при наводнениях; сила штормовых ветров и волн; концентрация редких полезных ископаемых; содержание озона в атмосфере – далеко не полный перечень явлений, которые могут быть хорошо представлены распределениями с тяжёлыми хвостами. Отсутствие конечных моментов распределения, в частности, второго момента, не позволяет воспользоваться многими классическими результатами теории вероятностей и статистики (например, центральной предельной теоремой). Это требует разработки принципиально новых методов, не опирающихся на факт существования второго момента. Присутствие в наблюдаемой выборке нетипичных аномальных наблюдений также является неотъемлемым свойством распределений с тяжёлыми хвостами.

Н.М. Маркович разработаны непараметрические статистические методы оценивания, позволяющие провести анализ данных на наличие тяжёлых хвостов и оценить их статистические характеристики по выборкам независимых наблюдений ограниченных объёмов. В том числе получены непараметрические оценки: (а) плотностей распределений с тяжёлыми хвостами; (б) высоких квантилей, то есть квантилей, близких к 100 %; (в) хвостового индекса – базовой характеристики распределения с тяжёлым хвостом, отражающей форму хвоста; (г) функции восстановления и (д) так называемого экстремального индекса. Полученные алгоритмы использованы при анализе измерений в телекоммуникационных системах типа Интернет с целью оптимизации их работы в реальном времени. Начиная 2006 г. Наталья Михайловна занимается анализом временных рядов, имеющих распределения с тяжёлыми хвостами, развивая методы двухмерного анализа в контексте таких распределений. Данная тематика применяется ею для контроля качества передачи видео- и голосовых сообщений в Интернете.

Лаборатория ведёт исследования совместно с зарубежными учёными, участвует в проекте TACIS Европейского экономического союза, европейском проекте 6-й рамочной программы «Дизайн и проектирование следующего поколения Интернет, развивающегося в направлении мультисервисных сетей», ESF-COST IC0703 «Data Traffic Monitoring and Analysis: Theory, Techniques, Tools and Applications for the Future Networks». Она ведёт совместные работы с Университетом им. Отто Фридриха (г. Бамберг, Германия), Норвежским университетом науки и технологии NTNU (г. Трондхейм, Норвегия), Высшей школой телекоммуникаций ENST (г. Брест, Бретань, Франция), Институтом демографических исследований и Институтом социомедицинской информации (Германия), Королевским Хэллоуэй-университетом (Великобритания). Кроме того, лаборатория сотрудничает с Университетом штата Иллинойс (г. Урбана-Шампейн, США) и ИППИ РАН в области формализации и решения задач оптимального импульсного управления динамическими системами в активных сингулярных фазах их движения.

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 750 работ, в том числе 16 монографий.

В числе сотрудников лаборатории: 1 член-корреспондент РАН, 2 доктора технических наук, 1 доктор биологических наук, 1 доктор физико-математических наук, 8 кандидатов технических наук, 2 кандидата физико-математических наук, 2 кандидата биологических наук.

ЛАБОРАТОРИЯ № 40

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Зав. лаб. № 40
Фёдор Фёдорович Пашенко

После аварии на Чернобыльской АЭС (1986) вышло Постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР, согласно которому Институт проблем управления назначался головной организацией по созданию высоконадёжных АСУ ТП АЭС, а академик ГАН И.В. Прангишвили назначен генеральным конструктором по АСУ ТП АЭС. В рамках реализации этого Постановления в 1987 г. в Институте на основе сектора № 41.1 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами атомных электростанций»* была образована лаб. № 40. Заведующим лабораторией был назначен к.т.н. Фёдор Фёдорович Пашенко (сегодня – д.т.н., профессор, почётный деятель науки и техники г. Москвы).

Перед лабораторией были поставлены задачи координации и научного руководства общесоюзными и международными программами по разработке и созданию систем автоматизации объектов атомной энергетики, разработке современных эффективных систем управления в атомной энергетике, повышению интеллектуального уровня и надёжности систем управления и принятия решений. В 1994 г. лаборатория получила своё новое название. В настоящее время в состав лаборатории входит 31 сотрудник, из которых 5 докторов наук и 14 кандидатов наук.

Традиционные научные направления:

- Теория систем и системный подход.
- Разработка целевых федеральных, региональных и отраслевых комплексных программ, и соответствующих организационных структур, методов управления и механизмов реализации программ.
- Разработка интеллектуальных автоматизированных систем управления производствами повышенного риска.
- Анализ, моделирование, идентификация, синтез и управление линейными, стохастическими и нелинейными системами.
- Разработка методического, алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальных систем моделирования, идентификации и управления.
- Разработка человеко-машинных систем управления.
- Разработка методологии и методов построения систем принятия решений.

* Своё нынешнее название лаборатория получила в 90-е годы.

- Разработка систем информационной поддержки оперативного персонала.
- Разработка систем функциональной диагностики в энергетике и других отраслях.
- Разработка систем мониторинга государственных и отраслевых программ.

В этих рамках были разработаны общесоюзные научно-технические программы по автоматизации атомных электростанций (АЭС) 0.Ц.046 и 0.80.060 и комплексная программа стран-членов СЭВ по созданию современных высоконадёжных АСУ ТП АЭС. В реализации этих программ участвовало более 200 организаций и предприятий СССР и более 100 организаций стран-членов СЭВ. При участии лаборатории разработаны техническое задание, технические требования, эскизный, технический и рабочий проекты перспективной АСУ ТП АЭС.

В рамках перечисленных программ созданы теоретические основы интеллектуальных систем управления производствами повышенного риска. В этой теории используются методы построения систем управления с идентификатором и теория экспертных систем. Полученные теоретические результаты применены при создании системы информационной поддержки операторов АЭС и верхнего уровня АСУ ТП АЭС, ряда АСУ и АСУ ТП в металлургической и химической промышленности, станкостроении, биотехнологии и других отраслях.



Директор ИПУ РАН акад. В.А. Трапезников (справа) обсуждает с Ф.Ф. Пащенко ход работ по АСУ ТП АЭС (1987 г.)

В области теории систем управления с идентификатором получен ряд важных результатов, опирающихся на использование априорной информации в форме профессиональных знаний о физических и конструктивных особенностях объектов; разработаны принципы построения экспертно-статистической системы конструирования алгоритмов моделирования систем управления; разработаны дисперсионные методы идентификации существенно нелинейных систем; построены оптимальные одношаговые и многошаговые адаптивные алгоритмы и получены условия устойчивости адаптивных систем с идентификатором и итерационных схем; созданы быстродействующие и эффективные модели с настраиваемыми параметрами основных технологических процессов первого и второго контуров энергоблоков АЭС, в том числе модели распределения нейтронного поля и реактивности в активной зоне реактора. Ф.Ф. Пащенко, к.т.н. Е.Е. Соколовский, к.т.н. Е.М. Сапрыкин, к.т.н. В.М. Аксёнов, к.т.н. И.С. Дургарян, д.т.н. Г.Р. Болквадзе, д.ф.-м.н. С.Д. Алгазин, С.А. Молчанов, В.А. Воронина, В.Н. Судариков, к.т.н. К.С. Гинсберг, к.т.н. Н. Колев, к.т.н. Р. Цветанов (Болгария) и др.).

Разработаны методология и методы построения систем принятия решений для производств повышенного риска. Большой вклад в координацию работ по АСУ ТП АЭС внесли сотрудники лаборатории Д.А. Шалабаев, В.А. Быков, В.С. Земляников, В.Н. Савушкин, В.Н. Сучкова и др.

Результаты этих исследований частично изложены в десятке совместных (с сотрудниками МЭИ и других организаций) монографий.

Созданы математические модели и алгоритмы адаптивного управления технологическими процессами доменной печи. Данные теоретические разработки вошли в основу внедрённой в эксплуатацию АСУ ТП доменной печи № 1 на КМЗ г. Коммунарска (Ф.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян). Работа выполнялась совместно с сотрудниками УГПИ «Проектавтоматика» и КМЗ (В.Б. Бройтман, Г.К. Бердичевский, В.Н. Кочубеев и др.). На разработанные методы и устройства управления получено более 20 авторских свидетельств.

Лаборатория принимала участие в разработке федеральных целевых программ «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Забайкалья», «Социально-экономическое развитие Сибири», «Развитие коренных малочисленных народов Севера» и др.



**Коммунарский
металлургический комбинат**

Современные научные направления:

- 1). Методы анализа, моделирования и синтеза нелинейных систем.
- 2). Развитие теории и методов построения систем управления и моделирования на основе знаний.
- 3). Развитие теории оптимальных нелинейных систем.
- 4). Теория систем и системные закономерности в природе и обществе.
- 5). Искусственный интеллект в теории и практике управления.
- 6). Развитие методов нейро-нечёткого управления и моделирования.
- 7). Разработка и создание инновационных систем и технопарковых структур – технополисов, технопарков, наукоградов, этнопарков и т.п.

В рамках первого направления (анализа и идентификации нелинейных систем) предложен метод функциональных преобразований. Метод обобщает такие известные подходы к анализу и моделированию систем, как методы Винера–Хопфа, Л. Заде, Н.И. Андреева и др., и распространяет их применение на класс нелинейных систем. Для реализации метода разработан новый математический аппарат функциональных корреляционных и дисперсионных функций.

На основе метода функциональных преобразований разработаны состоятельные методы структурной, непараметрической и параметрической идентификации нелинейных стохастических систем, получены условия идентифицируемости и состоятельные уравнения идентификации. В настоящее время данный подход является единственным конструктивным методом, позволяющим ответить на вопрос, су-

ществует ли математическая модель идентифицируемого объекта на рассматриваемых классах входных и выходных сигналов.

В цикле работ А.Н. Агаджанова, опубликованных в последние годы в «Докладах РАН», введены принципиально новые классы функций, возникающих в задачах управления распределёнными системами.

В рамках второго направления предложены:

- Подход к идентификации линейных и нелинейных динамических систем на базе использования знаний об исследуемой системе. В его рамках на основе расширения понятия дисперсионных функций получено решение уравнения идентификации для определения весовой функции системы. Подход эффективно использовался при моделировании нелинейных систем, описываемом моделями Гаммерштейна, Винера и Вольтерра.

- Информационные методы идентификации систем (И.С. Дургарян, Ф.Ф. Пашенко). Получены энтропийные оценки структурных инвариантов линейных и нелинейных систем, в том числе оценки информативности, стохастичности, нелинейности и идентичности моделей. Разработаны методы и получены условия идентифицируемости систем по критерию максимума информации о выходном сигнале и параметрах системы, содержащейся во входном сигнале, что позволяет максимально использовать всю имеющуюся информацию об исследуемом объекте.

- Научные основы построения человеко-машинных систем информационной поддержки оперативного персонала производств повышенного риска. В рамках этого направления разработаны методы решения задачи оценки состояния и диагностики объекта, прогнозирования хода технологического процесса и возможных нарушений и выработки управляющих воздействий, в том числе в виде советов оператору. Разработаны и созданы алгоритмические и технические средства автоматизации (И.В. Прангишвили, Ф.Ф. Пашенко, Е.М. Сапрыкин, С.А. Молчанов, В.А. Воронина, К.Р. Чернышёв, И.С. Дургарян, Е.Ф. Жарко, В.Н. Судариков и др.).

Сотрудники лаборатории создали ряд проектов по умным «интеллектуальным» системам, участвовали в разработке элементов электронного правительства. Разработаны: интеллектуальная ветрогенерирующая установка (Ф.Ф. Пашенко, А.М. Шубладзе, В.В. Торшин, Л.Е. Круковский, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян), генераторы энергии от механических колебаний систем (транспортные системы), цифровое интеллектуальное месторождение совместно с ИПНГ РАН (Ф.Ф. Пашенко, С.В. Гуляев, А.Ф. Пашенко, Л.Е. Круковский и др.). Совместно с МФТИ (акад. Н.А. Кузнецов) разрабатывали интеллектуальные технологии для РЖД. Сотрудники лаборатории принимали участие в разработке корпорацией АИС (Вьетнам) проекта «Умного города». Проект получил Первую премию на конкурсе Международной ассоциации «Умных городов» (2018 г.).

В рамках третьего направления сформулированы условия экстремума для аномальных задач оптимизации систем. Для достаточно общих задач на условный экстремум в банаховых пространствах выделяется класс задач, для которых классические методы исследования, основанные на принципе Лагранжа, не работают. Такие задачи, следуя Блисссу, называются аномальными. Получены необходимые условия первого и второго порядка для абстрактной аномальной экстремальной

задачи в банаховом пространстве; необходимые условия экстремума для аномальной задачи Лагранжа вариационного исчисления; принцип максимума для аномальных задач оптимального управления (д.ф.-м.н. Е.Р. Аваков). Полученные необходимые условия являются развитием и обобщением классических необходимых условий (принцип Лагранжа, уравнения Эйлера–Лагранжа и принцип максимума Понтрягина) на аномальные задачи. При этом в регулярном случае из них следуют классические условия, а в аномальном – дополнительная содержательная информация об экстремальных точках.

Разработан метод максимального быстродействия с прогнозирующей моделью (Г.А. Пикина, Ф.Ф. Пашенко). Предложен новый принцип управления по прогнозу в линейных автоматических системах с типовыми законами регулирования. Использование алгоритма прогнозирования в составе типовых регуляторов делает возможным настройку одноконтурных и двухконтурных систем только одним параметром – временем прогноза.

Многие задачи синтеза механизмов управления сводятся к сложным, как правило, многоэкстремальным задачам оптимизации. На основе развития методов оптимизации функций, представленных в дихотомическом виде, предложен новый метод решения задач дискретной и непрерывной оптимизации – метод сетевого программирования, обобщающий метод динамического программирования Беллмана и метод множителей Лагранжа (д.т.н. В.Н. Бурков, д.т.н. И.В. Буркова).

В рамках четвёртого направления предложены подходы к анализу и синтезу новых и уже известных закономерностей в области электродинамики (Ф.Ф. Пашенко, к.т.н. Б.П. Бусыгин, к.т.н. Л.Е. Круковский, к.т.н. В.В. Торшин, к.т.н. А.Ф. Пашенко). В частности, разработан метод логического моделирования законов электродинамики, позволяющий формализованным образом описывать различные законы электродинамики и синтезировать новые закономерности и модели. В рамках этой тематики опубликовано более 10 монографий, получено более 30 патентов. Разработанные методы использованы для построения альтернативных источников энергии и энергосберегающих систем на транспорте и повышения эффективности и создания «интеллектуальных» месторождений и внедрения плазменно-импульсных технологий в нефтегазовой отрасли. Предложенные подходы к построению новых механизмов получения энергии по аналогии распространяются и на другие области науки, в частности, на исследование и разработку когнитивных технологий моделирования социальных и экономических процессов (Ф.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян, А.Ф. Пашенко, к.с.н. С.В. Зернов).

В рамках пятого и шестого направления сотрудниками лаборатории Ф.Ф. Пашенко, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян совместно с сотрудниками Липецкого ГТУ (д.т.н. Ю.И. Кудинов, к.т.н. И.Ю. Кудинов, к.т.н. Е.Ю. Келина) предложены новые генетические алгоритмы идентификации и алгоритмы моделирования на основе нечёткой логики и нейронных сетей. Построены гибридные алгоритмы структурной и параметрической идентификации. Новые методы существенно повышают эффективность нейро-нечёткого моделирования алгоритмов Суджено, Мандами и системы ANFIS. Предложены методы построения нечётких регуляторов и исследованы вопросы их устойчивости. В этих работах принимали активное участие к.ф.-м.н. О.Н. Белова, А.Ф. Пашенко, М.А. Березин, А.В. Каменев И.К. Минашина, Е.Ю.Захарова и др. Предложенные методы использовались для моделирования и

управления на Липецком металлургическом комбинате (руководитель Ю.И. Кудинов) для прогнозирования качества производимой продукции и управления печами обжига.

Для нелинейной фильтрации нестационарных случайных процессов предложен вычислительный метод оценивания состояния динамических систем, отличительной особенностью которого является применение принципов декомпозиции для построения субоптимальных иерархических нейросетевых, нечётких, вейвлет-алгоритмов оценивания и их комбинаций, обладающих высоким быстродействием и точностью оценивания (д.т.н. О.С. Амосов, к.т.н. С.Г. Амосова).

Предложен вычислительный метод распознавания образов в непрерывном видеопотоке с использованием глубоких нейронных сетей (д.т.н. О.С. Амосов, к.т.н. С.Г. Амосова, к.т.н. Ю.С. Иванов, к.т.н. Д.С. Магола, С.В. Жиганов).

Предложен новый подход к получению динамических характеристик моделей с распределёнными параметрами (РП) с помощью двойного преобразования Лапласа. Разработаны методические основы получения характеристик РП-моделей, а также компьютерная программа для их расчёта для парогенераторов блоков ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и поверхностей котлов БКЗ-320, ТГМП-340. (Г.А. Пикина, Ф.Ф. Пашенко).

Разработан метод максимального быстродействия с прогнозирующей моделью. Показано, что комбинация линейного прогностического регулятора состояния и стандартного ПИД-регулятора по показателям качества конкурентоспособны оптимальному по времени алгоритму максимального быстродействия. (Г.А. Пикина, Ф.Ф. Пашенко). Предложен новый универсальный беспойсковый метод параметрической оптимизации. (Г.А. Пикина, Ю.С. Родоманова).

В рамках седьмого направления сотрудники лаборатории одними из первых в России поставили вопросы, связанные с инновационным развитием страны. Разработаны методологические основы организации социально-экономических структур типа технополисов, технопарков, наукоградов, этнопарков и т.п. Сформирована стратегия социально-экономического управления, опирающаяся на анализ проблем регионов, которая требует изменения акцентов программных мероприятий, а также создания реальной возможности согласования интересов федеральных и местных органов управления и населения регионов.

Сотрудники лаборатории разработали «Программу инновационного развития Хабаровского края», «Концепцию управления мегаполисом г. Москвы», «Исследование инновационного потенциала регионов Центрального федерального округа», Программу совершенствования механизмов управления развитием научно-технического потенциала Москвы, участвовали в разработке Программы инновационного развития Москвы и Стратегии развития Москвы до 2025 г. (совместно с НИиПИ Генплана, руководитель к.э.н. В.Я. Беккер) и ряда других региональных и отраслевых программ (Ф.Ф. Пашенко, В.Б. Гусев, В.В. Павельев, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян, О.Н. Белова, А.М. Анохин и др.)

Сотрудники лаборатории принимали активное участие в разработке и создании экотехнополисов в городах Троицк, Дубна, Арзамас-16 (российский ядерный центр), Магнитогорск, в разработке федеральных инновационных подпрограмм «Техноэкополис Комсомольск-Амурск-Солнечный» (этот проект был первым проектом Технополиса, утвержденным Указом Президента РФ и Постановлением Пра-

вительства РФ) и «Технополис Стрежевой», федеральных целевых программ «Дальний Восток и Забайкалье», «Сибирь».

Результаты теоретических исследований использованы: при создании систем информационной поддержки операторов на Запорожской и Смоленской АЭС (Е.М. Сапрыкин, С.А. Молчанов, К.А. Тепикин) и других энергетических объектах; систем управления доменным процессом на Коммунарском металлургическом комбинате (Ф.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян); химическими реакторами на ППО «Бор» в г. Дальнегорск (в работе участвовали от ИПУ – акад. В.А. Трапезников, Н.С. Райбман, Ф.Ф. Пашенко и др., от ИАПУ ДВО – акад. А.А. Воронов, д.т.н. В.В. Здор, Д.И. Бернацкий и др.); в машино- и станкостроении (совместно с ИМАШ – д.т.н. К.С. Сергеев, д.т.н. А.Ш. Колискор, к.т.н. Л.С. Додин), для управления биотехническими объектами (Ф.Ф. Пашенко, д.т.н., проф. В.А. Грабауров, Г.Л. Акопян, А.Ф. Пашенко, к.т.н. Ю.И. Островский (лаб. № 31) и др.); при создании системы управления птичником с оптимальными режимами кормления и температурой птичника, при разработке и создании АСУ ТП ТЭС «Насирия» (Ирак) в рамках работ по модернизации, проводимых ОАО «Интерэнергосервис» (руководители: Ю.В. Никонов, Р.А. Асфандияров и др.).



