

85 ЛЕТ

**ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ЛАБОРАТОРИИ**



К 85-летию ИПУ РАН

Институт проблем управления

им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук

ЛАБОРАТОРИИ

2-е издание, переработанное



**Москва
ИПУ РАН
2024**

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 / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова; редкол.: акад. РАН Д.А. Новиков (гл. ред.) и [др.] — 2-е изд. : переработ. — М.: ИПУ РАН, 2024. — 220 с. — ISBN 978-5-91450-274-1 . — Текст: непосредственный.

В книге представлены история и программы исследований всех лабораторий Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), которому в июне 2024 г. исполнилось 85 лет.

Издание предназначено для специалистов в области теории систем управления и ее приложений.

- Главный редактор:** Д.А. Новиков
- Редакционная коллегия:** З.К. Авдеева, И.Н. Барабанов, Н.Н. Бахтадзе, В.М. Вишнеvский, А.А. Галяев, А.О. Калашников, Е.В. Каршаков, С.А. Краснова, А.С. Мандель, Р.В. Мещеряков, М.В. Хлебников, А.Г. Чхартишвили
- Авторский коллектив:** более ста сотрудников Института проблем управления РАН
- Автор компоновки и дизайна книги:** А.С. Мандель
- Фотографии:** В.М. Бабииков, В.М. Кондаков, М.В. Пятницкая, Е.О. Мизякина, В.П. Михайлов
- Рабочая группа:** М.В. Пятницкая, Е.О. Мизякина, В.П. Михайлов
- Компьютерная вёрстка:** А.С. Мандель

Редакционная коллегия выражает свою признательность всем, кто участвовал в написании, сборе и подготовке материалов для этой книги, а также всем службам Института, обеспечивавшим техническую, организационную и информационную поддержку проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	5
Лаборатория № 1 «Динамических информационно- управляющих систем» им. Б.Н. Петрова	7
Лаборатория № 2 «Технических средств управления»	15
Лаборатория № 6 «Управления сплошными средами» им. А.Г. Бутковского	27
Лаборатория № 7 «Адаптивных и робастных систем» им. Я.З. Цыпкина	32
Лаборатория № 8 «Терминальных систем управления» им. Ю.П. Портнова-Соколова	36
Лаборатория № 11 «Сетевых моделей в нейроинформатике и многоагентных системах»	41
Лаборатория № 16 «Нелинейных систем управления» им. Е.С. Пятницкого	50
Лаборатория № 17 «Эргатических систем»	54
Лаборатория № 18 «Компьютерной графики»	61
Лаборатория № 20 «Сценарного управления»	68
Лаборатория № 25 «Теории выбора и анализа решений» им. М.А. Айзермана	74
Лаборатория № 27 «Надёжности, диагностики и отказоустойчивости»	81
Лаборатория № 31 «Распределённых информационных, аналитических и управляющих систем» им. И.В. Прангишвили	94
Лаборатория № 33 «Крупномасштабных систем»	100
Лаборатория № 37 «Систем с разрывными управлениями»	103
Лаборатория № 38 «Управления по неполным данным»	108

Лаборатория № 40 «Интеллектуальных систем управления и моделирования»	120
Лаборатория № 41 «Идентификации систем управления» им. Н.С. Райбмана	131
Лаборатория № 45 «Математических методов исследования оптимальных управляемых систем» им. В.Ф. Кротова	142
Лаборатория № 46 «Систем поддержки принятия решений»	147
Лаборатория № 49 «Инфраструктурных систем»	152
Лаборатория № 57 «Активных систем»	156
Лаборатория № 67 «Экономической динамики и управления инновациями»	160
Лаборатория № 68 «Теории расписаний и дискретной оптимизации»	163
Лаборатория № 69 «Телекоммуникационных систем»	165
Лаборатория № 77 «Вычислительной кибернетики»	172
Лаборатория № 79 «Безопасности сложных сетей»	176
Лаборатория № 80 «Киберфизических систем»	180
Лаборатория № 81 «Управления общественным здоровьем»	183
Лаборатория № 82 «Моделирования и управления большими системами»	187
Лаборатория № 90 «Цифровых систем управления в агропромышленном комплексе»	194
Летопись становления и развития лабораторий	198



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: 21 академик АН СССР и РАН, 13 членов-корреспондентов АН СССР и РАН, 3 Героя Социалистического труда, 12 лауреатов Ленинской премии, 48 лауреатов Государственной премии, 6 лауреатов Премии Совета министров СССР, 8 лауреатов Премии

Правительства РФ, 48 заслуженных и почетных деятелей науки и техники.

Сегодня в Институте трудится около 1000 сотрудников, в том числе – более 130 докторов наук, более 160 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 85 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,
академик РАН

Д.А. Новиков



Лаборатории



ЛАБОРАТОРИЯ № 1

ДИНАМИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

им. Б.Н. Петрова

Лаборатория создана в период структурной реорганизации 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 двукратной 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 организационных, научных 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 существования 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 годы 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 фотосъёмки, 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 Викторович Павлов, ставший руководителем и 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



Борис Викторович Павлов

аппарата. На множестве объектов в условиях непрогнозируемых возмущений реализованы режимы управления, недостижимые в классе традиционных систем.

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 полуопределённого программирования и линейных матричных неравенств. Получены результаты по



**Александр Петрович
Курдюков**

синтезу анизотропийных регуляторов заданного порядка (А.П. Курдюков, д.т.н. М.М. Чайковский, Е.А. Максимов). Построена анизотропийная теория робастного



**Владимир Николаевич
Тимин**

управления для дескрипторных систем (д.ф.-м.н. А.А. Белов). Заложены основы построения теории анизотропийного 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 анизотропийной фильтрации (к.т.н. В.Н. Тимин, д.т.н. М.М. Чайковский). Все теоретические результаты применяются для синтеза систем управления движением летательных аппаратов (В.Н. Тимин, 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 реализо-

ваны 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, д.т.н. А.К. Волковицкий, д.т.н. Е.В. Каршаков).

С 2018 г. лаб. № 1 возглавил Е.В. Каршаков – в то время кандидат физико-математических наук, а с 2019 г. доктор технических наук. Е.В. Каршаков стал руководителем и участником исследований и разработок, которые стартовали ещё при А.П. Курдюкове и продолжаются в настоящее время. Е.В. Каршаков – крупный учёный в области бортовых измерений физических полей. В 1998 г. он окончил механико-математический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, защитил кандидатскую диссертацию в 2002 г., в Институте работает с 2005 г.



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

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 (д.ф.-м.н. А.А. Белов, к.ф.-м.н. О.Г. Андрианова, к.ф.-м.н. А.Ю. Кустов, М.М. Чайковский, к.ф.-м.н. А.В. Юрченков, к.ф.-м.н. 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 анизо-

тропийной теории – к задачам многоканального управления и фильтрации, к анизотропным законам управления, обеспечивающим расположение полюсов замкнутой системы в заданной области комплексной плоскости, к задачам синтеза анизотропных регуляторов заданного порядка и заданной структуры (включая ПИД-регуляторы), к задачам синтеза анизотропных законов управления и оценщиков для систем с параметрической неопределённостью. Продолжается активное развитие анизотропной 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 анизотропной теории для непрерывных сигналов и систем – σ -энтропийной теории.