**Авенир Аркадьевич
Воронов**

В 2014 г. в состав лаб. № 40 вошла лаб. № 50 (которой раньше заведовал д.т.н. А.М. Шубладзе). Ещё до этого лаб. №№ 40 и 50 совместно были разработаны новые самоорганизующиеся системы: оптимальные ресурсосберегающие адаптивные системы. Удалось создать регулятор, компенсирующий переменный по величине люфт. Был использован ПИД регулятор с квантованием управляющего сигнала по времени (А.М. Шубладзе, С.В. Гуляев, Ф.Ф. Пашенко, А.Ф. Пашенко).



**Александр
Михайлович
Шубладзе**

Разработана методика параметрической оптимизации настроек регуляторов для повышения быстродействия на основе метода обеспечения максимальной степени устойчивости. Предложенная методика использована для оптимизации трехканальной системы управления летательным аппаратом. (С.В. Гуляев, А.М. Шубладзе).

Разработана методика параметрической оптимизации настроек регуляторов для повышения быстродействия на основе метода обеспечения максимальной степени устойчивости. Предложенная методика использована для оптимизации трёхканальной системы управления летательным аппаратом (С.В. Гуляев, А.М. Шубладзе).

В 2017 г. в состав лаб. № 40 вошли лаборатории №№ 36 и 43.

В соответствии с традициями системного подхода, заложенными в лаб. № 36 ещё А.А. Фельдбаумом, продолжали развивать и классические разделы теории автоматического управления – прежде всего те, что позволяют совершенствовать ме-

тоды управления сложнейшими социально-экономическими системами. В первую очередь это методики оценивания тенденций развития при наличии интенсивных помех и неточности измерений и оптимального управления подвижными объектами (к.т.н.



**Кемер Борисович
Норкин**

И.В. Тиме, А.Б. Шубин) Широко известна монография последнего зав. лаб. № 36 К.Б. Норкина «Системные проблемы борьбы с коррупцией в России». В составе авторского коллектива К.Б. Норкин стал лауреатом премии Правительства РФ за учебник по новой экономике. В 1990 г. он был избран депутатом Моссовета и позднее приглашён для работы министром в Правительстве Москвы, оставаясь по совместительству зав. лаб. № 36. Поэтому, естественно тематика лаб. № 36 была тесно связана с задачами управления развитием города (К.Б. Норкин, к.т.н. Ю.Э. Сагалов).

Создателем лаб. № 43 и первым её заведующим был к.т.н. А.М. Черкашин. К моменту включения лаб. № 43 в состав лаб. №40 ею заведовал к.т.н. В.Б. Гусев.

В 1995–1997 гг. лаб. № 43 представляла Институт в качестве головной организации по формированию «Федеральной программы социального и экономического развития коренных малочисленных народов Севера до 2000 г.» (А.М. Черкашин, В.Б. Гусев, В.В. Павельев, Б.И. Финогенов, А.М. Анохин).

В 1992–2001 гг. по заказу Минэкономики (ныне - Минэкономразвития) были разработаны многоотраслевые модели (динамическая и равновесная), а также методы расчёта показателей структурной динамики экономической системы (В.Б. Гусев).



**Владислав Борисович
Гусев**

В 2001–2004 гг. лаб. № 43 выполнялись работы по проекту СПП при Президиуме РАН на составную часть НИР «Комплексные исследования по созданию интегрированной системы информационно-аналитического обеспечения военно-экономического анализа и экспертиз мероприятий строительства, развития и содержания Вооружённых Сил Российской Федерации». (В.Б. Гусев, В.В. Павельев).

В 2005–2007 гг. лаб. №№ 40, 43 и 44 были проведены работы по программе инновационного развития Хабаровского



**Александр Аронович
Фельдбаум
в лаборатории**



**Александр
Михайлович
Черкашин**

края, включавшие создание программы комплексного развития региона и формирования программы инновационного развития региона (Ф.Ф. Пашенко, В.И. Антипов, П.Х. Зайдфудим, В.Б. Гусев, В.В. Павельев, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян).

По заказу Департамента науки и промышленной политики Москвы в рамках работ по концепции управления мегаполисом были разработаны рекомендации по совершенствованию развития сфер промышленности Москвы, структуризации проблем, разработке критериев оценки состояния и предложений по новой системе управления мегаполисом (Ф.Ф. Пашенко, В.И. Антипов, П.Х. Зайдфудим, В.Б. Гусев, В.В. Павельев, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян).

Лаб. №№40, 43 и 44 участвовали в работах по Программе Президиума РАН «Разработка методов, механизмов и процедур управления инновационным развитием, природоохранной деятельностью, диверсификацией хозяйственной деятельности природно-техногенных систем при освоении месторождений полезных ископаемых» (Ф.Ф. Пашенко, В.И. Антипов, В.Б. Гусев, В.В. Павельев, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян, К.Б. Норкин).

В результате анализа динамических моделей функционирования саморазвивающихся систем с автономным управлением такого типа определены условия нормального и кризисного функционирования организационных, производственных, экологических систем. Построены модели сбалансированного воспроизводства в многоотраслевой экономической системе. Предложен метод анализа чувствительности экономики к изменению отраслевых затрат. На основе многоотраслевой модели региона интенсивного освоения природных ресурсов разработан метод расчёта параметров диверсификации производства (В.Б. Гусев).

Методы целенаправленного выбора, предложенные В.В. Павельевым, отличаются тем, что в модель выбора вводится детализируемая формулировка цели. Это позволяет строить логически обоснованную древовидную структуру показателей объектов выбора, которая используется для векторной стратификации, являющейся научным фундаментом многих методов оптимизации. Предложен также рефлексивный метод расчёта оценок полного цикла взаимодействий в многофакторной системе. Построена компьютерная реализация системы оценивания и выбора. Разработан метод автономного выбора параметров системы защиты центра обработки данных от аварий и катастроф (В.В. Павельев, В.Б. Гусев, А.М. Анохин).

В рамках методологии анализа инновационного развития на макро- и микроуровнях рассмотрены модели и сформулирована концепция совершенствования управления инновационным развитием региона (В.Б. Гусев, Ф.Ф. Пашенко).

Разработаны модели классификации аграрных экономик и бистабильности рынка труда и базовая модель кондратьевских циклов. Предложены инвестиционные правила на базе оптимизации кредитного рычага. Рассмотрены модели возникновения режимов с обострением в биржевых рядах. (О.И. Кривошеев).

В лаб. № 40 действует молодёжная научная школа «Интеллектуальные технологии анализа, моделирования и управления сложными системами». Шестеро участников школы стали кандидатами технических наук.

Сотрудники лаборатории активно участвовали и участвуют в общественной и государственной деятельности – трое из них работали в ранге министров и зам. министров: о К.Б. Норкине уже говорилось, д.б.н., проф. П.Х. Зайдфудим – первый заместитель председателя Госкомсевера России и заместитель министра РФ по делам национальностей и региональной политике, а В.А. Быков – заместитель министра спорта и зам. председателя Олимпийского комитета СССР.

По результатам исследований выпущено более 100 научных отчётов, более 40 монографий, 10 сборников статей, более 40 методических, учебных пособий и препринтов, опубликовано более 600 научных работ, включая публикации в ведущих журналах «Доклады РАН», «Автоматика и телемеханика», *SIAM Optimization*, «Математические записки», *Computer Science*, получено более 80 авторских свидетельств и патентов. Сотрудники лаборатории принимали участие во многих международных и российских конференциях и семинарах. По результатам исследований сотрудниками лаборатории и соискателями из других организаций защищено более 10 докторских и 20 кандидатских диссертаций (некоторые из соискателей являются гражданами Болгарии, Венгрии, Вьетнама и стран СНГ). В настоящее время бывшие аспиранты лаборатории работают в научно-исследовательских центрах и университетах Болгарии, Венгрии, ФРГ, Франции, США, Австралии, Вьетнама, Узбекистана, Грузии, Украины и других стран.

Сотрудники лаборатории являются главными редакторами и членами редакционных советов ведущих научных журналов, входящих в базы цитирования RSCI, ВАК, являются членами экспертных советов ВАК, РАН и других научных фондов, профессорами и членами ученых и диссертационных советов ИПУ РАН, МГУ, МФТИ, МЭИ, РХТУ, РУНГ и других вузов.

ЛАБОРАТОРИЯ № 41

ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

С 2016 г. коллектив лаборатории объединяет сотрудников лаб. № 41 и бывшей лаб. № 35 – методов автоматизации производства.

Основным направлением научных исследований лаборатории является построение моделей реальных объектов, процессов, систем управления на основе данных реального функционирования – *идентификация*.

Фундаментальные результаты способствуют разработке широкого спектра практических приложений. Одним из основных направлений практического применения разрабатываемых методов и алгоритмов традиционно являлись производственные процессы, поэтому объединение лабораторий способствовало разработке новых методов в этой сфере.



**Основатель
и первый зав. лаб. № 41
Наум Самойлович Райбман**

Лаборатория образована в апреле 1968 г. Инициатором её создания, организатором творческого коллектива и первым заведующим стал доктор технических наук, профессор Наум Самойлович Райбман.

Н.С. Райбман стал одним из первых в мире учёных, кто способствовал становлению идентификации как важного самостоятельного раздела общей теории управления.

Сегодня научные работы Н.С. Райбмана считаются классическими в теории идентификации. Он был замечательным организатором, создавшим научную школу. К моменту его ухода из жизни в 1981 г. лаборатория успела завоевать научный авторитет не только в институтском и союзном, но и в мировом масштабе.

С самого начала научные разработки лаборатории имели выраженную инновационную направленность: сочетание теоретических результатов с инженерными разработками.

Основными теоретическими достижениями в первое десятилетие лаборатории были:

- обоснование и развитие дисперсионных методов идентификации нелинейных объектов;
- разработка теории адаптивной идентификации нестационарных систем; постановка и обоснование минимаксного (игрового) подхода к идентификации;
- синтез методов и алгоритмов идентификации и управления в замкнутом контуре управления.

Одним из первых примеров реально работающих систем, приближённо, но эффективно реализующих теорию дуального управления Фельдбаума, стала разрабо-

танная сотрудниками лаборатории адаптивная система управления с идентификатором – АСИ). В 1976 г. эта прикладная разработка для Первоуральского новотрубного завода была отмечена Государственной премией СССР. Большую роль в этой работе сыграл Валентин Маркович Чадеев (ныне д.т.н., проф.).

Другим брендом лаборатории были результаты исследований в таких областях, как надёжность (информационная и аппаратная), резервирование, управление запасами и массовое обслуживание, проводимых кандидатами технических наук В.А. Лотоцким и А.С. Манделем.



**Владимир Алексеевич
Лотоцкий**

С апреля 1981 по 2006 г. руководителем лаборатории был доктор технических наук, профессор Владимир Алексеевич Лотоцкий, учёный с мировым именем, в течение многих лет активный деятель Международной федерации автоматического управления (IFAC), специалист в области теории идентификации и адаптивного управления, теории надёжности и теории управления запасами, в течение многих лет руководитель секции «Управление производственными процессами» Учёного совета Института.

С 2006 г. лабораторию возглавляет доктор технических наук, профессор Наталья Николаевна Бахтадзе.



**Зав. лаб. № 41
Наталья Николаевна
Бахтадзе**

Стержнем научных работ лаборатории были и остаются фундаментальные и прикладные исследования процесса идентификации динамических линейных и нелинейных систем. Разработаны методы синтеза основного контура в линейных системах с неполной информацией о статистических характеристиках внешних возмущений, проведено исследование вырожденных задач и условий вырожденности линейно-квадратичных задач синтеза для линейных объектов со стационарными возмущениями. Созданы методы автоматизации управления технологическими процессами на основе синтеза робастно-оптимальных систем с использованием идентификационного подхода к построению внутренних моделей внешних возмущений. Активно разрабатываются методы идентификации локальной структуры стохастических идентификационных моделей на основе состоятельных мер зависимости случайных величин. Исследуются характеристики и информационные возможности алгоритмов структурной идентификации. Разрабатываются методы построения прогнозирующих виртуальных моделей нелинейных нестационарных систем на основе вейвлет-анализа. Ведутся работы по созданию концепции оценки качества программного обеспечения, связывающие на системном уровне характеристики качества кода, критерии и метрики.

Сегодня, на фоне экспансии информационных технологий и технологий управления в самые разнообразные сферы человеческой деятельности, в развитии теории

и методов управления наблюдается отчётливая тенденция их дальнейшей конвергенции с методами искусственного интеллекта. В особенности это относится к сфере производства – как в интегрированных системах управления, так и в специализированных системах на разных уровнях процесса производства. В лаборатории разрабатываются алгоритмы идентификации и имитационного моделирования, основанные на знаниях, формируемых и обновляемых по результатам интеллектуального анализа данных функционирования производственных процессов в виде выявляемых закономерностей. Алгоритмы, получившие название «ассоциативный поиск», осуществляют моделирование в реальном времени процесса принятия решений об управлении оператором технологической установки в системах управления реальным временем. Разработаны методы нечёткого моделирования и нечёткой кластеризации. Предложены критерии устойчивости динамических объектов на основе исследования спектра кратно-масштабного вейвлет-разложения.

Созданы теоретические основы идентификационного анализа как интеллектуальной базы интегрированной информационно-управляющей структуры производства с использованием современных информационных технологий с учётом косвенных измерений производственных показателей в условиях единого информационного пространства.



**Валентин Маркович
Чадеев**

Сфера внедрения теоретических разработок лаборатории расширяется: в промышленности это – разработки энергосберегающих систем в металлургическом производстве с использованием интеллектуальных методов и алгоритмов управления прокатным и электросталеплавильным производством, идентификационных моделей технологических процессов химической, нефтехимической и других отраслей промышленности. Создаются методы имитационного моделирования для проектирования крупных автоматизированных технологических комплексов. Ведётся разработка методов управления уровнем автоматизации технологических процессов, включая оценку эффективности самовоспроизведения промышленных роботов.

Разработаны интеллектуальные алгоритмы идентификации нелинейных динамических моделей энергообъектов, основанных на индуктивном обучении. Создана методика синтеза системы интеллектуальной динамической оценки состояния энергосистем на базе мультиагентных технологий.

Разработаны методы автоматизации управления текущим коммерческим бюджетированием и ценообразованием продукции предприятий с использованием методов управления запасами. Созданы методы разработки программ стимулирования сбыта производимой продукции с применением моделей и алгоритмов оптимального планирования инвестиционных проектов.

Разрабатываются методы создания мультиагентных информационно-управляющих систем поддержки управления на основе прогнозирующего идентификационно-симуляционного моделирования с использованием систем автоматизации имитационных исследований облачного типа.

Разработаны и внедрены десятки информационно-аналитических систем и систем поддержки принятия решений, среди которых: экспертно-статистическая система поддержки принятия решений и управления маркетингом коммерческих компаний на базе адаптивных и робастных алгоритмов; система управления трейдингом и стресс-тестингом на основе прогнозирующих моделей; система анализа и оптимизации экономической эффективности маршрутов, расписания и загрузки авиарейсов; автоматизированная распределённая система контроля и оптимизации продаж туристических услуг туроператора. Разработаны методы построения прогнозирующих моделей урожайности зерновых культур в зависимости от внесения минеральных удобрений на основе алгоритмов ассоциативного поиска. Созданы методы прогноза состояния ресурсов производства и прогнозирования нештатных ситуаций на основе интеллектуального анализа данных.

С 2013 г. в лаборатории функционирует группа сотрудников во главе с д.т.н., проф. З.Г Салиховым. Группа занимается разработкой и реализацией проектов по созданию высокоэффективных самоорганизующихся систем управления с идентификатором для сложных технологических комплексов металлургических предприятий.



**Зуфар Гарифуллин
Салихов**

Группа, которая стала частью коллектива лаборатории на основе бывшей лаб. № 35, продолжает исследования в области методов автоматизации производства.



**Эммануил Львович
Ицкович**

Лаб. № 35 была создана 1 января 1969 г. на базе группы сотрудников лаб. № 15, руководимой тогда одним из ведущих специалистов страны в области приборостроения и систем автоматического контроля, профессором, доктором технических наук, лауреатом Государственной премии СССР Дмитрием Ивановичем Агейкиным. Эта группа работала под началом Эммануила Львовича Ицковича (ныне д.т.н., проф.), который и стал заведующим вновь образованной лаборатории.

Научно-исследовательские работы лаб. № 35 разных лет были сконцентрированы на решении задач автоматизации, которые в настоящее время наиболее актуальны и достаточно востребованы на предприятиях разных технологических отраслей. К основным результатам лаб. № 35 относятся:

- Разработка методов: обследования текущего уровня автоматизации производства, обоснования концепции рационального развития систем автоматизации, создания конкретных технических требований на перспективные системы автоматизации и на построение MES (интегрированной системы автоматизации производства).

- Методика разработки концепции совершенствования системы технического обслуживания и ремонта основных фондов предприятий технологических отраслей.

– Разработка алгоритмов составления рациональных графиков планово-предупредительных ремонтов оборудования и графиков проведения анализов качества материальных потоков в лабораториях предприятий на базе теории расписаний.

– Разработка методов и алгоритмов текущей и прогнозируемой оценок значений качественных показателей производства на базе измеряемых физических величин производства и редких лабораторных анализов качественных показателей.

– Разработка методических и алгоритмических основ создания компьютерной технологии поддержки принятия решений на основе анализа геолого-маркшейдерской информации на добывающих и обрабатывающих предприятиях, эксплуатирующих открытым способом месторождения твёрдого минерального сырья.

– Участие в разработке технологий построения интегрированных систем управления подвижными объектами и создания для них тренажёрных систем.

– Разработка научных и методических основ построения перспективных систем интеллектуального управления объектами горнодобывающей промышленности (в рамках международного гранта с Академией наук Вьетнама).

– Разработка алгоритмов контроля и учёта работы производства технологического типа на основе методов статистического анализа.

– Исследование путей повышения безопасности функционирования движущихся объектов с использованием новых подходов к управлению движением и интеллектуальных систем поддержки и принятия решений.

Апробация и практическое внедрение разработанных методов и алгоритмов решения задач автоматизации производства за последние годы (совместно с другими организациями):

– Консалтинг проектирования систем автоматизации всех уровней для железорудного карьера и горно-обогатительного комбината в провинции Хатинь, Вьетнам.

– Анализ стратегии развития в области АСУ ТП и метрологии на всех предприятиях «Татнефть».

– Сравнительный анализ поставщиков решений в области автоматизации нефтеперерабатывающего производства заводов «Башнефть».

– Обследование существующей системы контроля, учёта и управления работой производства на Новокуйбышевском нефтеперерабатывающем заводе и создание концепции её развития.

– Обследование инфраструктуры и бизнес-процессов оперативного управления производством на Куйбышевском нефтеперерабатывающем заводе и разработка технических требований на построение отдельных компонентов MES.

– Предпроектное обследование с целью создания автоматизированной системы мониторинга и управления энергоресурсами и разработка технических требований на систему на Комсомольском нефтеперерабатывающем заводе.

– Предпроектное обследование и разработка технических требований на автоматизированную систему мониторинга и управления энергоресурсами на Ангарском заводе полимеров.

- Участие в работах по созданию и внедрению сетевого моделирующего комплекса и программного обеспечения для исследования перспективных систем управления движением подводных объектов.
- Участие в разработке модельного комплекса жидкостных ракетных двигателей с целью предотвращения развития аварийных ситуаций при проведении их огневых и лётных испытаний.

В течение нескольких последних лет проводился анализ современных АСУ производственных объектов и перспектив их развития. Соответствующий аналитический обзор опубликован в выпущенной монографии и содержит следующие разделы:

- описание и сопоставление технических и программных средств автоматизации, выпускаемых ведущими производителями;
- сравнительный анализ вариантов программно-технических комплексов распределённых систем управления;
- анализ рациональных методов планирования, построения и функционирования АСУ;
- обзор направлений развития АСУ и его средств;
- содержание перспективных алгоритмов автоматического контроля, учёта и управления производственными объектами;
- предложения и обоснования состава организационных мероприятий на предприятиях, способствующих эффективной эксплуатации АСУ.

Предложены и обоснованы необходимые изменения и расширения функций и структуры АСУ ТП, которые необходимо предусматривать при совершенствовании существующих и при планировании разрабатываемых АСУ ТП на предприятиях технологических отраслей для постепенного, эволюционного развития АСУ ТП всех агрегатов производства требованиям построения и функционирования цифрового предприятия.

Разработаны методы и алгоритмы развития лабораторных информационных систем (ЛИМС) технологических предприятий, повышающие информативность дискретных во времени лабораторных анализов качественных показателей материальных потоков производства и получающие уточнённые оценки текущих значений этих показателей и прогнозы их нахождения в заданных технологическом диапазонах. Сформулированы и апробированы на конкретных промышленных примерах алгоритмы математической обработки последовательности результатов анализов показателей с помощью совместного использования двух программных модулей:

- комбинации статистической экстраполяции и скользящего среднего,
- специально отобранных контрольных карт.

Обоснована и показана на конкретных промышленных примерах повышающаяся информативность ЛИМС при использовании предлагаемых алгоритмов.

Разработаны алгоритмы анализа и прогнозирования сигналов, описываемых стационарными и нестационарными временными рядами:

- он-лайн и офлайн обнаружение нарушений взаимосвязей между сигналами;
- онлайн обнаружение изменений в трендах;
- онлайн-фильтрация сигналов, которая минимизирует «краевые эффекты» и позволяет выявлять изменения трендов с минимальной задержкой.

За 50 с лишним лет объединённым коллективом сотрудников лаборатории опубликованы сотни научных работ, в том числе более 50 монографий (часть из них переведена на английский и немецкий языки), получены десятки авторских свидетельств и патентов.

С начала 70-х гг. Н.С. Райбман активно устанавливал научные и дружеские контакты с «идентификаторами» всего мира. Эта традиция поддерживается и укрепляется сегодня.

В 2000–2015 гг. лаб. № 41 была организатором Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO, <http://sicpro.org>). Цель конференций SICPRO (всего было проведено 10 конференций) – собрать вместе учёных, работающих во всех областях современной теории управления, для обсуждения широкого круга вопросов, связанных с развитием теории и методологии идентификации, моделирования и управления, математической теории управления, параметрической и непараметрической идентификации, структурной идентификации и экспертного анализа, выбора и анализ данных, систем управления с идентификатором, идентификации в интеллектуальных системах, прикладных задач идентификации, имитационного моделирования, методического и программного обеспечения идентификации и моделирования, когнитивных аспектов идентификации, верификации и проблемы качества программного обеспечения сложных систем, глобальных сетевых ресурсов поддержки процессов идентификации, управления и моделирования.

С 2015 г. традиции конференций SICPRO реализуются в новом качестве – в формате ежегодно организуемых приглашенных секций *System Identification for Manufacturing Control Applications* (SIMCA) на симпозиумах и конгрессах Международной федерации автоматического управления (ИФАК).

Сотрудники лаборатории – постоянные участники международных научных мероприятий, члены их программных и организационных комитетов.

Лаборатория приняла активное участие в подготовке и проведении Институтом двух крупных мероприятий ИФАК: Международного симпозиума INCOM'09 (IFAC) в 2009 г. в Москве и симпозиума MIM'2013 в Санкт-Петербурге.

Н.Н. Бахтадзе в течение восьми лет работает заместителем председателя Технического комитета ИФАК по производственному моделированию для менеджмента и управления.

Сотрудники лаборатории являются членами программных комитетов многих международных научных конференций, входят в редакционные коллегии ведущих журналов по теории управления и её приложениям, являются членами диссертационных советов, ведут активную преподавательскую деятельность, председательствуют в ГЭК и ГАК различных вузов.

Традиции лаборатории, её доброжелательный климат и творческий настрой поддерживаются молодыми сотрудниками и аспирантами.

ЛАБОРАТОРИЯ № 45

ОПТИМАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

им. В.Ф. Кротова

Научное направление лаборатории – проведение исследований по теории оптимальных систем управления, в частности развитие методов теории оптимального управления, включая разработку алгоритмов синтеза и оптимизации стратегий управления в том числе для систем сложной структуры, формируемой на основе разнородных объектов, которые описываются, например, дифференциальными и разностными уравнениями в условиях воздействия случайных факторов, неопределённости и противодействия, их применение к объектам самой различной природы – техническим, физическим, биологическим, экономическим.



**Основатель и первый
заведующий лабораторией № 45
Вадим Фёдорович Кротов**

Лаборатория была организована в 1982 г. Заведующим лабораторией с момента её создания до своей кончины в марте 2015 г. был доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, математик, механик, специалист в области математической теории управления Вадим Фёдорович Кротов.

Вадим Фёдорович был выдающимся российским учёным, опередившим своё время. Ещё в первой серии работ, принесших Вадиму Фёдоровичу широкую известность, была разработана теория исследования разрывных решений задач вариационного исчисления, и в её рамках был открыт новый класс решений – оптимальные скользящие режимы.

В дальнейших своих работах Вадим Фёдорович задался целью решить в теории оптимального управления в полном объёме проблему, поставленную великим Лагранжем, – свести задачу на условный экстремум к задаче на безусловный экстремум. И это ему удалось. Им был сформулирован общий принцип расширения – абстрактный вариант принципа Лагранжа. На его основе были получены чрезвычайно общие достаточные условия глобальной оптимальности управляемых динамических систем, внесшие фундаментальный вклад в теорию оптимального управления. Направление исследований на основе этих условий органично включает в себя практически все аспекты теории оптимального управления: аналитические способы исследования оптимальных процессов, включая доказательство их глобальной оптимальности; численные методы поиска оптимальных процессов, включая нелокальные методы; построение минимизирующих (максимизирующих) последовательностей, когда оптимальный процесс не существует; исследование аномальных

и вырожденных процессов; построение простых субоптимальных решений с оценкой их степени оптимальности; синтез оптимальных стратегий управления с обратной связью и простых субоптимальных с оценкой их степени оптимальности.

Предлагаемые подходы отличаются от других известных в литературе тем, что решают проблему отыскания абсолютного оптимума, содержат продвинутые технологии отыскания аналитических решений, обладают алгоритмической простотой, в частности отсутствием необходимости решения краевых задач.



**Владимир Иосифович
Гурман**

Большой вклад в багаж научных исследований, накопленный в лаборатории, внёс работавший в ней в с 2007 г. по 2017 г. академик РАН Станислав Николаевич Васильев. Им были предложены эффективные алгоритмы метода редукции без использования априорных предположений о межмодельных связях; исследованы многорежимные системы, в том числе с переключениями нелинейных режимов; получены условия наличия динамических свойств типа стабилизируемости в сложных сочетаниях с фазовыми ограничениями и качеством переходных процессов. В сотрудничестве с другими институтами и вузами под его руководством велись работы по устойчивости и управлению в гетерогенных и некоторых других моделях динамических и интеллектуальных систем. Были развиты методы абдуктивно-дедуктивного вывода для интеллектуализации компьютерных систем автоматизации исследований, проектирования и управления.

Полученные Владимиром Фёдоровичем, его последователями и учениками научные результаты и методы вошли в монографии и учебники математических и технических дисциплин, читаются в университетских курсах, используются в НИИ и КБ при исследовании прикладных задач и проектировании конкретных изделий. Разработанные методы исследования оптимальных процессов широко используются для опти-

Следует отметить большую заслугу в развитии идей и методов В.Ф. Кротова доктора технических наук, профессора Владимира Иосифовича Гурмана, сотрудника лаборатории с 2014 г. по 2016 г., проведшего общее исследование предложенного В.Ф. Кротовым принципа расширения и его обобщений, детальное исследование вырожденных решений задач оптимального управления. В.И. Гурман получил точные и приближённые (с оценкой степени оптимальности) решения большого количества существенно нелинейных важных прикладных задач (аэрокосмических, робототехнических, физико-технических, эколого-экономических), подтвердив высокую эффективность методов В.Ф. Кротова.



**Станислав Николаевич
Васильев**

мизации траекторий движущихся объектов, анализа и синтеза их систем управления, моделирования и анализа развития многоотраслевой экономики и т.д.

Вокруг тематики исследований В.Ф. Кротова сформировался международный коллектив учёных, среди которых десятки кандидатов и докторов наук (и иностранных учёных с эквивалентными званиями).

Научные интересы В.Ф. Кротова не ограничивались теорией оптимального управления. Им была предложена теория, обобщающая общую теорию относительности Пуанкаре-Эйнштейна, объединяющая теорию гравитации и электромагнитные и квантово-механические явления – общая теория поля.

Методы В.Ф. Кротова активно используются физиками, и соответствующие его работы широко цитируются в ведущих профильных зарубежных журналах. Метод В.Ф. Кротова по глобальному улучшению управления широко используется физиками. Например, член Международного консультативного Российского квантового центра профессор Tommaso Calarco использует метод В.Ф. Кротова в ряде своих исследований.

Созданный В.Ф. Кротовым, его последователями и учениками математический аппарат оказался эффективным инструментом исследования не только в теории оптимального управления детерминированными системами, описываемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями. Он был применён к задачам с распределёнными параметрами, системам с дискретным временем, сложным многоуровневым системам, стохастическим системам, игровым задачам и задачам с неопределённостью, в теории инвариантных систем.

Указанные выше научные результаты Вадима Фёдоровича Кротова, его последователей и учеников лежат в основе деятельности лаборатории.



**Зав. лаб. № 45
Михаил Михайлович
Хрусталёв**

С 2015 г. лабораторию возглавляет доктор физико-математических наук, профессор Михаил Михайлович Хрусталёв, последователь и продолжатель научного направления, созданного В.Ф. Кротовым.

Им ещё при жизни Вадима Фёдоровича были предложены и строго обоснованы достаточные и необходимые условия глобальной оптимальности систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, обобщающие условия В.Ф. Кротова и применимые, в том числе, к задачам с ограничениями на состояние. Тем самым, для таких систем было дано окончательное решение проблемы Лагранжа.

В работах М.М. Хрусталёва было дано обобщение условий глобальной оптимальности В.Ф. Кротова на стохастические системы диффузионного типа, функционирующие в условиях неполноты информации о состоянии и на стохастические дифференциальные игры многих лиц (равновесие по Нэшу). Уже в процессе работы в лаборатории совместно с учениками проведено широкое исследование задач оптимального управления линейными и квазилинейными стохастическими системами по неполному вектору состояния, функционирующими на заданном конечном и неограниченном интервале времени.

С использованием аппарата функций типа Кротова М.М. Хрусталёвым были получены необходимые и достаточные условия в задаче слабой (терминальной) инвариантности Л.И. Розоноэра. Предложено обобщение задачи Л.И. Розоноэра – абсолютная инвариантность (независимость терминального критерия от текущих возмущений и начального состояния системы). Для этой задачи найдены достаточные условия. И, наконец, в 2017-18 гг. М.М. Хрусталёвым была поставлена новая задача терминальной инвариантности стохастических систем диффузионного типа. Для этой задачи получены достаточные условия инвариантности, не имеющие аналогов в мировой литературе.

Указанные направления исследований М.М. Хрусталёва интенсивно развиваются в лаборатории им самим и его учениками.

Направления научных исследований лаборатории в настоящее время (традиционные и новые):

- Развитие теории управления стохастическими динамическими системами, функционирующими в условиях неполноты информации о состоянии и неопределённости их моделей.
- Исследование проблем терминальной инвариантности детерминированных и стохастических систем.
- Дальнейшее развитие основных принципов теории В.Ф. Кротова (принцип расширения) и перенос их на новые классы задач оптимального управления.
- Разработка методов синтеза стратегий управления стаями беспилотных движущихся объектов на основе механики Аристотеля и потенциальных скоростных полей.
- Разработка теоретических основ автоматизации управления мехатронными подвижными объектами на основе ситуационной методологии, методов и технологий искусственного интеллекта с использованием эллипсоидальной и полиэдральной оптимизации процессов управления с учётом ресурсных ограничений в условиях штатных, конфликтных и критических ситуаций.
- Синтез стратегий оптимального управления системами, допускающими расширенную линеаризацию.
- Управление движением и стабилизация морских подвижных объектов в условиях неспокойной среды движения и возможных аварийных ситуаций.
- Прикладные исследования, связанные с оптимальным управлением космическими, морскими, авиационными и робототехническими объектами, макроэкономическими процессами, биолого-медицинскими процессами и др.

ЛАБОРАТОРИЯ № 46

СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ



**Основатель и
первый зав. лаб. № 46
Эдуард Анатольевич Трахтенгерц**

В 1967 г. для проведения работ по развитию теории и методов разработки программного обеспечения автоматизированных систем управления была создана отдельная группа под руководством Эдуарда Анатольевича Трахтенгерца. В группе развернулись как теоретические исследования в этом направлении, результатом которых стала публикация нескольких монографий и брошюр, так и большие практические работы. Сотрудники группы принимали участие в реализации таких крупных проектов, как «Сирена», гибридного вычислительного комплекса ГВС-100 и др. (Э.А. Трахтенгерц, С.Я. Виленкин, Л.Н. Горинович, В.А. Пронина, А.Н. Таранова).

В 1973 г. группа была преобразована в лабораторию во главе с Э.А. Трахтенгерцем. Её основным направлением стали исследование и разработка теории и методов создания архитектуры и программного обеспечения высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем. Результатом теоретических исследований явилась защита двух докторских (Э.А. Трахтенгерц, С.Я. Виленкин) и свыше 20 кандидатских диссертаций. Основной практический результат лаборатории в 70–80-е гг. – создание программного обеспечения высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем (Э.А. Трахтенгерц, Л.Н. Горинович, В.А. Пронина, А.В. Бабичев, Е.Л. Кулида, В.Г. Лебедев).

За работы, выполненные в эти годы, сотрудники лаборатории неоднократно награждались различными дипломами.

С 1991 г. по настоящее время лабораторией руководит доктор технических наук Валентин Григорьевич Лебедев, один из учеников Э.А. Трахтенгерца.

С начала 90-х гг. лаборатория занимается исследованием и разработкой теории и методов создания компьютерных систем поддержки принятия решений.

Из практических работ этих лет можно отметить создание систем автоматизации проектирования электрооборудования для АНТК им. А.Н. Туполева (В.Г. Лебедев, А.М. Миллер, М.Ю. Ходжаянц), участие в создании системы поддержки принятия решений по ликвидации последствий радиационного воздействия (Э.А. Трахтенгерц), создание прототипа системы поддержки принятия решений для



Зав. лаб. № 46
Валентин Григорьевич
Лебедев

экипажа летательного аппарата (В.Г. Лебедев, Е.Л. Кулида, И.П. Крюкова) совместно с Раменским проектно-конструкторским бюро и Военно-воздушной академией им. Ю.А. Гагарина, создание системы автоматизированного управления электропечью постоянного тока для выплавки кремния на Запорожском алюминиевом комбинате (В.А. Пронина, Е.Л. Кулида, З.Н. Пех совместно с лаб. № 29) и другие работы.

В конце 90-х гг. в лаборатории был разработан графический интерактивный подход для построения программных средств моделирования и системного анализа, применённый при проектировании высокопроизводительного процессора цифровой обработки сигналов по заказу фирмы *Nova Management* (США) (В.Г. Лебедев, Е.Л. Кулида, И.П. Крюкова).

Разработана и исследована концепция построения информационного обеспечения систем поддержки принятия оперативных решений, которая заключается в выделении информационного ядра системы, содержащего информационные модели объекта управления и внешней среды, и функциональной части системы, реализующей методы обработки определённых в информационном ядре типов информационных моделей.

На основании Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в РФ», используя принципы современного комплексного анализа экологической ситуации в зоне техногенного воздействия объекта уничтожения химического оружия, разработана и обоснована методология построения центра сбора и обработки информации об экологической обстановке для объектов повышенного риска. Предложена функциональная, информационная и программно-аппаратная структура такого центра, которая обеспечивает высокоэффективную комплексную систему слежения, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды, своевременное предупреждение о критических ситуациях. Созданы информационно-аналитические центры систем производственного экологического мониторинга на трёх объектах уничтожения химического оружия (В.Г. Лебедев, Е.Л. Кулида, И.П. Крюкова совместно с другими лабораториями Института).

В рамках работ по этой Федеральной целевой программе в лаборатории разработана и исследована методика построения компьютерных тренажёрных комплексов. Созданные комплексы позволяли вести отработку практических навыков, вовлекая операторов в процесс оперативного управления реально изменяющимся динамическим объектом при штатных и аварийных режимах его функционирования.

Одним из важных направлений работ лаборатории в последние годы является разработка методов, моделей и алгоритмов управления движущимися объектами с учётом факторов конфликтности для систем поддержки принятия решений экипажами летательных аппаратов и морских подводных объектов. Совместно с другими

лабораториями Института разработан макет системы поддержки принятия решений по управлению морским подводным объектом в режиме реального времени, в котором осуществляется оптимизация траектории и параметров движения по комплексному критерию с учётом различных физических полей (Е.Л. Кулида, Г.С. Вересников, Н.А. Егоров).

Совместно с Центральным аэрогидродинамическим институтом им. Н.Е. Жуковского предложена методика использования бортовой модели самолёта для прогноза его движения, обнаружения потенциальных конфликтных ситуаций и определения реализуемости траекторий, сгенерированных для разрешения конфликтов. В рамках данной работы проводятся исследования и разработка методов и алгоритмов управления маневрированием самолёта на малой высоте в условиях многокритериальности, неопределённости и риска, связанных со сложным рельефом местности, погодными факторами и воздушным движением (Е.Л. Кулида, Н.А. Егоров).

Разработаны и апробированы методики, методы и модели для поддержки принятия решений при предварительном проектировании летательных аппаратов в условиях эпистемической и смешанной неопределённости. Полученные результаты предназначены для повышения эффективности длительного итерационного процесса проектирования, требующего автоматизации решения расчётных и оптимизационных многокритериальных задач большой размерности (Г.С. Вересников, Л.А. Панкова, В.А. Пронина).

Коллектив лаборатории все годы своего существования – более 50 лет – осуществляет свою научную и практическую деятельность, проводя перспективные фундаментальные исследования в области развития теории и методов построения систем поддержки принятия решений и сложных информационно-управляющих комплексов.

ЛАБОРАТОРИЯ № 49

ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Лаборатория была создана в 1968 г. известным учёным в области теории автоматического управления – Семёном Исааковичем Бернштейном.

С 1989 по 2013 г. лабораторией руководил д.т.н., проф. Манучер Хабибуллаевич Дорри. В настоящее время заведующим лабораторией является д.т.н. Георгий Григорьевич Гребенюк. В составе лаборатории – 16 человек, из них 6 докторов и 6 кандидатов технических и физико-математических наук.



**Манучер Хабибуллаевич
Дорри**

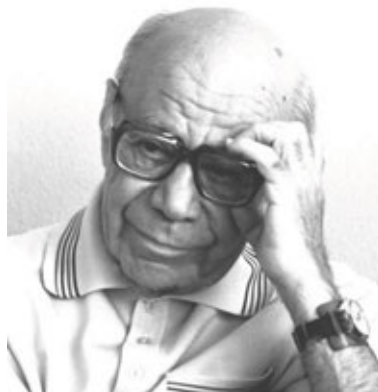
Лаборатория традиционно вела исследования в двух взаимосвязанных направлениях разработок:

- структур и алгоритмов управления сложными динамическими объектами, в частности, энергетическими установками и морскими подвижными объектами;
- принципов построения и создания программного обеспечения автоматизированного проектирования систем управления и экспертных систем для оценки принимаемых решений.