– Продолжаются исследования, связанные с бортовыми измерениями физических полей, проводимые группой сотрудников (Б.В. Павлов, д.т.н. А.К. Волковицкий, Е.В. Каршаков, Д.А. Гольдин, Е.В. Мойланен, к.т.н. 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 опираться на 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. Наиболее эффективным оказалось использование Калмановского подхода, при котором неизвестные составляющие модели описываются случайным процессом, а формирующие уравнения этого процесса 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 ис-

копаемых. Результатами выполненных сотрудниками лаборатории работ стали открытия новых месторождений алмазов, золота и других 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, А.М. Гаракоев). Новыми задачами являются выполнения режимов взлёта и посадки воздушных судов, обтекание рельефа при аэрогеофизической съемке. 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).

– 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 высоконадёжных интерактивных систем контроля и управления испытаниями движущихся объектов, которые в условиях жёсткого временного лимита обеспечивают 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 выполняет НИР и составные части ОКР по заказам Минобороны России и Роскосмоса.

Сотрудники лаб. № 1 принимают участие в работе редколлегий 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 МГУ им. М.В. Ломоносова и МГТУ им. Н.Э. Баумана способствует притоку в лабораторию научной молодёжи.

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*.

* Списки книг сотрудников Института имеются на странице https://www.ipu.ru/d7ipu/books_library_grid, а все публикации лабораторий последних 15 лет – на страничках лабораторий на сайте Института.

ЛАБОРАТОРИЯ № 2

ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ



**Владимир
Леонидович
Лоссиевский**

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

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).

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.).



**Игорь
Севастьянович
Мезин**

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. Тагаевской 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 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 контроля 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



**Анатолий
Николаевич
Шубин**

(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.



Асим Мустафаевич Касимов

С 2005 по 2020 гг. лабораторией руководил 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 статике 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 многокомпонентных двухфазных потоков (М.М. Беляев, А.М. Касимов, А.И. Попов).

- Разработку и серийный выпуск струйной автоматики для управления параметрами авиационных двигателей (22 регулятора на 12 типах двигателей). Подтверждена высокая надёжность и большая экономическая эффективность таких систем. Нарботка на отказ струйной техники составила более 20 млн. лётных часов, а экономическая эффективность 103 млн. руб. (в ценах 1993 г.) (А.М. Касимов, А.И. Попов).

– Исследования по измерению расходов текучих продуктов дифференциальными методами. Предложены новые методы измерения расходов



Струйные элементы СУ авиационным двигателем

- Работы по созданию пневматических систем автоматизированного дозирования (САД) жидких продуктов. Проведен анализ методов и технических средств автоматического дозирования жидкостей пневматическими методами. Разработан новый класс 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 объеме 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 (д.т.н. А.В. Балабанов).



**Зав. лаб. № 2
Андрей Валерьевич
Балабанов**

С 2020 г. лаб. № 2 руководит Андрей Валерьевич Балабанов, который в этом же году защитил докторскую диссертацию по техническим наукам. Вышеуказанные направления исследований продолжают развиваться коллективом лаборатории. Появилось новое направление – дискретная микрофлюидика; это направление связано с развитием теории и практики создания струйных элементов и устройств логического управления с микрометрическими характеристическими размерами.

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 компенса-

ционных 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, повышающим 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».

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



**Наталия Петровна
Васильева**



Сергей Иванович Касаткин

устройств на плоских магнитных доменах, магнитных дисков и лент, преобразователей магнитного поля на магниторезистивных (МР) эффектах.

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

Элементы с АМР эаффектом. 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 эаффектом. Группа участвует в разработке элементов на основе СВМР и СТМР эаффектов совместно с коллективом НПК ТЦ.

В группе проведены теоретические исследования на основе теории микромагнетизма нанозаэлементов 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 нанозаэлементов на их основе. Разработка макетов приборов с АМР преобразователями. Разработан макет на принципах магнитной локации, 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 нанозаэлементов на их основе и приборов с этими нанозаэлементами. В настоящее время начаты работы по новому перспективному направлению магнитной стрейнтроники, использующему магнитострикционные и МР эаффекты 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 д.т.н., проф. Дмитрия Ивановича Агейкина, а затем заведующего лаб. № 62, проводились работы в двух взаимосвязанных научных направлениях:

- 1) Разработка теории и принципов построения средств преобразования и автоматического измерения величин переменного тока.
- 2) Разработка общей теории структур преобразования измерительной информации.



Владимир Юрьевич Кнеллер

Основной объект изучения в первом направлении – автоматические преобразователи и измерители пассивных комплексных величин (ПКВ) переменного тока. 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 уравновешенными цепями, микропроцессорных цифровых измерителей ПКВ, путей их совершенствования; многофункциональных цифровых измерителей без уравнивания; виртуальных измерителей/анализаторов ПКВ). При этом 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 основным 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 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);
- 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).

Продолжается развитие теории автоматических измерителей комплексных величин на случай измерения параметров объектов, представляемых многомерными двухполюсниками. Ведутся систематизация основных методов построения таких измерителей, сравнительный анализ их характеристик – быстродействия и помехоустойчивости и выработка практических рекомендаций по их реализации и применению (Д.А. Бобылёв, 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.

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, независимо 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, когда был предложен и развит подход к рассмотрению преобразователей параметров ПКВ. Суть этого подхода заключается в изучении взаимосвязей особенностей структуры существенных преобразований величин с возможностями и свойствами преобразователей. В результате были выявлены структурные закономерности построения систем преобразования различных классов. Среди них: преобразователи комплексных и многомерных величин с уравниванием и квазиуравниванием и преобразователи прямого преобразования. Были разработаны 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 потенциальной форме сведения о возможных объектах заданного класса. В основу логики теории положена совокупность двух основополагающих принципов: симметрии (двойственности) и инвариантности.

На основе разработанной методологии построены основы общей теории синтеза полного множества *однозначных* структур систем прямого инвариантного преобразования скалярных, комплексных и многомерных величин, стержнем которой явился предложенный В.А. Скомороховым метод однозначного решения систем нелинейных уравнений с управляемыми параметрами. Разработаны основы общей дедуктивной теории синтеза и эквивалентных преобразований параметрических нелинейных систем ПИ. Синтезированы естественные прогнозирующие классифи-

кации ряда классов систем ПИ.

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 и 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 являлся 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 был заместителем главного редактора журнала «Проблемы управления».



**Владимир Андреевич
Викторов**

С начала 60-х годов в лаборатории академика Б.Н. Петрова 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 в 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, ушёл из жизни в 2018 г.). 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 монографиях: *В.А. Викторов «Резонансный метод измерения уровня»* (1969) и *В.А. Викторов, Б.В. Лункин «Измерение количества и плотности различных сред»* (1973).