При построении самой быстроходной в мире атомной подводной лодки (АПЛ) Проекта 705 лаборатория внесла большой вклад в разработку системы управления и исследование динамики ядерной энергетической установки, а также в успешное проведение её испытаний.

Был выполнен цикл работ по развитию идей автоматизации новых проектов кораблей. Разработаны системы автоматического управления техническими средствами перспективных морских объектов и систем автоматизированного управления технологическими процессами. В частности, предложен и реализован в разработанном макете метод снижения шумоизлучения АПЛ средствами САР, проведены успешные испытания на корабле, подтвердившие теоретические расчёты.

Сотрудники лаборатории были приглашены для научного руководства процессом автоматизации новой серии атомных ледоколов («Арктика», «Сибирь»).



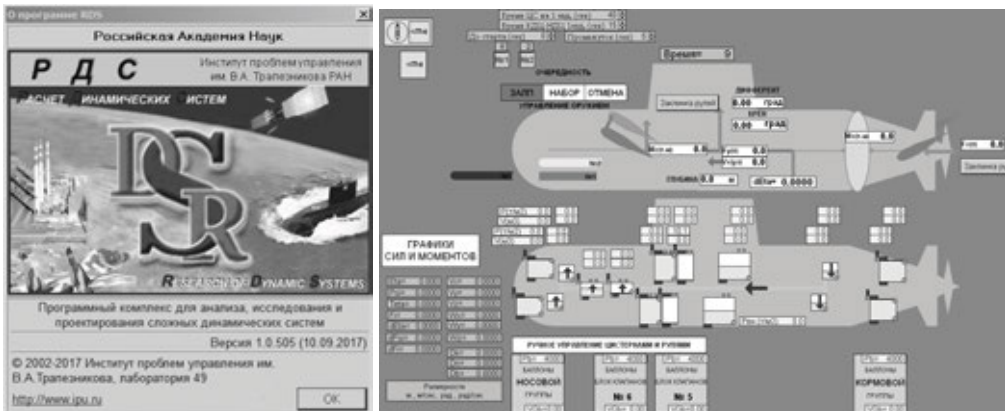
**Основатель и
первый зав. лаб. № 49
Семён Исаакович
Бернштейн**



Сотрудники лаборатории на борту атомного ледокола «Сибирь»

Были решены теоретические вопросы, связанные с расчётом уравнений тепло-массопереноса на вычислительных машинах и обоснованием структурно-иерархического построения инструментальных средств автоматизации динамического анализа и расчёта систем управления. Предложены процедуры и алгоритмы исследования устойчивости, моделирования, оптимизации параметров и т.п.

Теоретические работы легли в основу создания под руководством М.Х. Дорри программного комплекса РДС (расчёт динамических систем) для анализа и синтеза систем управления, который нашёл широкое применение в НИИ и вузах страны. Комплекс по ряду характеристик превосходит известные отечественные и зарубежные аналоги и позволяет строить полномасштабные исследовательские стенды для анализа поведения сложных технических объектов.



Эмблема комплекса РДС

Фрагмент отображения моделирующего стенда

Комплекс РДС хорошо приспособлен к решению динамических и логических задач и обладает такими возможностями, как визуальное создание иерархических блок-схем систем управления, задание логики работы блоков систем, групповое изменение характеристик блоков и т.п. Эти свойства использованы при построении информационной модели теплоснабжения Москвы и в решении других задач жизнеобеспечения города.

Под руководством д.т.н. Г.Г. Гребенюка в 90-е годы зародилось новое направление: разработка информационно-аналитических автоматизированных систем для управления крупными организационно-техническими комплексами, такими как топливно-энергетическое хозяйство (ТЭХ) мегаполиса.

Эти комплексы характеризуются недостаточной структуризацией объектов, задач, процессов управления, множественностью связей между ними. Принят в промышленную эксплуатацию ряд крупных автоматизированных систем, в том числе направленных на повышение энергоэффективности объектов ТЭХ Москвы.

Дальнейшее развитие данного направления связано с разработкой моделей и методов повышения безопасности инфраструктурных сетевых объектов, например, систем энерго-, водо- и топливоснабжения. Идёт разработка методов и средств проектирования больших информационно-управляющих систем с использованием многоаспектного подхода.



Зав. лаб. № 49
Георгий Григорьевич
Гребенюк

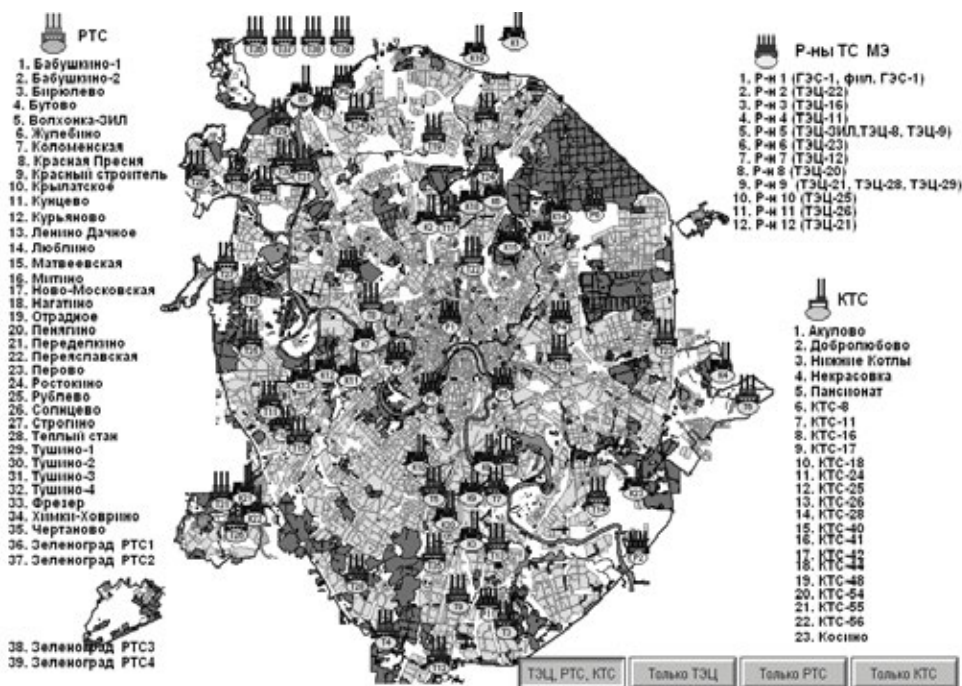


Схема электроснабжения города Москвы

На основе методов и подходов, связанных с искусственным интеллектом, лаборатория разрабатывает методы анализа ситуаций в пространстве нечётких отношений для моделирования поведения сложных дискретных объектов и процессов. Это направление возглавляет д.т.н., проф., В.В. Девятков. Объектом исследования являются системы информационной поддержки процессов управления сложными организационно-техническими комплексами с мультиагентной архитектурой. Рассматриваемые задачи исследования мультиагентных систем охватывают методы распознавания образов, вывода заключений, представления и модификации знаний, методы планирования и поиска целей, защиты информации и др. За последние годы в рамках данного направления проведены теоретические исследования по развитию нечёткозначных исчислений, которые могут использоваться для разработки моделей агентов. Кроме того, развиты методологии использования этих исчислений для создания агентов в области распознавания ситуаций в различных сферах. Продолжается исследование методологий разработки агентов для анализа ситуаций на объектах городского хозяйства.

В 2017 г. к лаб. № 49 была присоединена лаб. № 59, которой руководил д.т.н., проф. Г.Н. Калянов. Основным направлением исследований этой лаборатории была разработка методов автоматизации управления организационными процессами. В



**Георгий Николаевич
Калянов**

лаб. № 49 это важное направление было сохранено. Исследования базируются на созданной в бывшей лаб. № 59 формальной теории бизнес-процессов, обеспечивающей целостный подход к анализу, синтезу и управлению системами рассматриваемого класса.

Основными результатами, полученными в этой области, являются: методология реорганизации бизнес-процессов, обеспечивающая (на базе формальных методов) проектирование, тестирование и верификацию бизнес-процесса; методология численного моделирования конвейерных процессов, определяемых рекурсивными функциями; методология комплексного управления безопасностью бизнес-процессов и информационных систем.

Сотрудники лаборатории активно занимаются преподавательской деятельностью. На основе проведенных исследований и накопленного опыта ими подготовлен и читается ряд авторских курсов лекций в ряде вузов: МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ, МВТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ «СТАНКИН», НИУ ВШЭ, МЭСИ, РЭУ им. Г.В. Плеханова, МИРЭА, Академии экономической безопасности МВД.

Таковы основные направления деятельности лаборатории, которые нацелены на разработку теории, принципов и методов построения систем управления в области энергетики, управления подвижными объектами и информационной поддержки многоцелевых организационно-технических комплексов.

ЛАБОРАТОРИЯ № 57

АКТИВНЫХ СИСТЕМ



Зав. лаб. № 57
Владимир Николаевич Бурков

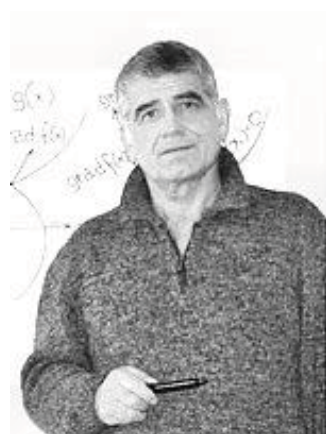
исследований является математическое моделирование (системный анализ, теория игр, теория принятия решений, исследование операций) процедур принятия управленческих решений.

Начало теории активных систем связано с предложенным в 1969 г. В.Н. Бурковым механизмом открытого управления активными системами, в котором в качестве ограничений задачи выбора оптимального плана системы выступали условия максимума целевых функций агентов (условия совершенного согласования). Учёт интересов агентов гарантировал достоверность предоставляемой ими информации.

В 70–80-х гг. исследования по теории активных систем были направлены в основном на решение двух проблем. Первая связана с ответом на вопрос, в каких случаях механизм открытого управления (в котором агентам выгодно сообщать достоверную информацию) является оптимальным, вторая – с ответом на вопрос, в каких случаях оптимальным является механизм согласованного планирования, в котором состояние, выбираемое агентом, совпадает с его планом. Первая проблема была решена для активных систем с одним агентом, механизмов распределения ограниченных ресурсов, механизмов активной экспертизы (доказаны теоремы об оптимальности механизмов открытого управления – В.Н. Бурков, А.К. Еналеев, В.И. Опойцев). Для

В 1973 г. в лаборатории С.В. Емельянова был создан сектор деловых игр на основе научной группы лаборатории А.Я. Лернера. В 1974 г. сектор был преобразован в лабораторию активных систем, которую возглавил доктор технических наук Владимир Николаевич Бурков – основоположник теории активных систем. Основное научное направление лаборатории связано с развитием методов анализа и синтеза механизмов управления в активных организационных системах.

Активная система – это модель организационной системы, в которой в существенной степени учитываются наличие несовпадающих интересов у субъектов управления (агентов) и их активное поведение, то есть представление информации управляющему органу (центру) и выбор действий исходя из собственных интересов. Основным методом исследования



Валерий Иванович
Опойцев



**Николай Андреевич
Коргин**

второй проблемы совместно с научной школой профессора А.А. Ашимова (Казахстан) были получены достаточные условия на функции штрафов за отклонение состояния агента от плана, при выполнении которых механизм согласованного планирования является оптимальным (А.К. Еналеев, В.В. Кондратьев, О.К. Сагынғалиев, Б.А. Джапаров, Б.К. Уандыков и др.). В тот же период были разработаны и внедрены на предприятиях цветной металлургии первые



**Дмитрий Александрович
Новиков**

автоматизированные системы согласованного планирования, в приборостроении – автоматизированные системы оценки результатов деятельности предприятий, созданы автоматизированные системы высокой эффективности и качества работы в радиопромышленности (Н.С. Палюлис, Л.Ф. Марин и др.), разработаны совместно с научной школой профессора В.П. Авдеева (г. Новокузнецк) многоканальные механизмы управления, внедрённые на предприятиях чёрной металлургии в АСУ «Советчик оператора» (А.К. Еналеев, Т.В. Киселёва и др.).

Отметим также научную школу проф. И.А. Горгидзе (Грузия), внесшую существенный вклад в развитие механизмов согласованного планирования, стимулирования и комплексного оценивания (И.А. Горгидзе, Г.С. Джавахадзе, С. Хуцишвили и др.).

В конце XX – начале XXI века теория активных систем получила новые практические приложения и развивается по следующим направлениям:



**Михаил Владимирович
Губко**

- механизмы управления мультиагентными активными системами (А.К. Еналеев, Д.А. Новиков, Н.А. Коргин, А.В. Щепкин);
- теория эволюционного развития (В.В. Цыганов);
- многоуровневые активные системы и задачи синтеза структур, включая сетевые структуры (М.В. Губко);
- механизмы информационного управления, учитывающие рефлексивное поведение агентов (Д.А. Новиков, Н.А. Коргин, В.О. Корепанов, Д.Н. Федянин, В.В. Бреер);



**Александр Васильевич
Щепкин**

- механизмы управления проектами (В.Н. Бурков);

- механизмы комплексного оценивания (В.Н. Бурков, В.Н. Гинз, Н.А. Коргин, А.В. Щепкин).



**Ирина
Владимировна
Буркова**

Многие задачи синтеза механизмов управления сводятся к сложным, как правило, многоэкстремальным задачам оптимизации. В лаборатории был развит ряд новых подходов к решению таких задач. На основе развития методов оптимизации функций, представленных в дихотомическом виде, предложен новый метод решения задач дискретной и непрерывной оптимизации – метод сетевого программирования Беллмана и метод множителей Лагранжа (В.Н. Бурков, И.В. Буркова). Для экспериментального исследования сложных систем в лаборатории создана группа деловых игр и имитационного моделирования (А.В. Щепкин, Н.А. Коргин, В.О. Корепанов, Д.Н. Федянин).

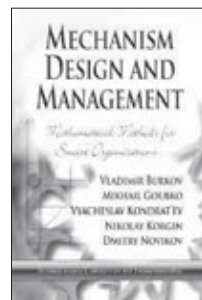
Полученные результаты используются на практике при управлении системами разного масштаба – от бригады и цеха до отрасли и региона. На сегодняшний день основные прикладные работы связаны с разработкой методик и информационных технологий управления проектами, а также реформирования и реструктуризации предприятий, включая разработку механизмов комплексного оценивания в задачах регионального и корпоративного управления.

Лаборатория более 40 лет является организатором международных научно-практических конференций по управлению системами «Теория активных систем», «Управление большими системами», «Современные сложные системы управления», организуемых совместно с Воронежским государственным техническим университетом, Липецким техническим университетом и рядом других университетов (Тверь, Старый Оскол и др.). Сотрудники лаборатории опубликовали более тысячи работ, в том числе десятки монографий, учебников и учебных пособий.

В лаборатории сегодня работают 10 докторов и 7 кандидатов наук. Ряд сотрудников лаборатории – профессора и преподаватели кафедры интегрированных киберсистем Московского физико-технического института (Н.А. Коргин, Д.А. Новиков, М.В. Губко, А.В. Щепкин).

Лаборатория является центром научной школы по активным системам, объединяющим научные коллективы в России и ряде других стран: Казахстан, Белоруссия, Литва, Украина, Грузия, Болгария, Узбекистан.

Актуальная информация о научной деятельности лаборатории представлена на сайте mtas.ru



**Лаборатория № 57 –
система активная!**

ЛАБОРАТОРИЯ № 67

ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ



**Зав. лаб. № 67
Роберт Михайлович
Нижегородцев**

Лаборатория создана в декабре 2011 г. путём отделения от лаб. № 57 группы сотрудников, работавших в области управления инновационным развитием и экономической динамикой макросистем. Лабораторию возглавил доктор экономических наук Роберт Михайлович Нижегородцев. Основное направление научной работы лаборатории – управление современными экономическими системами.

Сотрудниками лаборатории обоснована и активно разрабатывается парадигма неравновесия в управлении макроэкономическими системами. Широко применяется аппарат сценарного анализа к изучению траекторий неравновесных макроэкономических систем и управлению их динамикой. Разработанные методики нашли применение, в частности, в задачах анализа и прогнозирования динамики отдельных стран и регионов мирового

хозяйства в период экономического кризиса 2008–2009 гг., в разработке механизмов демпфирования и преодоления кризисных явлений.

На основе применения аналитических и имитационных моделей (в том числе импульсных динамических моделей и клеточных автоматов) получены результаты в области управления региональной экономикой и её моделирования. Разрабатываются сценарии развития регионов и отдельных территорий, проводится институциональный анализ региональных инновационных систем.

Коллективом лаборатории решаются разнообразные задачи управления технологическими сдвигами на уровне предприятий и отраслей. В частности, решаются задачи управления инновационными стратегиями инвесторов, оптимизации объёмов инвестирования в разработку и внедрение новых технологий, территориального размещения наукоёмких производств. Предложены методы оценки эффективности внедрения инновационных технологий в различных отраслях.

На основе применения аппарата регрессионного анализа разработаны методики и проведены оценки вклада информационного производства в экономический рост современных макросистем – стран и регионов. Оценено воздействие экономических циклов различной природы на динамику технологических сдвигов.

Полученные результаты применены к задачам управления развитием инно-

вационной, транспортной и финансовой инфраструктуры отдельных регионов Российской Федерации, в частности регионов Севера и Арктики, а также к задачам управления формированием и развитием региональных инновационных кластеров.

Разрабатываются нелинейные регрессионные модели управления монетарной сферой, в частности нелинейные модели связи между темпами инфляции и объёмом денежной массы (в том числе обобщения формулы Ирвинга Фишера), концепция NSEGRI (non-slowng economic growth rate of inflation – не замедляющий экономический рост уровень инфляции), модели связи между динамикой уровня цен и показателями динамики реального сектора, модели межрегиональной дифференциации, модели оптимизации объёма и структуры государственных расходов (кривая Арми–Рана и её многочисленные аналоги) и др.

Сотрудниками лаборатории активно разрабатывается и применяется инструментарий стратегического менеджмента, в частности, функционально-институциональный анализ, зодиакальная модель цикла принятия решений, матрица стилей руководства, модели управления компетенциями в организации.

В 2017 г. в состав лаборатории вошла группа сотрудников (из бывшей лаб. № 13), предметным полем работы которых являются задачи экспертного прогнозирования и управления научными исследованиями и разработками.

Основные направления работы лаборатории:

- Управление инновациями (Р.М. Нижегородцев, В.В. Клочков, С.В. Ратнер, В.Д. Секерин, Н.А. Петухов, Н.Н. Тренёв, А.Н. Шмелёва).
- Макроэкономическое регулирование, экономическая политика (Р.М. Нижегородцев, Н.П. Горидько, С.В. Ратнер, В.В. Клочков, А.Н. Шмелёва).
- Информационная экономика, управление наукой и образованием (Р.М. Нижегородцев, В.В. Клочков, М.Ю. Архипова, Н.П. Горидько, С.А. Салтыков, Е.Ю. Русяева, Н.А. Петухов).
- Моделирование и прогнозирование экономической динамики (Р.М. Нижегородцев, М.Ю. Архипова, П.В. Терелянский, Ю.В. Сидельников).
- Управление отраслевыми рынками (В.Д. Секерин, А.Е. Горохова, Л.Э. Горлевская, С.В. Ратнер, И.Ю. Швец, А.Н. Шмелёва, А.В. Лукина, А.В. Карев).
- Эволюционная и институциональная экономика (Р.М. Нижегородцев, Н.Н. Тренёв, Ю.Ю. Швец).
- Экономическая статистика, эконометрика, интеллектуальный анализ данных (М.Ю. Архипова, С.В. Ратнер, Н.П. Горидько, Н.А. Рослякова).

Начиная с 2006 г., ещё до образования лаборатории, её нынешний научный коллектив организует ежегодные международные научно-практические конференции «Управление инновациями», а также международные научные конференции «Друкеровские чтения», которые с 2006 по 2018 г. проводились 27 раз. Соорганизаторами выступают ведущие научные учреждения и учебные заведения России и других стран: МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт экономики РАН,

Московский авиационный институт, Институт экономики УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт экономических исследований (г. Астана, Республика Казахстан), Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины (Республика Беларусь) и др.

В лаборатории сегодня работают 26 сотрудников, в том числе 11 докторов и 9 кандидатов наук. Ряд сотрудников лаборатории – профессора ведущих вузов страны: Российского университета Дружбы народов (С.В. Ратнер), Национального исследовательского университета – Высшей школы экономики



**Сотрудники лаб. № 67
на 20-х Друкеровских чтениях (март 2015 г.)**

(М.Ю. Архипова), Государственного университета управления (П.В. Терелянский), Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова (И.Ю. Швец), Московского политеха (В.Д. Секерин, А.Е. Горохова), Московского авиационного института (Ю.В. Сидельников). Ключевыми сотрудниками, постоянно и активно участвующими в исследовательском процессе, являются: д.э.н. М.Ю. Архипова, к.э.н. Н.П. Горидько, к.э.н. Л.Э. Горлевская, д.э.н. А.Е. Горохова, д.э.н. В.В. Клочков, к.э.н. Н.А. Петухов, д.э.н. С.В. Ратнер, Н.А. Рослякова, д.э.н. В.Д. Секерин, д.т.н. Ю.В. Сидельников, д.э.н. Н.Н. Тренёв, д.э.н. И.Ю. Швец, к.э.н. Ю.Ю. Швец, д.э.н. А.Н. Шмелёва. Сотрудники лаборатории успешно руководят аспирантами и докторантами, участвуют в работе диссертационных советов, привлекают к проведению научных исследований студентов. За время существования лаборатории ее сотрудниками опубликовано более двух тысяч научных работ, в том числе десятки монографий, учебников и учебных пособий. Ежегодно сотрудники лаборатории публикуют более 200 научных работ, в том числе более 10 научных монографий.

Лаборатория широко сотрудничает с научно-исследовательскими коллективами России и ряда других стран: Украины, Белоруссии, Казахстана, Польши, Словакии. Она организует совместные исследования, научные форумы и публикации, что способствует взаимному обогащению научных школ.

ЛАБОРАТОРИЯ № 68

ТЕОРИИ РАСПИСАНИЙ И ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Лаборатория основана в 2009 г. на базе сложившейся к тому времени в Казанском государственном университете научной группы (<http://www.orsot.ru>), возглавляемой доктором физико-математических наук, профессором Александром Алексеевичем Лазаревым. Сегодня это единственная в России лаборатория по теории расписаний. В настоящее время в ней работают 13 человек, из которых 2 доктора и 1 кандидат физико-математических, один доктор и 1 кандидат технических наук. Сотрудники преподают в Высшей школе экономики, Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова и Московском физико-техническом институте.

Сотрудники занимаются сложными практическими задачами теории расписаний, комбинаторной оптимизации, объёмно-календарного планирования, а также изучают модели, возникающие при исследовании практических задач планирования и управления комплексами взаимосвязанных операций при ресурсных ограничениях.

При исследовании *NP*-трудных задач комбинаторной оптимизации существенным является изучение структуры сложности примеров, получение новых свойств оптимальных решений и построение на их основе полиномиальных и псевдополиномиальных алгоритмов решения частных случаев этих задач. Полученные свойства и алгоритмы выделенных полиномиально разрешимых частных случаев могут быть использованы при построении эффективных алгоритмов нахождения точных и приближённых решений для общего случая задачи. Аналогичный подход выделения частных случаев задач, нахождения их эквивалентных хорошо изученных постановок и построения алгоритмов решения является эффективным при исследовании возникающих на практике задач большой размерности.

Сотрудниками лаборатории разработан метод изменения параметров, который позволяет находить приближённое решение с минимальной абсолютной погрешностью целевой функции из области допустимых (полиномиально разрешимых) решений для задач объёмно-календарного планирования.

В лаборатории активно развивается новый метод решения задач комбинаторной и дискретной оптимизации, представляющий собой модификацию классического метода динамического программирования, основанного на принципе оптимальности Беллмана. Предложенный метод, названный «графическим», был успешно применён для решения ряда задач теории расписаний и дискретной опти-



Зав. лаб. № 68
Александр Алексеевич Лазарев

мизации, с его помощью можно существенно сократить трудоёмкость решения для некоторых задач комбинаторной оптимизации. Более того, показано, что для некоторых задач, трудоёмкость решения которых была неизвестна, можно построить полиномиальный алгоритм решения.

Научная группа нацелена на практическое применение сформулированных решений и построение эффективных методов нахождения точных и приближённых решений с гарантированной погрешностью для задач управления движением подвижных средств в транспортных и логистических системах, включая задачи формирования, маршрутизации и диспетчеризации транспортных потоков, а также задач планирования и управления комплексом взаимосвязанных операций.

Основные направления работы:

- *NP*-трудные задачи теории расписаний, объёмно-календарного планирования и смежных областей комбинаторной и дискретной оптимизации.
- Графические алгоритмы получения приближённых решений *NP*-трудных задач теории расписаний.
- Новые методы решения трудоёмких задач на основе графического подхода.
- Разработка и внедрение информационных систем с математической составляющей.
- Получение эффективных метрик для рассматриваемых задач и построение на их основе полиномиальных алгоритмов решения с гарантированной абсолютной погрешностью.
- Задачи управления движением на железнодорожном транспорте.
- Задачи управления движением в транспортных сетях.
- Методы оптимизации при составлении учебных расписаний вузов.
- Задачи управления инвестиционным портфелем.

Лаборатория имеет богатый опыт в создании интерфейсов и программных комплексов для решения учётно-аналитических задач. Сотрудники участвовали в создании ИТ-продуктов для известных фирм «1С», «Главстрой», *Siemens*, *Wabco* и др.

К настоящему времени сотрудниками опубликовано около 300 работ, в том числе 29 книг: монографии, учебники и учебные пособия для ведущих университетов нашей страны. Более 60 работ опубликовано в изданиях, индексируемых *Web of Science* или *Scopus*. Сотрудники лаборатории редактируют раздел «Исследование операций» реферативного журнала «Математика» (ВИНИТИ), работают в редколлегиях журналов «Автоматика и телемеханика», «Проблемы управления», «Управление большими системами» и диссертационных советах.

Лаборатория сотрудничает с рядом крупных зарубежных научных центров: *Otto-von-Guericke University* (г. Магдебург, Германия), *CNRS Institute for Information Science and Technology*, *INRIA* (г. Бордо, Франция), *Ecole des Mines de Nantes* (г. Нант, Франция), *Sydney University of Technology* (Австралия). Полученные в лаборатории теоретические и прикладные результаты соответствуют мировому уровню, что подтверждается успешной апробацией на ведущих международных конференциях и публикациями в международных изданиях.

ЛАБОРАТОРИЯ № 69

УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ СИСТЕМАМИ



**Зав. лаб. № 69
Владимир Миронович
Вишневский**

В состав лаборатории входит 26 сотрудников (включая 7 докторов наук и 4 кандидатов наук); возглавляет лабораторию доктор технических наук, профессор Владимир Миронович Вишневский.

Основным направлением работ лаборатории является разработка теоретических основ построения и управления перспективными широкополосными сетями обработки и трансляции мультимедийной информации (next generation networks), включая сверхвысокоскоростные, самоорганизующиеся сети миллиметрового диапазона радиоволн (71-76 ГГц, 81-86 ГГц) и гибридные сети на базе лазерной и радиотехнологий.

Важным направлением работ лаборатории является также разработка нового поколения систем управления безопасностью интеллектуальными транспортными системами с использованием RFID-технологий и новейших беспроводных средств. Ведутся разработки привязных высотных, беспилотных, телекоммуникационных платформ, не имеющих мировых аналогов.

Исследования лаборатории финансово поддержаны грантами Российского научного фонда (РНФ), Министерства образования и науки РФ, Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и рядом договоров с телекоммуникационными фирмами.

Исследования лаборатории финансово поддержаны грантами Российского научного фонда (РНФ), Министерства образования и науки РФ, Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и рядом договоров с телекоммуникационными фирмами.

В рамках проведения научных и практических работ в области широкополосных беспроводных сетей нового пятого поколения (5G) лаборатория активно сотрудничает с ведущими зарубежными научными коллективами, включая: научную группу из США, возглавляемую проф. С. Чакраварти (Университет Кеттеринг); научную группу из Англии, возглавляемую проф. Д. Грейсом (Университет г. Йорк); научную группу из Индии, возглавляемую проф. А. Кришнамурти (Университет г. Кочин); научную группу из Республики Корея, возглавляемую проф. Б.Д. Чои (Университет г. Сеул) и рядом других научных коллективов из университетов Польши, Венгрии, Болгарии, Белоруссии и Молдавии.

За последние 10 лет лабораторией выполнено свыше 18 НИР и ОКР, в рамках грантов федеральных и отраслевых научно-технических программ, РФФИ, по Программам РАН и хоздоговорам.

Основные результаты

Создана теория динамического управления стохастическими системами циклического опроса (Polling System). На базе этой теории разработаны методы, алгоритмы и программные средства, обеспечивающие минимизацию интерференции при передаче информации в региональных беспроводных сетях. Разработана серия отечественных радио и инфракрасных модемов, превосходящих по целому ряду параметров известные зарубежные аналоги.

Разработана информационно-справочная система «Маршруты» поиска оптимальных интермодальных маршрутов на пассажирском транспорте (авиационный, железнодорожный, автобусный, речной и морской транспорт). Её услугами воспользовались десятки миллионов пассажиров. Заключен контракт с корпорацией Google по использованию системы «Маршруты» на портале Google. Федеральной пассажирской компанией РЖД куплена лицензия на использование патента «Информационно-справочная система поиска оптимальных маршрутов на пассажирском транспорте».

Выполнен цикл работ по исследованию беспроводных сетей нового поколения, завершившихся публикацией монографии *В.М. Вишневецкий, С.Л. Портной, И.В. Шахнович «Энциклопедия WiMAX. Путь в 4G»* (М.: Техносфера, 2011, 470 с.). В 2012 г. на английском языке опубликована книга *V. Vishnevsky, O. Semenova. Polling System: Theory and Applications for Broadband Wireless Networks*. London: Academic Publishing, 2012, 317 p.

В период с 2012 по 2015 гг. разработана и реализована широкополосная беспроводная сеть вдоль окружной дороги г. Казань М7 Волга по заказу ГИБДД Республики Татарстан. Разработана технология и отечественные аппаратно-программные средства радиочастотной идентификации транспортных средств. При поддержке президента Республики Татарстан в г. Казань проведён успешный крупномасштабный эксперимент по реализации системы безопасности на автодорогах с использованием разработанной RFID-технологии. В рамках эксперимента участвовало около 1000 транспортных средств, номерные знаки которых были оснащены RFID-метками. В последние годы в лаборатории разработаны теоретические основы проектирования и реализованы экспериментальные образцы привязных высотных беспилотных телекоммуникационных платформ, имеющих широкое применение в гражданских и оборонных отраслях.

Разработанные в лаборатории образцы новой техники, технологии неоднократно получали награды на международных и всероссийских выставках: СеBIT (г. Ганновер, Германия), China Hi-The Fair (г. Шеньчжень, Китай), «ITEX'13»

ИПУ РАН: лаборатории

(г. Куала-Лумпур, Малайзия) в составе экспозиции Минобрнауки РФ (золотые и серебряные медали); на выставках информационных и коммуникационных технологий *SoftTool* (первое место в конкурсе лучших решений в области информационных технологий «Продукт года») и др. Американо-российским деловым союзом награждены золотыми медалями две инновационные разработки:

- автоматизированная система контроля нарушений ПДД на базе широкополосных беспроводных сетей и RFID-технологии (патент РФ № 992017);
- информационно-справочная система поиска оптимальных маршрутов проезда на пассажирском транспорте (патент РФ № 90594).

Сотрудники лаборатории ведут активную научно-организационную работу, являясь членами редколлегий ряда отечественных и зарубежных журналов, членами программных комитетов международных конференций, а также преподавательскую работу в Московском физико-техническом институте, Высшей школе экономики, Российском университете дружбы народов.

Лаборатория является организатором ежегодной конференции *Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications* (DCCN). В 21-ой конференции DCCN-2018, прошедшей в г. Москва в сентябре 2018 г., приняли участие более 250 ведущих ученых в области компьютерных сетей из 22 стран мира.

За последнее десятилетие сотрудниками лаборатории опубликовано свыше 400 научных работ, включая 9 монографий, 25 патентов на изобретения и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Последние научные результаты лаборатории нашли отражение в монографии *В.М. Вишневецкий. А.Н. Дудин. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях*. М.: Техносфера, 2018, 563 с. Книга переведена на английский язык и опубликована в издательстве *Springer International Publishing*.

ЛАБОРАТОРИЯ № 70

МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ



Зав. лаб. № 70
Павел Юрьевич Чеботарёв

Лаборатория образована в декабре 2015 г., объединив ряд сотрудников лаб. № 25. Заведует лабораторией доктор физико-математических наук Павел Юрьевич Чеботарёв.

В настоящее время в составе лаборатории 9 сотрудников, в том числе два доктора физико-математических наук, кандидат технических наук, кандидат физико-математических наук и два аспиранта.

В лаборатории разрабатывается несколько направлений теории многоагентных систем. Первое из них – децентрализованное управление сетевыми многоагентными системами, динамика которых в существенной мере определяется ориентированным графом информационных связей между агентами. Исследования

в этой области опираются на работы Р.П. Агаева и П.Ю. Чеботарёва по алгебраической теории ориентированных графов, ведущиеся с 90-х годов. Для ряда дискретных и непрерывных протоколов поиска консенсуса исследована асимптотика и получены выражения компонент предельных состояний через собственные проекторы лапласовских матриц ориентированных графов зависимости агентов. Получены теоремы о лесах и консенсусе, дающие теоретико-графовые интерпретации консенсусных решений. Предложено и исследовано несколько моделей латентного консенсуса, применимых в случаях, когда орграфы влияний агентов не имеют остовных исходящих деревьев.



Рафиг Паша-оглы Агаев

Другой аспект алгебраической теории графов – синтез и анализ метрик, мер близости, индексов центральности вершин – используется при исследовании структуры сетей различной природы. Такого рода меры необходимы, в частности, при решении задач кластеризации и классификации на графах. В работах лаборатории предложен, исследован и использован в анализе данных ряд новых мер близости и

алгебраических индексов вершин графов. Установлены их связи с характеристиками цепей Маркова.

Второе направление – анализ систем, динамика которых определяется коллективными решениями в стохастической среде. Эти работы продолжают проводившиеся в лаб. № 25 исследования моделей динамического голосования, инициированные А.В. Малишевским и М.А. Айзерманом. Особенность разрабатываемой лаб. № 70 модели ViSE (Voting in Stochastic Environment) – возможность изучения влияния на социальную динамику социальных установок участников, таких как эгоизм, коллективизм, альтруизм и др. В рамках данного направления конструируются механизмы кооперации, ищутся оптимальные для разных условий процедуры принятия коллективных решений и стимулирования участников. В частности, введено и исследовано понятие оптимального порога голосования. В работах по данному направлению участвуют сотрудники лаборатории З.М. Лезина, Я.Ю. Цодикова, А.К. Логинов, В.А. Малышев, В.А. Афонькин.

Направление исследований, развиваемое А.Б. Хмельницкой, состоит в конструировании и анализе кооперативных игровых решений при наличии ограничений на кооперативное поведение агентов. В классической теории кооперативных игр допустимой считается любая коалиция и при построении решений, определяющих платежи игроков, учитываются стоимости всех коалиций. Однако в приложениях часто оказывается, что не все коалиции реализуемы. Ограничения на кооперацию могут задаваться с помощью ориентированных (или неориентированных) графов или гиперграфов. Целью исследований является построение и анализ решений, учитывающих наложенные ограничения.

В лаборатории также ведется работа по наукометрии, в частности, разрабатывается подход к типизации учёных по библиометрическим данным.

ЛАБОРАТОРИЯ № 77

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ КИБЕРНЕТИКИ



Зав. лаб. № 77
Андрей Викторович
Макаренко

Лаборатория является одной из самых молодых в Институте. Она была создана в апреле 2017 г. в период реорганизации научной структуры ИПУ РАН с целью адекватного ответа на ряд вызовов, поставленных перед наукой об управлении в последнее время. Заведующим лабораторией был назначен кандидат технических наук Андрей Викторович Макаренко.

Вычислительная кибернетика, являющаяся основным научным направлением лаб. № 77, фактически интегрирует методы и подходы двух исследовательских дисциплин: собственно, кибернетики – как науки об управлении в широком смысле – с методами и подходами вычислительного интеллекта, ответвления искусственного интеллекта, который в качестве центральной научной парадигмы использует машинное обучение. Следует заметить, что здесь речь идёт скорее

о слабой форме искусственного интеллекта – о сверхадаптивных системах, нежели о его сильной форме – искусственном разуме.

Фундаментальные исследования в лаборатории ведутся на пересечении двух научных областей:

- *нелинейной динамики* – как основы для оценивания сложных динамических процессов и идентификации сложных динамических систем;
- *машинного обучения* – как основы для комплексного анализа больших массивов слабоструктурированных эмпирических данных и порождения над ними моделей, имеющих описательную, объяснительную и предсказательную силу.

При этом, как показывают проводимые в лаборатории исследования, данные научные области имеют существенное конструктивное взаимопроникновение. Так, решение отдельных, как правило, прикладных задач нелинейной динамики при помощи глубоких нейронных сетей получается существенно более эффективным, нежели при помощи классических методов и подходов. С другой стороны, применение методов нелинейной динамики в проектировании, обучении и анализе глубоких нейронных сетей позволяет существенно поднять качество и устойчивость функционирования последних.

Прикладные проекты (НИР) выполняются в лаб. № 77 по двум, ключевым для ИПУ РАН, специализациям:

- *комплексный анализ данных* со сложной нерегулярной структурой – фактически решаются задачи оценивания наблюдаемости объектов управления;
- *математическое моделирование* сложных нестационарных нелинейных систем (процессов) с преимущественно хаотическим поведением – фактически решаются задачи идентификации объектов управления и/или предсказания их динамики.

В лаборатории культивируется отказ от «снобизма» в части существования «идеального и единственно правильного метода решения задач управления». Решение всегда идёт от поставленной задачи с интеграцией направлений, подходов и методов, исходя из принципов системного подхода (системной инженерии). При этом профильные (предметно-ориентированные) специалисты обязательно, по умолчанию, входят в состав временных рабочих (проектных) групп. Подобная организация работ, как правило, создаёт предпосылки для существенных прорывов в исследуемой научной тематике и весомое конкурентное преимущество при решении сложных прикладных задач, так как проблематика управления гетерогенными и иерархическими системами (для каждого уровня, масштаба, области) требуют своего эффективного математического описания и хорошего понимания деталей решаемой задачи.

Следует также отметить ещё одну научную дисциплину, которая присутствует практически во всех начинаниях лаб. № 77, – математическая статистика и теория вероятностей (включая теорию случайных процессов). Это вызвано тем, что, с одной стороны, работа идёт с реальными объектами, а в реальном мире всё подвержено ошибкам, везде присутствуют шумы, пропуски, выбросы, и т.п., а с другой стороны – многие методы исследования сложных систем и/или процессов имеют вероятностную природу (например, метод Монте-Карло, методы обучения глубоких нейронных сетей, некоторые методы анализа хаотических отображений). Для того, чтобы судить о таких внешне простых вещах как «есть эффект» или «нет эффекта», «есть различие» или «нет различия» нужны статистические оценки. Без проверок статистических гипотез и соответствующих вероятностных моделей корректные, обусловленные выводы получить невозможно.