В области радиоволновой уровнеметрии 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 уровнемеров 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 *Б.Н. Петров, В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С. Совлуков «Принцип инвариантности в измерительной технике»* (1976). Разработанные в лаб. № 48 радиоволновые методы и средства измерений нашли отражение в двух монографиях: *«Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин»* (1978) и *В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С. Совлуков «Радиоволновые измерения параметров технологических процессов»* (1989).

С начала 80-х годов научными исследованиями и разработкой систем измерения, основанных на радиоволновом методе, руководил к.т.н. Борис Васильевич Лункин, который возглавлял 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).



Борис Васильевич Лункин

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 Фабяна, 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.

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 № 6

УПРАВЛЕНИЯ СПЛОШНЫМИ СРЕДАМИ

им. А.Г. Бутковского



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

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



**Заведующий лаб. № 6
Алексей Гурьевич Кушнер**

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 Виктор Павлович Жуков. С 2010 г. лабораторией заведует доктор физико-математических наук Алексей Гурьевич Кушнер.

Первые годы работы лаборатории были отданы исследованию проблем автоматического регулирования энергетических установок и маршевых ракетных двигателей, работающих с использованием ядерной энергии, а также автоматического регу-



**Виктор Павлович
Жуков**

лирования 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 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 годы 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 управле-

ния. 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.

В 70–90-е годы 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 д.ф.-м.н., проф. И.С. Красильщика, д.ф.-м.н., проф. А.Г. Кушнера, д.ф.-м.н., проф. В.В. Лычагина, д.т.н., проф. А.В. Самохина, д.ф.-м.н. Д.В. Туницкого и их учеников.

В 2012 г. к лаб. № 6 была присоединена лаб. № 63, которую основал и руководил ею более 30 лет д.т.н., проф. Анатолий Григорьевич Бутковский. Родство тематик этих лабораторий обсуждается в разделе 2.17 «Системы с распределёнными параметрами» этой книги. В связи с этим лаб. № 6 вскоре было присвоено имя А.Г. Бутковского.



**Анатолий Григорьевич
Бутковский**

Лаборатория активно сотрудничает с лаб. № 82 Института в области оптимального управления процессом разработок месторождений углеводородов, с физическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова, профессором которого является заведующий лаб. № 6 А.Г. Кушнер.

В настоящее время исследования лаборатории сконцентрированы на разработке методов исследования нелинейных систем с управлением, в частности, методов управления в сплошных средах. 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.



**Валентин Васильевич Лычагин (слева)
и Иосиф Семёнович Красильщик**

такие вопросы, как теория формальной интегрируемости, особенности решений, симметрии дифференциальных уравнений. Эти результаты явились важной вехой развития лаборатории.

Основная идея геометрической теории дифференциальных уравнений состоит в их представлении как подмногообразий в пространстве 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.

Дальнейшее развитие методов геометрии дифференциальных уравнений отражены во многих российских и зарубежных монографиях, в числе которых работы по символическим вычислениям структур интегрируемости для дифференциальных уравнений, по симметриям и законам сохранения уравнений математической физики, по геометрии пространств джетов и нелинейных уравнений в частных производных.

Разработанные в лаборатории геометрические методы были применены к исследованию процессов в сплошных средах, а именно процессов течения газа и жидкости, распространения ударных волн и звуковых пучков в нелинейных средах, в нелинейной акустике, задачам нелинейного теплообмена, к распространению нелинейных волн и управлению этими процессами, а также к решению уравнений, возникающих в теории поля. В частности, 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, описывающего движение вязкой жидкости на многообразии, которое представляет собой шаровой слой (модель атмосферы или океана), в зависимости от алгебры симметрий, допус-

Первые результаты в этих направлениях, полученные на стыке коммутативной алгебры, дифференциальной геометрии и теории дифференциальных уравнений в частных производных в 1970-80-х годах в работах А.М. Виноградова, И.С. Красильщика и В.В. Лычагина, определили направления последующих исследований.

Для общих систем нелинейных дифференциальных уравнений с единой геометрической точки зрения были рассмотрены

каемых уравнениями состояния. 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.

Для систем эволюционных дифференциальных уравнений в частных производных разработан метод построения конечномерных динамик, позволяющий находить асимптотически устойчивые режимы, в частности, – аттракторы в моделях фильтрации. Построен и исследован аналог модели Бакли–Леверетта двухфазной фильтрации на гладких поверхностях и предложены методы решения задач оптимального управления для этой модели.

В области теории дифференциальных инвариантов лабораторией получены значимые результаты. Для систем с управляющими параметрами введены дифференциальные инварианты, названные инвариантами Петрова, и вычислены алгебры дифференциальных инвариантов для гамильтоновых систем с управляющими параметрами относительно преобразований обратной связи, что позволило провести их классификацию.

Доказана глобальная версия теоремы Ли–Трессе. 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 встречающиеся на практике уравнения и псевдогруппы Ли относятся к уравнениям именно 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 применён 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.

Дифференциальные инварианты применены к решению проблемы распознавания образов. В частности, к проблеме распознавания отпечатков пальцев. На основе современных концепций нейрогеометрии совместно с французскими коллегами

построен универсальный эффективный алгоритм восстановления повреждённых изображений, включая сильно повреждённые (более 80 и даже 90 пикселей).

Перечислим некоторые результаты, полученные сотрудниками лаб. № 6 за последние пять лет и относящиеся к задачам управления процессами в сплошных средах:

- Предложена модель термодинамики сплошной среды, основанная на измерении экстенсивных параметров: плотности массы, плотности внутренней энергии и тензора скорости деформации. Эта модель применена к задаче оптимального управления термодинамическими состояниями реальных газов, к задачам фильтрации в пористых средах.
- Предложена модель сплошной среды с внутренней молекулярной структурой и для неё построен аналог уравнений Навье-Стокса с учётом термодинамики. Предложена общая модель движения сплошных сред на многообразиях.
- Исследован процесс истекания газа Ван дер Ваальса из сопла. Построена модель, учитывающая газо- и термодинамические характеристики (давление, температуру, энтропию).
- Разработан метод построения точных и приближённых решений систем эволюционных дифференциальных уравнений со многими пространственными переменными. Этот метод применён для нахождения точных решений уравнения Буссинеска, которое описывает форму свободной поверхности жидкости при её течении в пористом грунте.
- Разработан метод точного решения некоторых гиперболических систем дифференциальных уравнений, описывающих фильтрацию в пористой среде. Метод применён к задачам управления фильтрацией суспензии и к задачам вытеснения нефти растворами активных реагентов при разработке нефтяных месторождений.
- Изучена проблема интегрируемости уравнений Кадомцева-Погутце, описывающего динамику плазмы в токамаках.

За последние годы направления работы лаборатории связаны, прежде всего, с задачами управления в сплошных средах, и в 2023 г. решением Учёного совета Института лаборатория № 6 была переименована в лабораторию управления в сплошных средах им. А.Г. Бутковского.

Лаборатория продолжает развивать свои классические направления, что позволило ей организовать две молодёжные научные школы (МНШ). Группа учеников одной из МНШ работает в области теории конечномерных динамик и симметрий нелинейных уравнений математической физики и теории управления под руководством Алексея Гурьевича Кушнера. Группа сотрудников другой МНШ развивает геометрические методы управления в сплошных средах под руководством Валентина Васильевича Лычагина.