Из числа результатов, полученных сотрудниками лаборатории и имеющих теоретическое значение для анализа дискретных отображений, отметим следующие:

- Введена в рассмотрение T-синхронизация хаотических колебаний, которая обобщает ряд известных типов синхронизации. Существенный аспект: T-синхронизация позволяет исследовать в замкнутой форме временную структуру синхронизма хаотических систем.
- В дискретных отображениях обнаружен новый тип бифуркаций, так называемые TQ-бифуркации, которые связаны с качественным изменением формы траекторий динамических систем в расширенном пространстве состояний.

- Введён в рассмотрение новый подход к оцениванию сложности дискретных вещественных последовательностей, так называемая TQ-сложность. Существенный аспект: данная мера сложности является алгоритмически реализуемой и имеет низкую вычислительную сложность.

В противовес существующим стереотипам, что глубокие нейронные сети эффективно функционируют только на данных имеющих ярко выраженные структурные паттерны, в лаб. № 77 проводятся исследования по применению нейронных сетей к задачам обработки хаотических и случайных процессов и полей. В данном направлении получены два интересных результата:

- Продемонстрирована конструктивная применимость свёрточных глубоких нейронных сетей к идентификации хаоса в задачах обработки сигналов. Показана возможность решения глубокими свёрточными нейронными сетями задачи прямого оценивания старшего показателя Ляпунова для хаотических систем по наблюдаемой реализации траектории.
- Исследован механизм принятия решения глубокими свёрточными нейронными сетями в случае решения задачи классификации случайных последовательностей. Продемонстрировано хорошее совпадение аналитического и численного решений. Также оценена устойчивость сетей к загрязнению входных данных (модель запыления канала/датчика) и способность обнаруживать классификатором преобладающий сигнал в смеси сигналов в условиях априорной неопределённости.

Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод о том, что ряд задач цифровой обработки сигналов можно эффективно решать не только статистическими методами с ручным синтезом алгоритмов, но и методами глубокого обучения с автоматическим синтезом информативных признаков и решающих правил принятия решения. Кроме того, показано, что свёрточные нейронные сети могут эффективно работать не только с сигналами, имеющими ярко выраженные паттерны, но и с реализациями узко- или широкополосных случайных процессов.

Вышеозначенные направления научных исследований и принятая в лаборатории организация работ позволили успешно выполнить ряд прикладных НИР и в короткие сроки внедрить их результаты в практику. Так, в интересах ПАО «Транснефть» на основе глубокой нейронной сети был разработан высокоэффективный первичный классификатор сигналов для системы охраны магистральных нефтепроводов, функционирующей на основе квантового когерентного волоконно-оптического рефлектометра. Проект характеризуется следующими «цифрами»: 3 реальных географически разнесённых трубопровода; 6 классов различаемых сигналов (плюс «Фон»); 14 месяцев активных экспериментов для формирования библиотеки сигналов и помех; 56 помеховых подклассов; 70 ТБ «сырых» данных. Величина интегральной F1-меры синтезированного классификатора на тестовых данных оказалась более 0,91. Один из ключевых факторов успеха – успешный синтез быст-

родействующего алгоритма адаптивной предварительной фильтрации помех и шумов, который работает по принципу «слепого фильтра». В итоге был разработан классификатор, обладающий высокими тактико-техническими характеристиками и функционирующий в режиме жёсткого реального времени на обычных GPU среднего ценового класса (типа NVIDIA GeForce 1070).

В настоящий момент в лаборатории вычислительной кибернетики ведутся инициативные научные проекты по следующим направлениям:

- Исследование дихотомического подразделения TQ-пространства с целью оценивания топологической энтропии дискретных динамических систем и управления хаотическими колебаниями.
- Разработка и исследование конструктивных нейросетевых подходов к решению нелинейных обратных задач.
- Синтез глубоких нейронных сетей специальной архитектуры со стабилизированным уровнем ошибок второго рода.
- Разработка методов анализа обученных глубоких нейронных сетей с целью извлечения из них «выученных знаний».
- Конструктивные методы обучения глубоких нейронных сетей на квантовых компьютерах.

Таким образом лаб. № 77 формирует комплексный ответ на вызовы современности в части интеллектуализации систем и процессов управления.

ЛАБОРАТОРИЯ № 79

СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ



Зав. лаб. № 79
Александр Гедеванович
Чхартишвили

Лаборатория создана в 2017 г. Заведующий лабораторией – доктор физико-математических наук Александр Гедеванович Чхартишвили.

Математические описания сложных сетей различной природы имеют много общего, что позволяет использовать единые подходы к моделированию структуры и динамики сети, решению задач анализа, прогнозирования и управления. ИПУ РАН – российским лидер в области анализа социальных сетевых структур при помощи методов теории управления. Сотрудники Института являются авторами первой русскоязычной монографии на данную тему (*Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. – М.: Физматлит, 2010. – 228 с.*). Основным предметом

исследований в лаб. № 79 с момента её создания была безопасность сложных сетей (А.О. Калашников, Е.А. Сакрутина).

В 2018 г., после присоединения к лаб. № 79 лаб. № 9 (распределённых автоматизированных информационных систем), лаб. № 79 получила своё нынешнее наименование. Лаборатория распределённых автоматизированных информационных систем имеет долгую и славную историю. Она была создана в феврале 1952 г. как лаборатория автоматических устройств. С момента основания до 1967 г. её заведующим был доктор технических наук, профессор, член-корреспондент АН СССР (в 1960 г. ставший академиком) Вадим Александрович Трапезников. Фактически, основы тематики лаборатории были заложены в 1956 г., когда В.А. Трапезников поручил группе молодых специалистов во главе с А.Ф. Волковым создать экземпляр цифровой вычислительной машины М-3, с которого в ИАТе и начала развиваться принципиально новая техника – цифровые вычислительные машины, комплексы и системы.

В 1967 г. лаб. № 9 была переименована в лабораторию структур управляющих вычислительных машин, а её заведующим назначен докторических наук



Андрей Олегович
Калашников

Альберт Фёдорович Волков, ставший впоследствии профессором, лауреатом Государственной премии СССР, заслуженным деятелем науки РФ (он руководил лабораторией до 2003 г.). С 2003 по 2018 гг. заведующим лабораторией являлся кандидат технических наук, доцент Виталий Николаевич Лебедев.

С 1961 по 1978 гг. основным направлением деятельности лаборатории являлась разработка архитектуры, методов и средств обеспечения заданной надёжности информационно-управляющих вычислительных систем специального назначения. В этих работах активное участие принимали кандидаты наук А.В. Лебедев, В.Т. Лысиков, Г.Б. Семёнов, В.Д. Зенкин, Г.К. Сорокин, Н.А. Власенко. Работы по



**Виталий Николаевич
Лебедев**

созданию новой техники в 1982 г. были отмечены Государственной премией (А.Ф. Волков) и правительственной наградой (В.А. Ведешенков).

С 1974 г. в рамках работ по созданию АСУ «Морфлот» совместно с другими лабораториями Института и организациями Минморфлота были разработаны научно-методологические основы построения АСУ транспортными узлами и информационное, математическое и программное обеспечение АСУ «Порт». В 1984 г. было осуществлено реальное внедрение этих методик, аппаратуры и программных средств в Ленинградском, Рижском, Ильичевском и Мурманском морских торговых портах. В разработках и внедрении активное участие принимали к.т.н. В.Н. Лебедев, к.т.н. И.Н. Мараканов, А.Д. Козлов.



**Альберт Фёдорович
Волков**

С 1993 г. основным научным направлением лаборатории становится теория построения распределённых автоматизированных корпоративных информационно-управляющих систем (ИУС). В этом направлении разработаны методология построения и базовое программное обеспечение распределённых защищённых ИУС на основе использования интернет-технологий, трёхзвенной архитектуры (клиент – сервер приложений – сервер баз данных) и информационно-вычислительных сетей общего пользования. Среди характерных особенностей указанной выше методологии следует выделить архитектуру управляемых с помощью языка метаданных системных интерфейсов, обеспечивающих взаимодействие удалённых баз данных, пользователей и приложений, и архитектуру единого связанного интерфейса, обеспечивающего независимость прикладных программ, средств транспортировки и защиты данных.

С 1993 г. по заданию Минсвязи лаборатория участвует в создании автомати-

зированной информационной системы почтовой связи России (АИС ПС). В этом же году разработана и одобрена НТС Минсвязи России «Концепция создания АИС ПС». Институту как ответственному исполнителю было поручено научное обеспечение проекта и создание: информационно-вычислительной сети почтовой связи (ИВС ПС), систем организационного управления, информационно-коммерческих систем. В 1994–1998 гг. были созданы аппаратно-программные комплексы и базовые фрагменты ИВС ПС практически во всех регионах России, разработаны сетевое и прикладное программное обеспечение, проведено обучение более 1000 специалистов почтовой связи. С 1995 по 2003 гг. на основе ИВС ПС разработаны и внедрены более 20 подсистем, среди которых: «Гибридная почта», «Интегрированная информационная система поддержки принятия решений», «Электронные денежные переводы», «Товары – почтой», «Прямая адресная рассылка», «Подписка». В этих работах большой вклад принадлежит Р.Э. Асратяну, А.Ф. Волкову, В.Н. Лебедеву, И.Н. Мараканову, А.Д. Козлову, В.А. Ведешенкову, А.В. Антонову, А.В. Третьякову, Н.Ф. Володиной, Г.М. Золотухиной, а также ряду сотрудников лаб. № 20 и № 37 Института.

С 1999 г. другим важным направлением работ лаборатории становится создание защищённой информационно-вычислительной системы Национального центрального бюро (НЦБ) Интерпола при МВД России (ИВС Интерпола), которая представляет собой корпоративную многоуровневую распределённую информационную систему, что позволило эффективно применить охарактеризованную выше методологию. ИВС Интерпола функционирует в НЦБ и его региональных филиалах. В создание ИВС Интерпола существенный вклад внесли к.т.н. В.Н. Лебедев, к.т.н. В.Л. Орлов, к.т.н. Р.Э. Асратян, к.т.н. И.Н. Мараканов, к.т.н. А.Г. Шинкарьков, В.Е. Москальков, А.В. Цуканов, В.Г. Волин, Е.А. Курако и др.

В международном проекте TACIS «Модернизация сети Интерпола в России» в 2008 г. разработано специальное программное обеспечение *NCB Web Manager* (прокси-анализатор). В соответствии с условиями контракта с Генеральным секретариатом (ГС) Интерпола разработка прошла испытания и была внедрена в промышленную эксплуатацию. Система *NCB Web Manager* обеспечивает управляемый доступ и регистрацию запросов (ответов) к информационным ресурсам ГС Интерпола (г. Лион, Франция) со 160 рабочих станций, размещённых в НЦБ Интерпола при МВД России (г. Москва) и в 41 его региональном филиале. Система позволяет проводить централизованный мониторинг работы филиалов, поиск зарегистрированных запросов по ключевым атрибутам и формирование отчётов за произвольный период времени.

Важным направлением работ лаборатории является разработка средств и методов интеграции информационного и программного обеспечения в гетерогенной среде для распределённых корпоративных социально-экономических систем в процессе их развития. Совместно с лаб. № 30 Института проведены исследования и разработка автоматизированных средств поддержки процесса финансового планирования в вертикально интегрированных нефтяных компаниях, обладающих гибкостью и масштабируемостью, которые необходимы для ра-

боты в условиях динамично меняющегося экономического контекста.

В 2013–2017 гг. были разработаны и внедрены в МВД России сервисы НЦБ Интерпола (СОДИ), работающие в составе Единой системы информационно-аналитического обеспечения деятельности МВД РФ (ИСОД МВД), которая базируется на Центрах обработки данных (ЦОД) с обеспечением защищённого доступа по всей территории страны. СОДИ предоставляет подразделениям МВД России возможность получения оперативных сведений из Центральной базы Интерпола (г. Лион) обо всех похищенных автомобилях, утраченных документах, разыскиваемых преступниках и занесения сведений по необходимости розыска в международные базы данных. Основной вклад в разработку СОДИ внесли сотрудники лаб. № 9 к.т.н. В.Л. Орлов, к.т.н. Р.Э. Асратян, А.Д. Козлов, Е.А. Курако, В.Е. Москальков, С.В. Владимирова и др.

Основное направление исследований лаборатории в этот период связано с созданием методов и средств управления распределённой обработкой и информационной безопасностью в сложных, неоднородных мульти-сетевых структурах. В результате был предложен ряд новых методов решения таких проблем, как аутентификация, защита и маршрутизация информационных запросов, а также разграничение доступа к информационным ресурсам в распределённых системах, ориентированных на работу в мульти-серверных средах. Предложенные методы были заложены в основу ряда новых сетевых технологий и служб, специально ориентированных на обеспечение безопасности данных в условиях последовательной обработки информационных запросов в цепочке серверов, размещённых в различных, независимо администрируемых ведомственных и локальных сетях (Р.Э. Асратян, А.Д. Козлов, Е.А. Курако, В.Н. Лебедев, В.Л. Орлов и др.). В это же время продолжались исследования по обеспечению надёжности технических средств, как важному фактору безопасности, путём создания новых методов диагностирования неисправностей в распределённых информационных системах (В.А. Ведешенков).

В настоящее время объектом исследований лаб. № 79 являются сложные сети различной природы: технологические (АСУ ТП, промышленный Интернет и др.), киберфизические (сенсорные сети, Интернет вещей и др.), кибернетические (АИС и объекты критической информационной инфраструктуры РФ, Интернет и др.), социальные («Одноклассники», «В контакте», *Facebook* и др.).

Среди фундаментальных задач управления безопасностью сложных сетей можно выделить следующие:

- идентификация объектов окружения сети;
- моделирование деятельности объектов;
- выявление аномалий в деятельности объектов;
- прогнозирование развития ситуации.

Эти задачи являются актуальными для сетей различной природы, их универсальная математическая постановка и решение (включая его алгоритмическую и программную реализацию) позволяют подходить к вопросам управления безопасностью сложных сетей с единых методологических позиций.

ЛАБОРАТОРИЯ № 80

КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ



**Зав. лаб. № 80
Роман Валерьевич
Мещеряков**

Лаборатория киберфизических систем создана в июне 2018 г. Заведующим лаб. № 80 был назначен доктор технических наук, профессор РАН Роман Валерьевич Мещеряков. В составе лаборатории – 16 сотрудников.

Киберфизические системы (*Cyber-Physical System, CPS*) объединяют вычислители, сети и физические процессы. Они состоят из окружающей среды, датчиков, вычислительных элементов и исполнительных механизмов, в которых вычислители осуществляют мониторинг и управление физическими процессами с использованием обратной связи, а происходящее в физических системах оказывает влияние на вычисления. В них обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами.

Развитие киберфизических систем неразрывно связаны с прогрессивными технологиями последних десятилетий, таких как туманные и облачные вычисления, Интернет вещей, межмашинное взаимодействие, методы интеллектуального анализа и распознавания. Существующие решения объединяются в рамках нового понятия и дополняются новыми кибернетическими подходами для решения важнейших задач оптимизации производства, энергетики, транспорта, сельского хозяйства и других важнейших отраслей жизни.

Направления исследований лаборатории затрагивают как базовые основы создания киберфизических систем, так и вопросы управления робототехническими системами и их безопасного функционирования.

Базовые основы киберфизических систем:

- Математическое и программное обеспечение виртуальных полигонов робототехнических систем.
- Создание систем коллаборативной робототехники.
- Повышение качества работы человеко-машинного интерфейса в особых условиях.

Управление робототехническими системами:

- Теоретические основы управления робототехническими системами.
- Модели, алгоритмы, программные средства обработки информации в робототехнических системах.
- Особенности использования роботов в инфраструктуре IoT.
- Групповая робототехника. Проблемы децентрализованного управления.

Безопасное функционирование киберфизических систем:

- Протоколы безопасного обмена информацией в гетерогенных робототехнических системах.
- Проблемы регулирования развития систем робототехники, наделённых искусственным интеллектом.
- Организации доверенного взаимодействия в робототехнических системах.
- Особенности защиты систем управления в робототехнике.

Важным прикладным направлением деятельности лаборатории является разработка систем экологического мониторинга различных техногенных пространств с использованием новых технологий в области робототехники, сетей передачи данных и интеллектуального анализа. Проводятся перспективные исследования в области создания математического и программного обеспечения для управления робототехническими системами и создания виртуальных полигонов. Сотрудники лаборатории участвуют в проектах по разработке моделей, алгоритмов и программных средств обработки информации в сложных гетерогенных системах, а также в разработке протоколов, средств защиты и обмена данными в системах типа Интернет вещей.

Развитие направления киберфизических систем охватывает широкий пласт работ, связанных с формированием новых методологических основ управления интеллектуальными робототехническими производствами «умных фабрик», а также взаимодействия окружающей среды с вычислительными ресурсами. Прогнозируемое распространение киберфизических производственных систем на сегодняшний день нуждается в разработке теоретической и методической платформ для изучения взаимодействия физических и вычислительных компонентов. Также необходимо создание новых аналитических методов. Такая целевая установка является ориентиром при организации деятельности лаборатории.

Исследования лаборатории финансово поддержаны грантами Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). Отметим проект РФФИ, посвящённый разработке комплекса научно-технических решений для безопасного межмашинного обмена данными между агентами мобильных робототехнических групп с сетевым управлением. Решение задач группового управления взаимодействием роботов позволит сформировать подходы к формированию и оснащению киберфизических систем широкого назначения: в производственной сфере, здравоохранении, энергетике, сельском хозяйстве, транспорте и т.д.

Интеллектуальный анализ и обработка данных в системах с гетерогенными объектами – еще одно актуальное направление деятельности лаборатории. Проект по распознаванию признаков агрессии и психологического давления в разнородных материалах Интернет-контента также поддержан РФФИ, он является междисциплинарным и выполняется совместно сотрудниками лаборатории и учёными других институтов. Целью исследования является создание социо-киберфизической системы мониторинга контента в целях противодействия проявлению деструктивного воздействия на пользователей.

Среди социально значимых проектов также выделяется идея группы сотрудников лаборатории по развитию мультиагентных систем (роев) беспилотных лета-

тельных аппаратов для поиска потерявшихся в лесу людей. Значимость работы крайне высока, а решаемая задача является для нашей страны в высшей степени актуальной. Возможность длительного автоматического полёта группы летательных аппаратов, оборудованных GPS, системой уклонения и камерой с адаптивным обучением для распознавания образов, позволит находить людей быстрее и эффективнее, автоматизировав ряд сложных процессов.

Проведение испытаний и тестирование робототехнических систем, разрабатываемых как в лаборатории киберфизических систем, так и в остальных подразделениях ИПУ РАН, требует создания условий, приближённых к реальным показателям внутренней и внешней среды. В связи с этим сотрудниками лаборатории проводится работа по созданию полигонной базы с фиксированными и изменяющимися условиями реальной окружающей среды. Реализация физического полигона в стенах Института позволит повысить эффективность и снизить затраты ресурсов для проведения ряда важнейших экспериментов и исследований, а также станет дополнительной площадкой для образовательных и познавательных мероприятий и обмена опытом.

Сотрудники лаборатории ведут активную научно-организационную работу, являясь членами редколлегии ряда отечественных и зарубежных журналов, а также членами программных комитетов международных конференций.



Летопись становления лабораторий

В этом разделе приводятся почерпнутые из архива Института и бесед с сотрудниками ИПУ РАН сведения об исторической эволюции его лабораторий: годах их образования, их руководителях, переименованиях лабораторий, выделения из их состава новых лабораторий и вывода лабораторий из структуры Института. Некоторые ячейки публикуемых ниже таблиц содержат прочерки и нуждаются в дальнейшем уточнении (из-за отсутствия надлежащих архивных материалов и непосредственных участников описываемых событий). Редакционная коллегия приносит читателям свои извинения и постарается заполнить эти прочерки в будущих переизданиях книги.