ЛАБОРАТОРИЯ № 7

АДАПТИВНЫХ И РОБАСТНЫХ СИСТЕМ

им. Я.З. Цыпкина

Лаборатория создана в 1956 г. Её первым заведующим (до 1997 г.) был академик Яков Залманович Цыпкин, имя которого носит лаборатория сейчас. Продолжая традиции, а отчасти и тематику своего основателя, лаборатория основное внимание уделяет фундаментальным проблемам теории автоматического управления, являясь 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 нашей стране и внес 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.

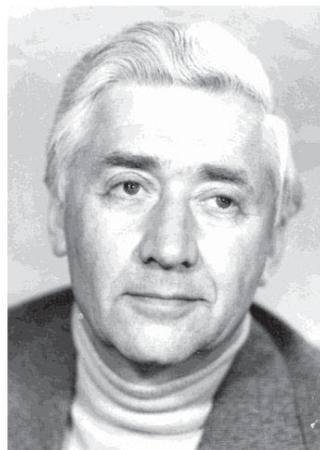
К середине 1960-х годов центр интересов лаборатории смещается в сторону проблем адаптации, обучения, распознавания, оценивания, стохастической оптимизации. В книгах Я.З. Цыпкина *«Адаптация и обучение в автоматических системах»* (1968) и *«Основы теории обучающихся систем»* (1970) был предложен единый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



**Борис Теодорович
Поляк**

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

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, А.С. Позняк, А.И. Пропой, Э.Д. Аведьян и многие другие.



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

В лаборатории проходили стажировку известные зарубежные учёные Л. Льюнг (Швеция) и П. Кокотович (США).

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

В настоящее время в лаборатории работают 18 человек. Это доктора наук М.В. Хлебников (заведующий лабораторией), М.В. Балашов, А.И. Глущенко, А.В. Назин, Ю.С. Попков, В.Н. Честнов, П.С. Щербаков; кандидаты наук В.А. Александров, Я.И. Квинто, С.Э. Парсегов, И.Г. Резков, А.А. Тремба, Д.В. Шатов; младшие научные сотрудники К.А. Ласточкин, Е.А. Стефанюк, техники К.З. Биглов, Н.Н. Литинская.



В лаборатории ведутся исследования по нескольким направлениям, среди которых в качестве основных можно выделить следующие:

- Развитие теории линейных систем 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 терминах 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 де-

терминированных задач; 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.

- 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.



**Зав. лаб. № 7
Михаил Владимирович Хлебников**

- Продолжает развиваться и традиционная для лаборатории тематика адаптивного управления. В частности, развивается частотная теория адаптивного управления, основанная на идентификации системы с помощью гармонических воздействий и построении регуляторов с использованием теории аналитического конструирования регуляторов.
- Одно из новых и перспективных направлений исследований связано с «оптимизационным» подходом к задачам управления, предполагающим их сведение к задачам невыпуклой матричной оптимизации. Например, в классической задаче о линейно-квадратичном регуляторе можно рассматривать матрицу линейной обратной связи как переменную и сводить проблему к минимизации показателя качества по этой переменной. Такой подход, восходящий к пионерским работам Р. Калмана, был впервые применен сотрудниками лаборатории к задаче о линейно-квадратичном регуляторе по выходу, к задачам подавления ограниченных внешних возмущений при помощи статической линейной обратной связи по состоянию или по выходу, а также при помощи динамической обратной связи по выходу с использованием наблюдателя; он был применен для решения задач настройки ПИ- и ПИД-регуляторов и др. Предложенные алгоритмы решения возникающих при этом оптимизационных задач показали

свою эффективность и приводят ко вполне удовлетворительным по инженерным критериям качества регуляторам.

- Помимо теоретических исследований в лаборатории ведутся и прикладные работы; ее сотрудниками получен ряд патентов РФ.

Сотрудники лаборатории регулярно публикуются в ведущих отечественных и зарубежных журналах, активно участвуют в авторитетных российских и международных конференциях.

Среди публикаций последних лет следует отметить книгу «Яков Залманович Цыпкин (1919–1997)». М.: ЛКИ, 2007, рассказывающую о лаборатории и её достижениях и посвящённую её основателю.

В монографии Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Щербаков П.С. *Управление линейными системами при неопределённостях и внешних возмущениях: техника линейных матричных неравенств*. – М.: ЛЕНАНД, 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.

В недавно опубликованном учебном пособии Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Рапопорт Л.Б. *Математическая теория автоматического управления*. – М.: ЛЕНАНД, 2019, в современной форме изложены основы теории управления. Помимо традиционных разделов теории линейных систем в книгу включены вопросы управления в условиях неопределённости (робастность, внешние возмущения), управления нелинейными системами (абсолютная устойчивость, теоремы Ляпунова, хаос), техника линейных матричных неравенств.

Лаборатория имеет ряд грантов РФ и РФФИ, она принимала участие в Программах фундаментальных исследований ОЭМППУ и Президиума РАН, а также в ряде совместных международных проектов с коллегами из Франции, Италии и других стран.

Сотрудники лаборатории неоднократно удостоивались различных премий и наград. М.В. Хлебников, А.В. Назин, А.А. Тремба, П.С. Щербаков – лауреаты премий ИПУ РАН им. А.А. Андропова, Б.Н. Петрова, В.С. Кулебакина, А.М. Лётова, А.А. Фельдбаума, Я.З. Цыпкина.

Лаборатория широко представлена в редколлегиях как отечественных («Автоматика и телемеханика», «Управление большими системами», «Проблемы управления», «Системы анализа и обработки данных», «Известия КНЦ УрО РАН» и др.) так и зарубежных журналов. Её сотрудники входят в состав ряда 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 НИУ МФТИ, НИУ ВШЭ, НИТУ МИСиС и др. С 2007 г. в лаборатории действует молодёжная научная школа, в настоящее время – под руководством М.В. Хлебникова. Усилиями сотрудников лаборатории проведены десять Традиционных всероссийских молодёжных летних школ «Управление, информация и оптимизация» (2009–2018 гг.).

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 годы 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 внутрибаковые процессы. Управление этими процессами должно обеспечивать устойчивый режим выделения энергии большой мощности в ЖРД и создания тяги, безаварийный останов и повторный запуск двигателя. Управление внутрибаковыми процессами может обеспечить также полную выработку топлива и минимальные затраты газа наддува. Задача полной выработки топлива решается

совместно с терминальным выведением 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
Андрienko**

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).

В последние годы в работах лаборатории значительное внимание уделялось детерминированным постановкам задачи синтеза стратегии управления, обеспечивающей решение терминальной задачи в классе систем с прогнозированием невязок краевых условий.

Развиты элементы детерминированной теории синтеза терминального управления для широкого класса объектов ракетно-космической техники.

Подход к синтезу основывается на выделении в системе взаимосвязанных процессов терминального управления и стабилизации объекта. Декомпозиция позволяет определить содержание управления в терминальных системах иначе, чем в математических формулировках задач, где за терминальное управление принимаются физические координаты объекта (расход топлива, режим по тяге, угловое положение). В реальной системе терминальное управление производится путём задания желаемых значений физическим координатам, поддерживаемых контуром стабилизации. В контуре стабилизации минимизируются отклонения регулируемых координат от заданных значений. Такое различие существенно при терминальном управлении в классе функций с разрывами в конечном числе моментов времени.

Прогнозирование невязок краевых условий производится при постоянных значениях координат объекта, регулируемых контуром стабилизации. Получены диф-

ференциальные уравнения для вектора прогнозируемых невязок, производная которых в явном виде зависит от терминального управления.

Для управления в классе кусочно-постоянных функций дифференциальные уравнения преобразуются в разностные уравнения. На основе применения принципа динамического программирования развит метод детерминированного синтеза терминального управления в классе кусочно-постоянных функций времени и прогнозируемых невязок. Сформулировано условие управляемости системы в части решения терминальной задачи.

На основе развитой теории разработаны методы синтеза систем управления внутрибаковыми процессами и эффективные алгоритмы управления, учитывающие динамику жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) и недопустимость критических режимов его работы.

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

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

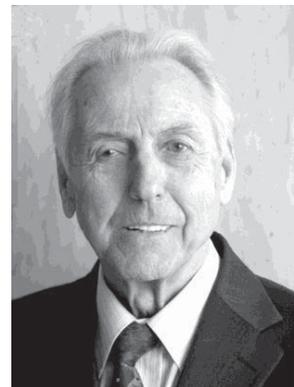
Результаты, полученные в области управления внутрибаковыми процессами жидкостных ракет-носителей, отвечают возросшим требованиям к безопасности и энергетике, являются актуальными и новыми для отечественной и мировой практики. Развита теоретическая основа и технология проектирования, накоплен значительный 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-гидравлических систем подачи.

Современные работы лаборатории ориентируются на развитие ракетно-космического потенциала страны в сотрудничестве 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 для разработки основ теории адаптивных систем координатно-параметрического управления объектами ракетно-космической техники. Результаты этой



**Заведующий
лабораторией № 8
Владимир Петрович
Иванов**



**Владислав Юльевич
Рутковский**



**Виктор Миньонович
Суханов**

теории сохраняют свою актуальность и в настоящее время. В качестве объектов управления рассматриваются 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.

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

СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ И МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ



**Марк Аронович
Айзерман**

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 был д.т.н, проф., председатель Научного совета (2000–2021) Российской

ассоциации искусственного интеллекта Олег Петрович Кузнецов.



**Алексей Алексеевич
Таль**

С 2019 г. лаб. № 11 возглавила д.ф.-м.н. Людмила Юрьевна Жиякова.

В настоящее время в составе лаборатории – 17 сотрудников, в том числе 4 доктора и 2 кандидата наук.

Основными научными направлениями лаб. № 11 являются исследования в области искусственного интеллекта (ИИ) и сетевых структур:

- 1) биологически ориентированные методы в ИИ и моделирование биологических нейронных сетей;
- 2) сетевые представления знаний, объектов и процессов;
- 3) многоагентные системы и групповое поведение;
- 4) моделирование и анализ социальных сетей.



**Людмила Юрьевна
Жиякова**



**Олег Петрович
Кузнецов**

1. Биологически ориентированные методы ИИ (О.П. Кузнецов, Н.И. Базенков, Л.Ю. Жилиякова, Н.В. Чаплинская)

Многие задачи – обработки визуальных образов, ориентации в пространстве, принятия решений при неполной информации и др., – мозг решает эффективнее, чем компьютер. Это означает, что механизмы обработки информации в мозге принципиально другие. Раскрытие принципов, на которых основаны эти механизмы, должно привести к прорыву в технологиях ИИ. В рамках этого направления ведутся исследования в нескольких взаимосвязанных областях.

1.1. Моделирование взаимодействий в мультитрансмиттерных нейронных ансамблях (О.П. Кузнецов, Н.И. Базенков, Л.Ю. Жилиякова)

В 2015 г. совместно с коллективом нейробиологов из Института биологии развития РАН была начата работа по созданию дискретных моделей химических внемембранных взаимодействий между нейронами в биологических нервных системах. Эти взаимодействия играют огромную роль в функционировании нервной системы, но пока существует мало попыток их математического описания.

Основные принципы разработанной модели следующие. Нейроны находятся в едином внеклеточном пространстве (ВКП). Когда нейрон активен, он выделяет в ВКП специфическое вещество – трансмиттер. Выделенный трансмиттер действует на все нейроны, которые имеют чувствительные к нему рецепторы, то есть является широкоэмиттерным сигналом. Знак воздействия трансмиттера на рецептор (возбуждающее или тормозящее) зависит от типа рецепторов. Нейроны вместе с ВКП образуют нейронный ансамбль, способный генерировать ритмическую активность. Ансамбль представляется сетью, в которой связь от нейрона А к нейрону В существует, если А выделяет трансмиттер, к которому чувствительны рецепторы В. Предложен асинхронный принцип функционирования ансамбля во времени, более соответствующий биологическим реалиям. Разработан алгоритм вычисления поведения модели и его программная реализация.

В 2020 г. О.П. Кузнецов предложил небологическое обобщение этой модели, назвав ее асинхронной многоагентной многосортной системой. В ней опущены биологические сущности; остается сеть из абстрактных агентов, обменивающихся сигналами разных сортов. Ее можно интерпретировать как социальную сеть с разными типами информационных обменов. Предложен метод определения границ устойчивости поведения при изменении значений параметров сети. В 2021 г. О.П. Кузнецов исследовал процесс распространения сигнала в цепи асинхронных пороговых элементов и описал условия прохождения сигнала через цепь.

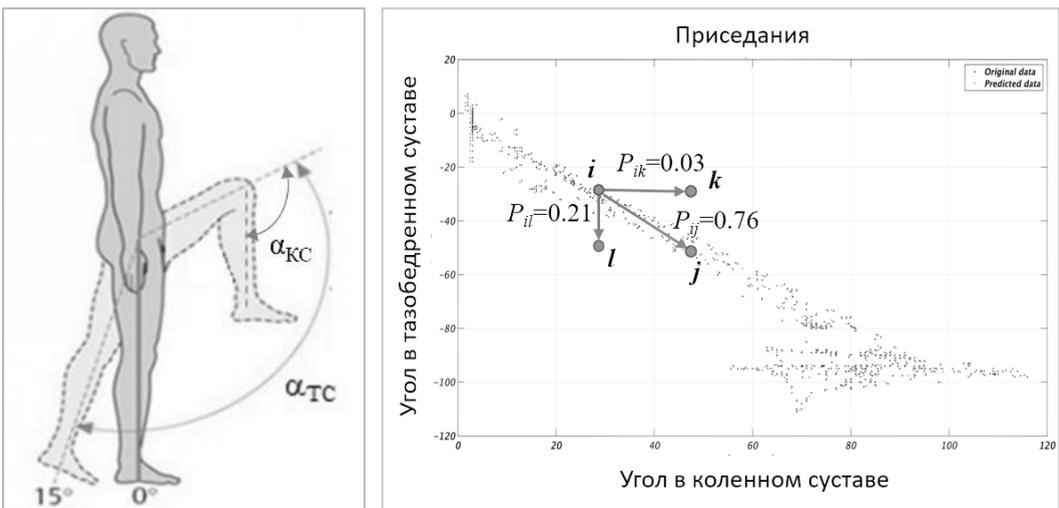
1.2. Моделирование спайковых нейронных сетей (Н.В. Чаплинская)

В 2022 г. предложено новое правило обучения спайковых нейронных сетей, основанное на эффекте пластичности синаптических задержек. На его основе решена задача распознавания трёх контрастных образов спайковой нейронной сетью с тремя нейронами. Планируется исследовать возможности предложенного правила на сетях другой архитектуры для решения более сложных задач, а также модифицировать это правило путем добавления иных характеристик синаптической пластичности для повышения биологической правдоподобности исследуемых моделей.