Лаборатория № 1

1952 г.	Образована лаборатория «Автоматического регулирования и управления». Руководитель: д.т.н. (позднее академик АН СССР) Б.Н. Петров.
1959 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория № 8 «Динамики сложных объектов и систем управления». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н., проф.) Ю.В. Портнов-Соколов.
1961 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория № 6 «Управления электромашинных систем». Руководитель: д.т.н. Г.М. Уланов.
1964 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория № 22 «Систем с переменной структурой» Руководитель: д.т.н. (позднее академик РАН) С.В. Емельянов.
1968 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория № 42 «Самонастраивающихся управляющих систем». Руководитель: д.т.н. В.Ю. Рутковский.
1968 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория № 48 «Высокочастотных методов измерения». Руководитель: к.т.н. (позднее академик РАН) В.А. Викторов.
1980 г.	И. о. руководителя лаборатории назначен д.т.н., д.б.н. В.В. Бугровский.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Теории динамики управляемых процессов».
1983 г.	Руководитель: д.т.н. Б.В. Павлов.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Динамики управляемых систем».
2007 г.	Руководитель: д.т.н. А.П. Курдюков.
2010 г.	Переименована в лабораторию «Динамических информационно-управляющих систем».
2013 г.	Переименована в лабораторию «Динамических информационно-управляющих систем» им. Б.Н. Петрова.
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 36.
2018 г.	Руководитель: к.ф.-м.н. Е.В. Каршаков.

Лаборатория № 2

1950 г.	Образована лаборатория «Электромашинной автоматизации технологических процессов». Руководитель: д.т.н. Е.В. Нитусов.
---------	--

1952 г.	Переименована в лабораторию «Электроники». Руководитель: д.ф.-м.н. Д.В. Зернов.
1954 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизации производственных процессов».
1954 г.	Руководитель: к.т.н. Н.С. Барков.
1958 г.	Переименована в лабораторию «Исполнительных автоматических устройств».
1958 г.	Руководитель: д.т.н. В.Л. Лоссиевский.
1966 г.	Руководитель: д.т.н. И.С. Мезин.
1971 г.	Переименована в лабораторию «Пневмогидравлической струйной техники».
1982 г.	Переименована в лабораторию «Пневматических средств автоматизации».
1982 г.	Руководитель: к.т.н. А.Н. Шубин.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Газогидродинамических средств автоматизации».
2005 г.	Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) А.М. Касимов.
2017 г.	Присоединены лаборатории №№ 14, 15, 48, 54 и 62.
2017 г.	Переименована в лабораторию «Технических средств управления».

Лаборатория № 3

1939 г.	Образована лаборатория «Дискретной телемеханики». Руководитель: д.т.н. (позднее чл.-корр. АН СССР) М.А. Гаврилов.
1959 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 3 образована лаборатория № 17 «Комплексных телемеханических систем». Руководитель: д.т.н. В.А. Жожикашвили.
1964 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 3 образована лаборатория № 27 «Логических машин». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н. и чл.-корр. РАН) П.П. Пархоменко.
1979 г.	Руководитель лаборатории № 3: д.т.н. А.А. Амбарцумян.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Дискретных систем».
1998 г.	Переименована в лабораторию «Методов построения систем логического управления».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Систем логического управления».
2012 г.	Руководитель: к.т.н. С.А. Браништов.

Лаборатория № 4

1947 г.	Образована «Спецлаборатория». Руководитель: д.т.н. (позднее академик АН СССР) В.А. Трапезников.
1949 г.	Выведена из структуры Института.
1953 г.	Образована лаборатория «Устройств автоматики». Руководитель: д.т.н. В.А. Ильин.
1966 г.	Выведена из структуры Института.
–	Образована лаборатория «Передачи информации». Руководитель: – .
1968 г.	Переименована в лабораторию «Проблем управления процессами развития».
1968 г.	Руководитель: к.т.н. (позднее академик АН СССР и РАН) Д.М. Гвишиани.
1969 г.	Выведена из структуры Института.

ИПУ РАН: лаборатории

1981 г.	Из сектора лаборатории № 35 во главе с Д.Э. Гуковским образована лаборатория «Многомашинных, многотерминальных комплексов реального времени». Руководитель: к.т.н. Д.Э. Гуковский.
1991 г.	Руководитель к.т.н. В.И. Кривов.
1993 г.	Выведена из структуры Института.
1994 г.	Образована лаборатория «Эффективности и надёжности управляющих параллельных вычислительных систем». Руководитель: д.т.н. В.В. Игнатущенко.
2010 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 27.

Лаборатория № 5

1942 г.	Образована «Спецлаборатория» для разрешения вопросов обнаружения и обезвреживания мин. Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н. и чл.-корр. АН Киргизской ССР) Н.Н. Шумиловский.
1942 г.	Руководитель: к.т.н. (позднее чл.-корр. АН СССР) Б.С. Сотсков.
1956 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 5 образована лаборатория № 12 «Физических основ надёжности технических средств». Руководитель: д.т.н. (позднее чл.-корр. АН СССР) Б.С. Сотсков.
1956 г.	Руководитель: д.т.н. Н.А. Бабаков.
1969 г.	Выведена из структуры Института.
1972 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 49 во главе с д.т.н. Б.Г. Воликом и самостоятельной группы во главе с д.т.н. С.М. Доманицким образована лаборатория № 5 «Структур и методов проектирования сложных систем управления». Руководитель: д.т.н. Б.Г. Волик.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Структур и методов проектирования сложных систем».
1998 г.	Переименована в лабораторию «Методов анализа свойств управляющих систем сложной структуры».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Анализа свойств систем сложной структуры».
2013 г.	Руководитель: д.т.н. В.С. Викторова.
2018 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 27.

Лаборатория № 6

1948 г.	Образована лаборатория «Автоматизированного электропривода». Руководитель: академик АН СССР В.С. Кулебакин.
–	Выведена из структуры Института.
1961 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 организована лаборатория «Управления электромашинных систем». Руководитель: д.т.н. Г.М. Уланов.
–	Переименована в лабораторию «Управления комплексными процессами».
1988 г.	Руководитель: д.т.н. В.П. Жуков.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Проблем качественного анализа и синтеза систем управления».
2010 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. А.Г. Кушнер.
2012 г.	Присоединена лаборатория № 63.

2012 г.	Переименована в лабораторию «Проблем качественного анализа и синтеза систем управления» им. А.Г. Бутковского.
---------	---

Лаборатория № 7

1952 г.	Образована лаборатория «Следящих систем». Руководитель: д.т.н. В.В. Солодовников.
1956 г.	Руководитель: д.т.н. (позднее академик РАН) Я.З. Цыпкин.
–	Переименована в лабораторию «Адаптивных систем управления».
1998 г.	Руководитель: д.т.н. Б.Т. Поляк.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Адаптивных и робастных систем» им. Я.З. Цыпкина.
2013 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. М.В. Хлебников.

Лаборатория № 8

1944 г.	Образована лаборатория «Автоматического контроля непрерывных производственных процессов». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н. и чл.-корр. АН Киргизской ССР) Н.Н. Шумиловский.
1958 г.	Выведена из структуры Института.
1959 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория «Динамики сложных объектов и систем управления». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н., проф.) Ю.П. Портнов-Соколов.
2004 г.	Руководитель: д.т.н. А.Я. Андриенко.
2004 г.	Переименована в лабораторию «Терминальных систем управления» им. Ю.П. Портнова-Соколова.
2013 г.	Руководитель: д.т.н. В.П. Иванов.
2018 г.	Присоединена лаборатория № 42.

Лаборатория № 9

1944 г.	Образована лаборатория «Агрегатных систем промышленной автоматики». Руководитель: –.
–	Выведена из структуры Института.
1952 г.	Образована лаборатория «Автоматических устройств». Руководитель: д.т.н., директор Института (позднее академик АН СССР) В.А. Трапезников.
1961 г.	Переименована в лабораторию «Цифровых систем автоматического управления».
1964 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 9 во главе с Е.К. Круг, которая несколько ранее стала самостоятельной группой, в 1964 г. образована лаборатория № 29 «Электрических устройств автоматики». Руководитель: д.т.н. Е.К. Круг.
1967 г.	Переименована в лабораторию «Структур управляющих машин».
1967 г.	Руководитель: д.т.н. А.Ф. Волков.
1993 г.	Переименована в лабораторию «Распределённых автоматизированных информационных систем».
2003 г.	Руководитель: к.т.н. В.Н. Лебедев.
2018 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 79.

Лаборатория № 10

1954 г.	Образована лаборатория «Автоматизации непрерывных производственных процессов». Руководитель: д.т.н. В.Л. Лоссиевский.
1955 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизации производственных процессов».
1959 г.	Переименована в лабораторию «Методов аппаратно-программных средств моделирования и полунатурных исследований систем управления».
1959 г.	Руководитель: д.т.н. Б.Я. Коган.
1961 г.	Переименована в лабораторию «Непрерывных вычислительных и управляющих систем».
–	Переименована в лабораторию «Методов и средств математического моделирования».
1982 г.	Руководитель: д.т.н. А.И. Казьмин.
1993 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 10 образована лаборатория № 56 «Микро- и наноэлектронных элементов и устройств систем управления». Руководитель: д.т.н. Р.Р. Бабаян.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Методов аппаратно-программных средств моделирования и полунатурных исследований систем управления».
2004 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 56.

Лаборатория № 11

1946 г.	Образована лаборатория «Пневмогидравлической автоматики». Руководитель: д.т.н. М.А. Айзерман.
1963 г.	Руководитель: д.т.н. А.А. Таль.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Методов реализации автоматов»
1991 г.	Руководитель: д.т.н. О.П. Кузнецов.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Систем и моделей управления дискретными процессами».
2004 г.	Переименована в лабораторию «Методов интеллектуализации дискретных процессов и систем управления».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Интеллектуализации дискретных процессов и систем управления».
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 32.

Лаборатория № 12

1956 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 5 образована лаборатория «Элементов автоматики». Руководитель: к.т.н. (позднее чл.-корр. АН СССР) Б.С. Сотсков.
1958 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 12 организована лаборатория № 15 «Автоматического контроля и датчиков». Руководитель: д.т.н. Д.И. Агейкин.
1962 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 12 организована лаборатория № 24 «Магнитных и магнитно-полупроводниковых устройств систем автоматического управления и вычислительной техники». Руководитель: д.т.н. М.А. Розенблат.

1973 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 12 организована лаборатория № 14 «Запоминающих устройств на магнитных средах». Руководитель: д.т.н. Н.П. Васильева.
–	Выведена из структуры Института.
1978 г.	Образована лаборатория «Физических основ надёжности технических средств». Руководитель: к.т.н. И.Е. Декабрун.
1991 г.	Руководитель: к.т.н. Б.П. Петрухин.
2005 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 27.

Лаборатория № 13

1957 г.	Образована лаборатория «Статистической динамики систем автоматического управления». Руководитель: д.т.н. (позднее академик РАН) В.С. Пугачёв.
1984 г.	Руководитель: д.т.н. Н.И. Андреев.
–	Переименована в лабораторию «Стохастических систем».
–	Руководитель: к.т.н. Л.П. Сысоев.
1985 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 13 образована лаборатория № 21. Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) И.И. Паишев.
1989 г.	Выведена из структуры Института.
1989 г.	Образована лаборатория «Стандартизации и сертификации». Руководитель: д.т.н. Е.В. Юркевич.
1993 г.	Переименована в лабораторию «Функциональной безопасности».
1998 г.	Присоединена лаборатория № 51.
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лаборатории №№. 27, 67.

Лаборатория № 14

1957 г.	Образована лаборатория «Электрических устройств автоматики». Руководитель: д.т.н. А.Я. Лернер.
1971 г.	Выведена из структуры Института.
1977 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 12 образована лаборатория «Запоминающих устройств на магнитных средах». Руководитель: д.т.н. Н.П. Васильева.
1988 г.	Переименована в лабораторию «Исследования высокоплотной магнитоплёночной памяти». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) В.С. Семёнов.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Ферро-магнитных тонкоплёночных элементов для систем управления».
2000 г.	Руководитель: д.т.н. С.И. Касаткин.
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 2.

Лаборатория № 15

1958 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 12 образована лаборатория «Автоматического контроля и датчиков». Руководитель: д.т.н. Д.И. Агейкин.
1967 г.	Из сектора лаборатории № 15, руководимого Э.Л. Ицковичем, образована лаборатория «Систем оперативного контроля и управления непрерывным производством». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) Э.Л. Ицкович.

ИПУ РАН: лаборатории

1977 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 15 образована лаборатория № 62 «Теории и средств преобразования измерительной информации». Руководитель: д.т.н. В.Ю. Кнеллер
1982 г.	Переименована в лабораторию «Человеко-машинных систем».
1984 г.	Руководитель: д.т.н. В.Д. Зотов.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Сенсоров и сенсорных систем».
2016 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 2.

Лаборатория № 16

1959 г.	Образована лаборатория «Математических методов теории управления» Руководитель: чл.-корр. АН СССР А.М. Лётов.
–	Выведена из структуры Института.
1982 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 25 образована лаборатория № 16 «Динамики нелинейных систем управления». Руководитель: д.т.н. (позднее чл.-корр. РАН) Е.С. Пятницкий.
2003 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. Л.Б. Рапопорт.
2004 г.	Переименована в лабораторию «Динамики нелинейных процессов управления» им. Е.С. Пятницкого.

Лаборатория № 17

1959 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 3 образована лаборатория «Комплексных телемеханических систем». Руководитель: д.т.н. В.А. Жожикашвили.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизированных систем массового обслуживания».
2009 г.	Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) М.П. Фархадов.
2010 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов».
2013 г.	Присоединена лаборатория № 26.

Лаборатория № 18

1960 г.	Образована лаборатория «–». Руководитель д.т.н. А.Б. Челюсткин.
1977 г.	Из группы сотрудников из лаборатории № 18 образована лаборатория № 63 «Теории и принципов управления системами с распределёнными параметрами». Руководитель: д.т.н. А.Г. Бутковский.
1977 г.	Группа сотрудников из лаборатории № 18 во главе с Я.С. Масальским перешла в лабораторию № 41.
1977 г.	Лаборатория № 18 выведена из структуры Института.
1978 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 29 образована лаборатория «Компьютерной графики, специализированных технических и программных средств». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) Е.И. Артамонов.
1981 г.	Переименована в лабораторию «Машинной графики».
2004 г.	Переименована в лабораторию «Компьютерной графики».
2013 г.	Руководитель: д.т.н. А.В. Толок.

Лаборатория № 19

1961 г.	Образована лаборатория «Следящих электромашинных систем». Руководитель: д.т.н. М.В. Мееров.
1962 г.	Переименована в лабораторию «Теории многосвязных систем».
1982 г.	Переименована в лабораторию «Многосвязных систем управления».
1991 г.	Руководитель: д.т.н. В.Н. Кулибанов.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Многосвязных систем».
2004 г.	Переименована в лабораторию «Многосвязных систем управления».
2005 г.	Руководитель: к.т.н. А.В. Ахметзянов.

Лаборатория № 20

1955 г.	Образована лаборатория «Модульных информационно-управляющих систем». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) А.Г. Мамиконов.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Методов переработки информации в ОАСУ и АСУ непромышленной сферы».
1992 г.	Руководитель: д.т.н. В.В. Кульба.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Модульных систем обработки данных и управления».
2004 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 52.
2010 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 34.
2017 г.	Присоединены группы сотрудников из лабораторий №№ 32, 37 и 51.

Лаборатория № 21

1955 г.	Образована лаборатория «Автоматического регулирования». Руководитель: д.т.н. М.А. Айзерман.
–	Выведена из структуры Института.
–	Образована лаборатория «Теории самонастраивающихся и самообучающихся систем». Руководитель: –.
1968 г.	Переименована в лабораторию «Исследования операций в экономических системах» Руководитель: д.ф.-м.н. Ю.Н. Иванов.
1981 г.	Выведена из структуры Института.
1985 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 13 образована лаборатория «Программно-алгоритмического обеспечения многомашинных информационно-вычислительных комплексов реального времени». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) И.И. Паишев.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Статистического анализа и математических методов обработки информации в системах управления».
2003 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. А.В. Добровидов.
2010 г.	Переименована в лабораторию «Статистической обработки информации».

Лаборатория № 22

1964 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория «Систем с переменной структурой» Руководитель: д.т.н. (позднее академик АН СССР и РАН) С.В. Емельянов.
1974 г.	Переименована в лабораторию «Систем управления с переменной структурой».
1974 г.	Руководитель: д.т.н. В.И. Уткин.

ИПУ РАН: лаборатории

1976 г.	Выведена из структуры Института.
1978 г.	Образована лаборатория «Систем с разрывным управлением». Руководитель: д.т.н. В.И. Уткин.
1988 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 22 образована лаборатория № 50 «Адаптивных систем управления динамическими объектами». Руководитель: д.т.н. А.М. Шубладзе.
1992 г.	Выведена из структуры Института.
1998 г.	Образована лаборатория «Управления в геоинформационных системах». Руководитель: д.ф.-м.н. Д.В. Тюкавкин.
2004 г.	Руководитель: д.т.н. А.И. Алчинов.
2009 г.	Переименована в лабораторию «Информационного обеспечения управления движущимися объектами».

Лаборатория № 23

1964 г.	Образована лаборатория «Ядерных и квантовых информационных устройств». Руководитель: д.т.н. Г.П. Катус.
1972 г.	Выведена из структуры Института.
1987 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 46 образована лаборатория «Системного проектирования». Руководитель: д.т.н. (позднее чл.-корр. РАН) Б.А. Березовский.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Альтернативного анализа системных решений».
2004 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 57.

Лаборатория № 24

1962 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 12 образована лаборатория «Магнитных и магнитно-полупроводниковых устройств систем автоматического управления и вычислительной техники». Руководитель: д.т.н. М.А. Розенблат.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Ферромагнитных и полупроводниковых устройств».
1991 г.	Руководитель: д.т.н. А.А. Ромащев.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Технических средств и методов структурного анализа, контроля и прогнозирования состояния процессов и объектов».
2004 г.	Переименована в лабораторию «Методов и технических средств структурного анализа, контроля и прогнозирования состояния объектов».
2006 г.	Руководитель: д.т.н. И.Б. Ядыкин.
2010 г.	Переименована в лабораторию «Структурного анализа и прогнозирования состояния объектов».

Лаборатория № 25

1962 г.	Образована лаборатория «Теории и методов построения автоматов». Руководитель: д.т.н. М.А. Айзерман.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Иерархических структур управления».
1982 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 25 образована лаборатория № 16. Руководитель: д.т.н. (впоследствии чл.-корр. РАН) Е.С. Пятницкий.

1988 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 25 образована лаборатория № 55 «Обработки больших массивов информации в иерархических системах». Руководитель: д.т.н. А.А. Дорофеюк.
1991 г.	Руководитель: д.т.н. Ф.Т. Алескеров.
1995 г.	И. о. руководителя лаборатории: д.т.н. А.В. Малишевский.
1997 г.	Выведена из структуры Института. Становится сектором в лаборатории № 57.
2001 г.	Создана лаборатория «Теории выбора и анализа решений». Руководитель: д.т.н. Ф.Т. Алескеров.
2001 г.	Переименована в лабораторию «Теории выбора и анализа решений».
2001 г.	Переименована в лабораторию «Теории выбора и анализа решений» им. М.А. Айзермана.
2015 г.	Из группы сотрудников из лаборатории № 25 образована лаборатория № 70 «Математических методов анализа и многоагентных систем». Руководитель: д.ф.-м.н. П.Ю. Чеботарёв.
2017 г.	Присоединены лаборатории №№ 44 и 55.