1.3. Биологически правдоподобные модели управления движением (Н.И. Базенков)

Моделирование и управление локомоцией человека – актуальная проблема на стыке математики, биологии и медицины. Перспективным направлением исследований является синтез современных методов машинного обучения и биологически адекватных моделей управления движением. Наши исследования посвящены построению модели движений конкретного человека по экспериментальным данным.

Прикладная цель исследований – краткосрочный прогноз движений пользователя бионического протеза ноги для повышения качества управления протезом. Более глобальная цель – построение модели движений, которая будет способна предсказывать движения пользователя в ситуациях, не встречавшихся в лабораторных испытаниях. В этих исследованиях мы комбинируем точные биомеханические модели скелета и мускулатуры с методами обучения с подкреплением.



Прогноз состояния бионического протеза с помощью марковской цепи в пространстве лагов

2. Сетевые представления знаний, объектов и процессов

2.1. Методы оптимизации структур сложных систем (Н.И. Шушко)

Задача управления структурой системы сводится к задаче комбинаторной оптимизации – выбора допустимой структуры из конечного множества, доставляющей минимум функции затрат. Наши исследования моделей поиска оптимальных структур основывались на концепции «секционных» функций затрат (А.А. Воронин и С.П. Мишин, Волгоград). М.В. Губко обобщил эту модель и развил общую теорию оптимизации структуры сложных систем, находящую применение в информатике, менеджменте, математической химии и других областях. Ведутся исследова-

ния алгоритмов синтеза оптимальной структуры дорожных сетей на основе сведения проблемы синтеза к задачам смешанного линейного программирования.

2.2. Разработка теории ресурсных сетей (О.П. Кузнецов, Л.Ю. Жилиякова, Н.В. Чаплинская, В.Р. Корешков)

Модель «ресурсная сеть» предложена О.П. Кузнецовым в 2009 г. В вершинах ориентированного графа находится однородный ресурс. Веса рёбер обозначают их пропускные способности. На каждом такте ресурс вершины перераспределяется по одному из двух правил. Если количество ресурса превосходит сумму весов исходящих ребер, по каждому исходящему ребру передаётся ресурс, равный пропускной способности этого ребра. В противном случае вершина отдаёт весь ресурс, разделив его между всеми рёбрами пропорционально их пропускным способностям. Суммарное количество ресурса не меняется. Был описан частный случай (полная однородная сеть): сеть задана полным графом, пропускные способности рёбер одинаковы. На этом примере показаны основные свойства ресурсной сети: устойчивость при малом ресурсе, зависимость от начальных условий при большом ресурсе, наличие *порога*, разделяющего малые и большие значения ресурса.

Л.Ю. Жилияковой получены результаты, практически полностью описывающие поведение ресурсных сетей различных классов и изложенные в двух монографиях.

Предложена и исследована модификация модели – сеть с ограничениями на ёмкость *вершин-аттракторов* (вершин, накапливающих излишки ресурса).

Н.В. Чаплинская совместно с Л.Ю. Жилияковой исследовала ресурсную сеть с «жадными» вершинами (2020–2021 гг.). В отличие от стандартной модели, при распределении ресурса вершина сначала заполняет свою петлю, а затем распределяет остатки в выходные дуги. Получены предельные характеристики таких сетей.

В.Р. Корешков занимается исследованием неэргодических ресурсных сетей, а также открытой ресурсной сети – сети, в которую ресурс приходит извне (2022 г.).

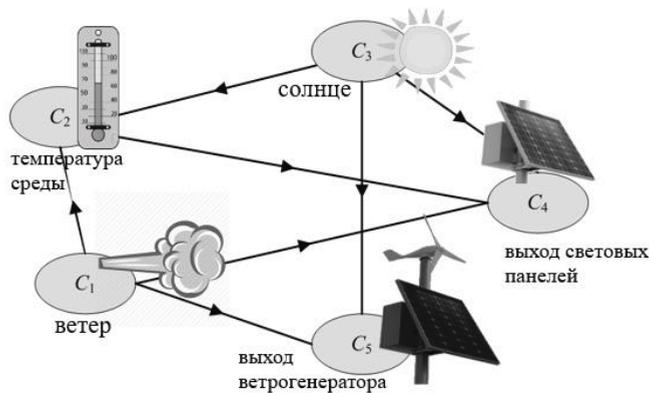
2.3. Онтологический подход к управлению знаниями в научных организациях (О.П. Кузнецов, В.С. Суховеров)

Предложен подход к задаче определения компетентности научных сотрудников на основе соотнесения терминологии их публикаций с терминами онтологии предметной области, представленной деревом с двумя типами вершин: вершины-темы и вершины-термины. Определены два вида профиля: профиль публикации, характеризующий её релевантность темам предметной области, и профиль сотрудника, характеризующий компетентность сотрудника в этих темах. Предложена формула, оценивающая релевантность публикации темам онтологии. На её основе вычисляется компетентность сотрудников по их публикациям. Вычисленные компетентности можно использовать для подбора экспертов, рецензентов и др. В 2017 г. разработана первая версия программной системы, успешно опробованная на массиве статей журнала «Автоматика и телемеханика». В 2019 г. разработана система определения компетенций сотрудников Института на основе базы их публикаций. В настоящее время система работает в режиме отладки.

2.4. Обработка символьной информации в системах ИИ (Д.Ю. Максимов)

Тема началась с разработки способа выбора решения группой роботов о назначении исполнителя новой задачи исходя из решётки задач, которые роботы способны выполнять. В дальнейшем символьная информация, представленная элементами решётки, обрабатывалась в нейронных сетях (в ассоциативной памяти) и когнитивных картах. Были доказаны теоремы о сходимости таких сетей и карт и о возможности сохранения в ассоциативной памяти заданного набора паттернов символьной информации. Рассмотрены примеры применения таких сетей и карт.

Разработана новая концепция многозначных когнитивных карт. Веса и переменные не являются числами, а принимают лингвистические значения в некоторой решётке. Доказана сходимость таких карт.



Когнитивная карта работы фото-ветрогенератора

2.5. Семиотические модели в системах поддержки принятия решений (СППР) в условиях неопределённости (А.А. Кулинич)

Предложен подход к построению СППР, основанный на применении семиотической модели предметной области и методов обработки естественного языка. Модель включает три модели предметной области – синтаксическую, семантическую и прагматическую. Предложены методы решения прямой задачи (прогноз развития ситуации) и обратной задачи (вычисление параметров ситуации для перевода её в целевое состояние). В качестве базы знаний семиотической модели используется корпус текстов, релевантных предметной области. Предложен семантический калькулятор для извлечения родовидовых отношений из корпуса текстов на основе дистрибутивного анализа (Word2Vec). Разработан программный макет.

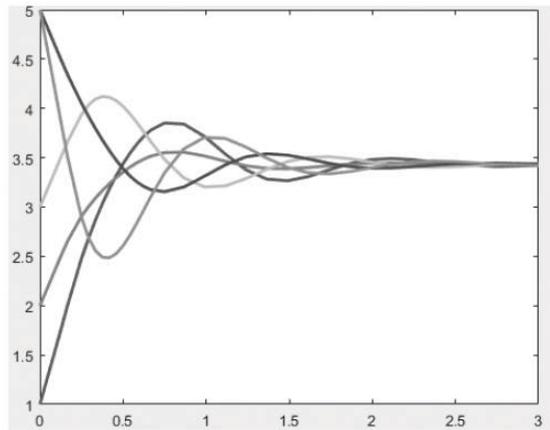
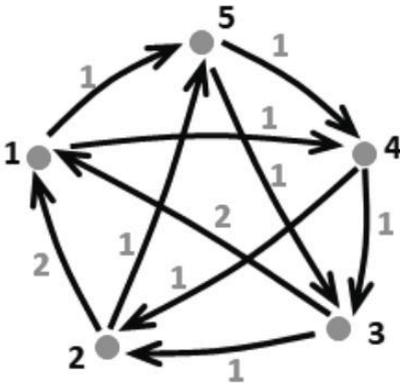
3. Мультиагентные системы и групповое поведение роботов (Р.П. Агаев, Д.К. Хомутов, А.А. Кулинич, А.Ю. Ефремов, Я.Ю. Цодикова)

3.1. Децентрализованное управление многоагентными системами (Р.П. Агаев, Д.К. Хомутов)

Исследования децентрализованного управления сетевыми многоагентными системами, динамика которых существенно определяется ориентированным графом

информационных связей между агентами, опираются на работы П.Ю. Чеботарёва и Р.П. Агаева по алгебраической теории ориентированных графов. Для нормированных лапласовских матриц получена область локализации их спектра.

Для ряда протоколов поиска консенсуса исследована асимптотика и получены выражения компонент предельных состояний через собственные проекторы лапласовских матриц ориентированных графов зависимости агентов. Доказаны теоремы, дающие теоретико-графовые интерпретации консенсусных решений. Исследована проблема консенсуса в многоагентных системах с несвязным орграфом влияний. Предложен метод ортогональной проекции, регуляризирующий процесс достижения консенсуса. Исследовано несколько моделей латентного консенсуса для случаев, когда орграфы влияний агентов не имеют остовных исходящих деревьев. Изучаются модели консенсуса с запаздыванием. Подготовлен курс «Теория многоагентных систем», который читается в МФТИ и ИПУ РАН.



Орграф многоагентной системы и их взаимными влияниями (слева) и с вектором $x(0) = (1, 2, 3, 5, 5)^T$ и задержек $(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5) = (\frac{1}{6}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{6})$ значение консенсуса равно 3.432, т.е. $L^T x(0) = 3.432 * (1, 1, 1, 1, 1)^T$.

Другой аспект алгебраической теории графов – синтез и анализ метрик, мер близости, индексов центральности вершин – используется при исследовании структуры сетей различной природы. Такие меры необходимы при решении задач кластеризации и классификации на графах. Нами исследован и использован в анализе данных ряд новых мер близости и алгебраических индексов вершин графов. Установлены их связи с характеристиками цепей Маркова.

3.2. Модели формирования и функционирования команд роботов с реактивной и BDI (belief-desire-intention) архитектурой (А.А. Кулинич)

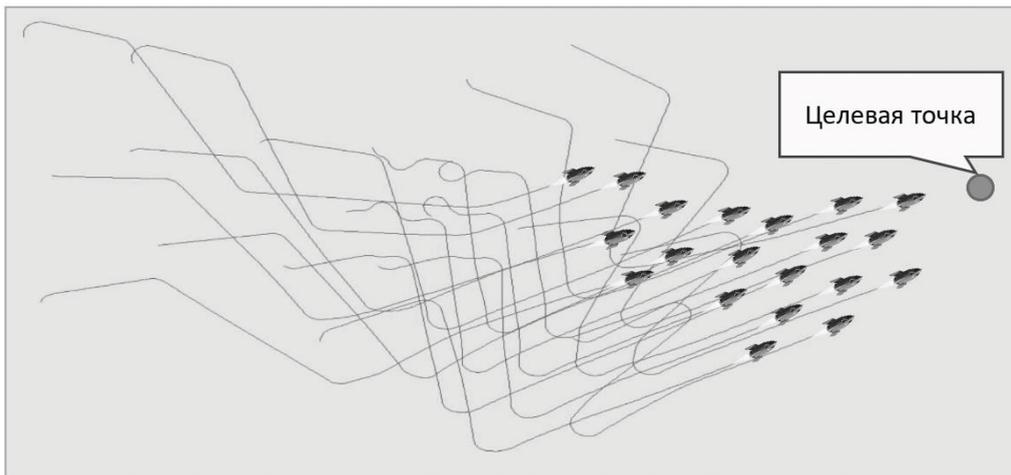
Построены модели командного поведения роботов с реактивной архитектурой. Предложены алгоритмы стайного поведения роботов, алгоритмы поведения «ленивых» и эгоистичных роботов. Разработана модель представления среды функционирования роботов в виде вложенных подпространств системы «Группа роботов – Среда», а также модель интеллектуального робота с BDI архитектурой.

Описаны условия командной работы роботов, поддерживаемые протоколами обмена между агентами информацией об их убеждениях и целях, условиях совместной работы и координации действий. Экспериментальные исследования предложенных моделей, алгоритмов и архитектур показали их корректность.

3.3. Стайная робототехника (А.Ю. Ефремов)

Стайная робототехника исследует коллективное поведение большого числа простых агентов, возникающее из локальных взаимодействий между агентами и между агентами и средой. Одним из направлений является изучение роботизированного флорирования. Базовая модель флорирования, т.е. самоорганизованного координированного движения группы автономных мобильных объектов, состоит из трех правил управления скоростью и курсом, которые описывают маневрирование отдельных объектов на основе положений и скоростей ближайших соседей.

Используются виртуальные агенты, влияющие на поведение всех или части роботов в стае: агенты, задающие целевую точку, и агенты, задающие желаемый курс. Агенты имеют ограничения на маневрирование, чего не было в большинстве известных работ. На основе такой модели рассмотрен алгоритм обхода препятствий, описанных множеством выпуклых многоугольников. Введены габариты роботов, ограничения на их минимальную и максимальную скорости, максимальное ускорение и скорость поворота. Описание препятствий множеством выпуклых многоугольников позволяет избежать столкновений и обеспечить движение вдоль границы. Исследуется возможность применения виртуальных объектов при выполнении типовых манёвров с контролем безопасного расстояния между агентами.