Лаборатория № 26

1964 г.	Образована лаборатория «Автоматов на струйной технике». Руководитель: д.т.н. Л.А. Залманзон.
1969 г.	Выведена из структуры Института.
1969 г.	Образована лаборатория «Эвристического программирования». Руководитель: д.т.н. Л.Н. Лупичёв.
1972 г.	Переименована в лабораторию «Методов исследования и управления автономными комплексами».
1980 г.	Выведена из структуры Института.
1990 г.	Образована лаборатория «Систем восприятия информации». Руководитель: д.т.н. А.Н. Ануашвили.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Систем восприятия информации на основе фонового принципа».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Системного восприятия информации».
2013 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 17.

Лаборатория № 27

1964 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 3 образована лаборатория «Логических машин». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н. и чл.-корр. РАН) П.П. Пархоменко.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Технической диагностики».
1995 г.	Руководитель: д.т.н. М.Ф. Каравай.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Технической диагностики и отказоустойчивости».
2005 г.	Присоединена лаборатория № 12.
2010 г.	Присоединена лаборатория № 4.
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 13.
2018 г.	Присоединена лаборатория № 5.

Лаборатория № 28

1964 г.	Образована лаборатория «Оптимизации многокоординатных систем». Руководитель: д.т.н. Л.Н. Фицнер.
1968 г.	Переименована в лабораторию «Исследования операций в системах с активным противодействием».
1968 г.	Руководитель: д.т.н. Ю.М. Фаткин.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Теории игр».
1994 г.	Выведена из структуры Института.
1996 г.	Образована лаборатория «Языков и методов моделирования систем большой размерности». Руководитель: к.т.н. И.Н. Воронцов.
2011 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 32.

Лаборатория № 29

1964 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 9 во главе с Е.К. Круг, несколько ранее ставшей самостоятельной группой, в 1964 г. образована лаборатория «Электрических устройств автоматики». Руководитель: д.т.н. Е.К. Круг.
1978 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 29 образована лаборатория № 18 «Компьютерной графики, специализированных технических и программных средств». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) Е.И. Артамонов.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизации исследования и проектирования систем управления».
1991 г.	Руководитель: к.т.н. Ю.С. Легович
1998 г.	Переименована в лабораторию «Системной интеграции средств управления».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Системной интеграции».
2014 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 50.

Лаборатория № 30

1964 г.	Образована лаборатория «Управления операциями». Руководитель: д.т.н. (позднее академик АН СССР) А.А. Воронов.
1971 г.	Выведена из структуры Института.
1974 г.	Образована лаборатория «Теории и методов принятия решений». Руководитель: д.т.н. В.М. Озерной.
–	Выведена из структуры Института.
1982 г.	Образована лаборатория «Автоматизации проектирования систем управления движущимися объектами» Руководитель: д.т.н. (позднее академик РАН) Н.А. Кузнецов.
1988 г.	Выведена из структуры Института.
1991 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 35 образована лаборатория «Проблемы оперативного управления и планирования предприятий ТЭК». Руководитель: д.т.н. Л.Р. Соркин.
2010 г.	Переименована в лабораторию «Планирования и оперативного управления предприятиями».

Лаборатория № 31

1964 г.	Образована лаборатория «Структур элементов управляющих машин». Руководитель: д.т.н. (позднее академик Грузинской АН) И.В. Прангишвили.
1991 г.	Переименована в лабораторию «Вычислительных систем с перестраиваемой структурой».
1998 г.	Переименована в лабораторию «Архитектуры распределённых информационно-аналитических и управляющих систем».
2004 г.	Переименована в лабораторию «Распределённых информационно-аналитических и управляющих систем».
2006 г.	Руководитель: д.т.н. А.Г. Полетыкин.
2008 г.	Переименована в лабораторию «Распределённых информационно-аналитических и управляющих систем» им. И.В. Прангишвили.

Лаборатория № 32

1968 г.	Образована лаборатория «Принципов построения автоматизированных систем управления». Руководитель: к.т.н. (позднее чл.-корр. АН СССР) О.И. Авен.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Принципов построения отраслевых АСУ».
1992 г.	Руководитель: к.т.н. Л.И. Микулич.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Информационных технологий систем организационного управления».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Интеллектуальных информационных технологий для систем управления».
2011 г.	Присоединена лаборатория № 28.
2018 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лаборатории №№ 11, 20, 41, 68.

Лаборатория № 33

1988 г.	Образована лаборатория «Проблем управления развитием структур крупномасштабных систем». Руководитель: д.т.н. А.Д. Цвиркун.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Управления развитием крупномасштабных систем».

Лаборатория № 34

1974 г.	Образована лаборатория «Теории и методов планирования научных исследований и разработок». Руководитель: –.
–	Выведена из структуры Института.
1988 г.	Образована лаборатория «Автоматизированных систем поддержки плановых и управленческих решений в операционной среде ПИК». Руководитель: к.т.н. В.А. Филиппов.
–	Переименована в лабораторию «Автоматизированного мониторинга сложных систем».
2010 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лаборатории №№ 20, 40.

Лаборатория № 35

1967 г.	Сектор лаборатории № 15, руководимый Э.Л. Ицковичем, преобразован в лабораторию «Систем оперативного контроля и управления непрерывным производством». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) Э.Л. Ицкович.
1981 г.	Из сектора лаборатории № 35 во главе с Д.Э. Гуковским образована лаборатория «Многомашинных, многотерминальных комплексов реального времени». Руководитель: к.т.н. Д.Э. Гуковский.
1991 г.	Из сектора лаборатории № 35 во главе с Л.Р. Соркиным образована лаборатория № 30 «Проблем оперативного управления и планирования предприятий ТЭК». Руководитель: д.т.н. Л.Р. Соркин.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Методов автоматизации производств».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизации производства».
2015 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 41.

Лаборатория № 36

–	Образована лаборатория «Средств и методов оптимизации технических средств». Руководитель: д.т.н. А.Я. Лернер.
–	Выведена из структуры Института.
1973 г.	Образована лаборатория «–». Руководитель: д.т.н. К.Б. Норкин.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Вычислительных методов и средств оптимизации».
1998 г.	Переименована в лабораторию «Средств и методов оптимизации технических систем».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Оптимизации технических систем».
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лаборатории №№ 1, 40.

1 Лаборатория № 37

–	Образована лаборатория «Оптимальных дискретных систем управления». Руководитель: –.
1968 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизированных систем обработки данных». Руководитель: д.т.н. В.Л. Эпштейн.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизации проектирования систем управления».
1992 г.	Руководитель: к.т.н. В.А. Грузман.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Гипертекстовых систем представления знаний».
2004 г.	Переименована в лабораторию «Анализа и моделирования информационных процессов».
2017 г.	Переименована в лабораторию «Систем с разрывными управлениями». Руководитель: к.т.н. А.В. Уткин. Группа сотрудников во главе с В.А. Грузманом перешла в лабораторию № 20.

Лаборатория № 38

–	Образована лаборатория «Помехоустойчивых систем управления». Руководитель: –.
1968 г.	Переименована в лабораторию «Процессов управления при неполных данных» Руководитель: д.т.н. А.М. Петровский.
–	Переименована в лабораторию «Процессов управления и контроля по неполным данным».
1991 г.	Руководитель: д.т.н. Е.П. Маслов.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Управления по неполным данным».
2016 г.	Руководитель: д.т.н. (позднее чл.-корр. РАН) А.А. Галяев.

Лаборатория № 39

1990 г.	Образована лаборатория «Интеллектуальных информационно-управляющих систем и процессов». Руководитель: д.т.н. В.В. Девятков.
1998 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 49.

Лаборатория № 40

1971 г.	Образована лаборатория «Бионики». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) Н.В. Позин.
1977 г.	Выведена из структуры Института.
1987 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 41 образована лаборатория «Автоматизированных систем управления технологическими процессами в атомной энергетике». Руководитель: д.т.н. Ф.Ф. Пашенко.
199– г.	Переименована в лабораторию «Интеллектуальных систем управления и моделирования».
2010 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 34.
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 36.
2017 г.	Присоединены лаборатория №№ 43 и группа сотрудников из лаборатории № 50.

Лаборатория № 41

1965 г.	Образована самостоятельная группа «–». Руководитель: к.т.н. (позднее д.т.н.) Н.С. Райбман.
1968 г.	Группа преобразована в лабораторию «Идентификации объектов управления». Руководитель: д.т.н. Н.С. Райбман.
1977 г.	Группа сотрудников из лаборатории № 18 во главе с Я.С. Масальским переведена в лабораторию № 41.
1980 г.	Руководитель лаборатории № 41: д.т.н. В.А. Лотоцкий.
2007 г.	Руководитель лаборатории № 41: д.т.н. Н.Н. Бахтадзе.
2008 г.	Переименована в лабораторию «Идентификации систем управления».
2015 г.	Присоединена лаборатория № 35.
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 32.

Лаборатория № 42

1968 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория «Самонастраивающихся управляющих систем». Руководитель: д.т.н. В.Ю. Рутковский.
---------	--

ИПУ РАН: лаборатории

2013 г.	Руководитель: д.т.н. В.М. Суханов.
2017 г.	Переименована в лабораторию «Координатно-параметрического управления».
2018 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 8.

Лаборатория № 43

1973 г.	Образована лаборатория «Управления многоцелевыми проектами и самонастраивающимися системами». Руководитель: д.т.н. Л.Н. Фицнер.
1982 г.	Переименована в лабораторию «Поисковых автоматических систем».
1983 г.	Руководитель: к.т.н. Э.Е. Гачинский.
–	Выведена из структуры Института.
1991 г.	Образована лаборатория «Управления многопроцессорными проектами и самонастраивающимися системами». Руководитель: к.т.н. А.М. Черкашин.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Управления в саморазвивающихся системах».
2001 г.	Руководитель: к.ф.-м.н. В.Б. Гусев.
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 40.

Лаборатория № 44

1999 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 41 образована лаборатория «Экспертно-статистических систем управления». Руководитель: д.т.н. А.С. Мандель.
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 25.

Лаборатория № 45

1974 г.	Образована лаборатория «Архитектуры вычислительных систем». Руководитель: –.
1977 г.	Выведена из структуры Института.
1988 г.	Образована лаборатория «Теории оптимальных систем управления». Руководитель: д.т.н. В.Ф. Кротов.
2010 г.	Переименована в лабораторию «Оптимальных управляемых систем».
2015 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. М.М. Хрусталёв.
2016 г.	Переименована в лабораторию «Оптимальных управляемых систем» им. В.Ф. Кротова.

Лаборатория № 46

1973 г.	Образована лаборатория «Системного программирования». Руководитель: д.т.н. Э.А. Трахтенгерц.
1978 г.	Из группы сотрудников из лаборатории № 46 образована лаборатория № 58 «Структурного программирования». Руководитель: д.т.н. С.Я. Виленкин.
1987 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 46 образована лаборатория № 23 «Системного проектирования». Руководитель: д.т.н. (позднее чл.-корр. РАН) Б.А. Березовский.

1991 г.	Руководитель: д.т.н. В.Г. Лебедев.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Методов построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Систем поддержки принятия решений».

Лаборатория № 47

1978 г.	Образована лаборатория «Технологии полупроводниковой микроэлектроники». Руководитель: к.т.н. М.С. Сонин.
1998 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 56.

Лаборатория № 48

1968 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория «Высокочастотных методов измерения». Руководитель: к.т.н. (позднее академик РАН) В.А. Викторов.
1976 г.	Переименована в лабораторию «Радиотехнических информационных и измерительных систем».
1977 г.	Руководитель: к.т.н. Б.В. Лункин.
2010 г.	Переименована в лабораторию «Лаборатория волновых методов и средств измерения неэлектрических величин».
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 2.

Лаборатория № 49

1971 г.	Образована лаборатория «Управляющих систем для сложных многоцелевых объектов». Руководитель: д.т.н. С.И. Бернштейн.
1972 г.	Из группы сотрудников лаборатории №49 и самостоятельной группы во главе с д.т.н. С.М. Доманицким образована лаборатория № 5 «Структур и методов проектирования сложных систем управления». Руководитель: д.т.н. Б.Г. Волик.
1989 г.	Руководитель: д.т.н. М.Х. Дорри.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Автоматизации проектирования и управления многоцелевыми объектами».
1998 г.	Присоединена лаборатория № 39.
2014 г.	Переименована в лабораторию «Проектирования автоматизированных систем управления многоцелевыми объектами».
2014 г.	Руководитель: д.т.н. Г.Г. Гребенюк.
2017 г.	Присоединена лаборатория № 59.

Лаборатория № 50

1988 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 22 образована лаборатория «Адаптивных систем управления динамическими объектами». Руководитель: д.т.н. А.М. Шубладзе.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Самооптимизирующихся систем управления динамическими процессами».
2014 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лаборатории №№ 29, 40.

Лаборатория № 51

1991 г.	Образована лаборатория «Электромагнитной совместимости и надёжности функционирования технических средств управления». Руководитель: к.т.н. В.В. Носов.
1998 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 13.
2004 г.	Образована лаборатория «Когнитивного моделирования и управления развитием ситуации». Руководитель: д.т.н. В.И. Максимов
–	Переименована в лабораторию «Когнитивного моделирования».
2008 г.	Руководитель: д.т.н. Н.И. Абрамова
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию №№ 20, 57.

Лаборатория № 52

1988 г.	Образована лаборатория «Методов и средств управления НИР». Руководитель: к.т.н. И.Б. Семёнов.
2004 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию №№ 20, 57.

Лаборатория № 53

1969 г.	Образована лаборатория «–». Руководитель: д.ф.-м.н. В.В. Токарев.
1981 г.	Руководитель: «–».
1992 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. Г.П. Кахидзе.
1998 г.	Выведена из структуры Института.

Лаборатория № 54

1969 г.	Образована лаборатория «–». Руководитель: д.ф.-м.н. А.Н. Дюкалов.
–	Выведена из структуры Института.
1992 г.	Образована лаборатория «Распределённые информационные системы». Руководитель: д.ф.-м.н. Л.Б. Богуславский.
1998 г.	Выведена из структуры Института.
2002 г.	Образована лаборатория «Управления в биологических системах». Руководитель: д.т.н. В.В. Маклаков.
2009 г.	Переименована в лабораторию «Структурной оптимизации сложных систем».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Структурной оптимизации».
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 2.

Лаборатория № 55

1969 г.	Образована лаборатория «Математического обеспечения вычислительной техники». Руководитель: д.т.н. (позднее чл.-корр. РАН) В.Л. Арлазаров.
1977 г.	Выведена из структуры Института.
1988 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 25 образована лаборатория «Обработки больших массивов информации в иерархических системах». Руководитель: д.т.н. А.А. Дорофеев.

2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 25.
---------	--

Лаборатория № 56

1993 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 10 образована лаборатория «Микро- и наноэлектронных элементов и устройств систем управления». Руководитель: д.т.н. Р.Р. Бабаян.
1998 г.	Присоединена лаборатория № 47.
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 69.

Лаборатория № 57

1974 г.	Образована лаборатория «Теории и методов деловых игр». Руководитель: д.т.н. В.Н. Бурков.
1977 г.	Переименована в лабораторию «Активных систем и деловых игр».
1997 г.	Присоединена лаборатория № 25.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Активных систем».
2001 г.	Коллектив присоединённой лаб. № 25 вновь образовал лабораторию № 25 под названием «Теории выбора и анализа решений». Руководитель: д.т.н. Ф.Т. Алескерев.
2004 г.	Присоединена лаборатория № 23.
2004 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 52.
2010 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 57 образована лаборатория № 67 «Экономической динамики и управления инновациями». Руководитель: д.э.н. Р.М. Нижегородцев
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 51.

Лаборатория № 58

1978 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 46 образована лаборатория «Структурного программирования». Руководитель: д.т.н. С.Я. Виленкин.
1991 г.	Руководитель: к.ф.-м.н. (позднее д.т.н.) Е.Г. Сухов.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Системотехники параллельных управляюще-вычислительных процессов».
1998 г.	Выведена из структуры Института.

Лаборатория № 59

1992 г.	Образована лаборатория «Компьютерных методов поддержки проектирования систем управления». Руководитель: В.П. Разбегин.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Компьютерных методов поддержки проектирования систем управления».
2005 г.	Руководитель: д.т.н. Г.Н. Калянов.
2008 г.	Переименована в лабораторию «Методов автоматизации управления организационными системами».
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 49.

Лаборатория № 60

1991 г.	Образована лаборатория «Проектирование программных сетей для ЭВМ». Руководитель: В.А. Кучерук.
1998 г.	Выведена из структуры Института.

Лаборатория № 61

1968 г.	Образована лаборатория «Математических методов анализа сложных систем». Руководитель: д.ф.-м.н. М.А. Красносельский.
1974 г.	Переименована в лабораторию «Приближённых методов математического анализа сложных систем».
–	Переименована в лабораторию «Методов математического анализа сложных систем».
1991 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. Н.А. Бобылёв
1998 г.	Переименована в лабораторию «Математических методов анализа систем управления».
2003 г.	Выведена из структуры Института.

Лаборатория № 62

1977 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 15 образована лаборатория «Теории и средств преобразования измерительной информации». Руководитель: д.т.н. В.Ю. Кнеллер.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Преобразования измерительной информации».
2017 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 2.

Лаборатория № 63

1977 г.	Из группы сотрудников из лаборатории № 18 образована лаборатория «Теории и принципов управления системами с распределёнными параметрами». Руководитель: д.т.н. А.Г. Бутковский.
1998 г.	Переименована в лабораторию «Систем с распределёнными параметрами».
2010 г.	Переименована в лабораторию «Систем управления с распределёнными параметрами».
2012 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 6.

Лаборатория № 65

–	Образована лаборатория «Методов управления дискретными производственными системами». Руководитель: –.
1984 г.	Выведена из структуры Института.

Лаборатория № 66

1978 г.	Образована лаборатория «Технологии микросборок и печатных плат». Руководитель: к.т.н. Б.С. Иругов.
1987 г.	Выведена из структуры Института.

Лаборатория № 67

2010 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 57 образована лаборатория «Экономической динамики и управления инновациями». Руководитель: д.э.н. Р.М. Нижегородцев.
---------	--

Лаборатория № 68

2010 г.	Образована лаборатория «Теории расписаний и дискретной оптимизации». Руководитель: д.ф.-м.н. А.А. Лазарев.
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 32.

Лаборатория № 69

2013 г.	Образована лаборатория «Управления сетевыми системами». Руководитель: д.т.н. В.М. Вишневский.
2017 г.	Присоединена лаборатория № 56.

Лаборатория № 70

2015 г.	Из группы сотрудников из лаборатории № 25 образована лаборатория «Математических методов анализа и многоагентных систем». Руководитель: д.ф.-м.н. П.Ю. Чеботарёв.
---------	---

Лаборатория № 77

2017 г.	Образована лаборатория «Вычислительной кибернетики». Руководитель: к.т.н. А.В. Макаренко.
---------	---

Лаборатория № 79

2017 г.	Образована лаборатория «Управления безопасностью киберфизических систем». Руководитель: д.т.н. А.Н. Назаров.
2018 г.	Переименована в лабораторию «Сложных систем».
2018 г.	Присоединена лаборатория № 9.
2018 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. А.Г. Чхартишвили.

Лаборатория № 80

2018 г.	Образована лаборатория «Киберфизических систем». Руководитель: д.т.н. Р.В. Мещеряков.
---------	---

Информационное издание

**Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук. Лаборатории**

Под редакцией чл.-корр. РАН Д.А. Новикова

Подписано в печать 14.05.2019
Формат 70×100/16. Усл. печ. л. 17,09
Тираж 500 экз. Заказ 129

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук
117997
ул. Профсоюзная, д. 65
Россия, Москва
<http://www.ipu.ru>

ISBN 978-5-91450-230-7



9 785914 502307