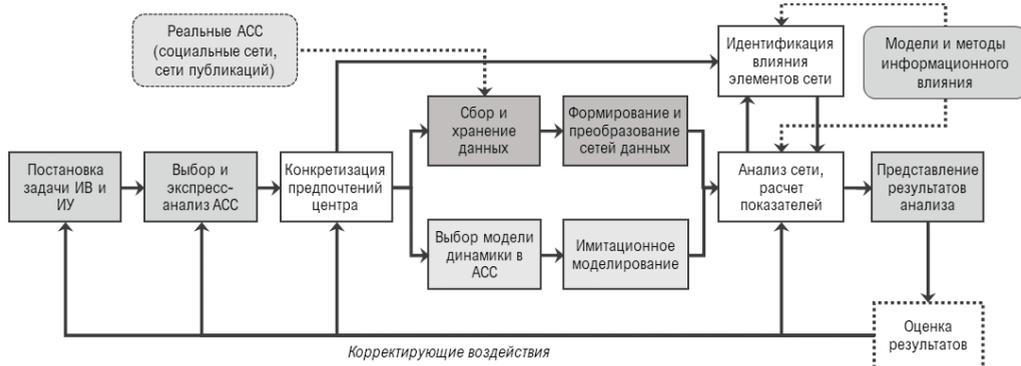
Движение стаи мобильных роботов с использованием виртуальных объектов при наличии ограничений на маневрирование

4. Исследование процессов в социальных сетях

4.1. Информационное влияние и управление в социальных сетях (Д.А. Губанов)

В 2000-х годах была начата работа по исследованию информационного влияния и управления в социальных сетях (Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили). Социальная сеть состоит из множества агентов, вступающих в отношения информационного обмена и совершающих действия на основе своих представлений (репутации, доверия и мнений). Представления агентов меняются под воздействием других участников сети и управляющих субъектов. Для различных ситуаций информационного влияния, управления и противоборства разработан комплекс моделей, в которых вводится внутренняя структура агентов, моделируются социально-психологические эффекты (консенсус, сохранение разногласий, поляризация и т.д.), предлагаются способы воздействий на состояние сети и наблюдаемые в ней эффекты. Предложен акциональный подход к формализации элементов социальных сетей.

Полученные результаты применяются на практике. С конца 2000-х годов исследуются информационные процессы в онлайн-социальных сетях *LiveJournal*, *Facebook*, *Reddit* и «*ВКонтакте*» (Д.А. Губанов, Н.И. Базенков, И.В. Козицин и др.) и ведется разработка методов и информационных технологий анализа социальных сетей, в том числе методов выявления активных групп и сообществ, расчёта влиятельности пользователей, оценки уязвимости пользователей к информационным воздействиям, выявления инициаторов обсуждений и каналов распространения в сети. Начаты работы по выявлению мнений индивидов в онлайн-социальных сетях и идентификации механизмов их динамики (на основе методов глубокого машинного обучения).



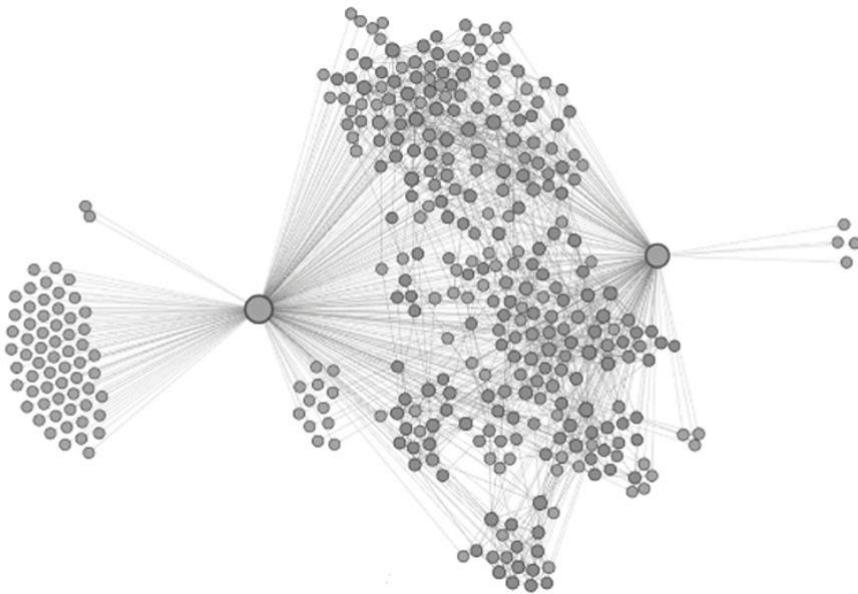
Методика анализа информационных процессов в активных сетевых структурах на основе акционального подхода

4.2. Распространение активности в сетях ММО-агентов (Л.Ю. Жиликова, П.А. Нечаева)

Л.Ю. Жиликова предложила новую модель распространения нескольких видов активности в сетях из гетерогенных агентов, способных воспринимать и генериро-

вать несколько видов информации (ММО-агентов). Агенты – это пороговые элементы, характеризующиеся, помимо величины порога, стохастическим вектором, описывающим его восприимчивость к сигналам разного вида, а также глубиной и силой памяти. Сеть из ММО-агентов – это взвешенный граф, в котором веса характеризуют силу влияния агентов. При расчёте воздействия своего окружения агент учитывает как веса дуг, так и тип активности различных соседей.

Исследованы малые сети с двумя видами активности. Доказаны теоремы, формулирующие критерии того, что сеть агентов является ансамблем того или иного вида (Л.Ю. Жиликова). Для больших сетей написана имитационная модель (П.А. Нечаева). С её помощью начаты исследования распространения активности в сетях с большим количеством вершин и различной топологией.



Сеть на основе связей в социальной сети «ВКонтакте»

ЛАБОРАТОРИЯ № 16

НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ 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, профессор Лев Борисович Рапопорт, который руководил лабораторией в течение 20 лет. С 2023 г. лабораторией руководит доктор технических наук, профессор Виктор Анатольевич Уткин.



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

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., проф. Л.Б. Рапопорт, д.ф.-м.н., проф. В.Н. Тхай.

В настоящее время в лаборатории работают: д.т.н. В.А. Уткин, к.ф.-м.н. И.Н. Барабанов, Б.А. Барулин, М.Д. Горбачев, д.ф.-м.н., проф. О.В. Дружинина, к.ф.-м.н. В.А. Каменецкий, к.ф.-м.н. Ю.В. Морозов, д.ф.-м.н. А.В. Пестерев, д.ф.-м.н., проф. В.Н. Тхай.



**Заведующий лаб. № 16
Виктор Анатольевич
Уткин**

Основные научные направления

- общие методы анализа и синтеза нелинейных систем управления;
- методы синтеза стабилизирующих управлений для систем управления с ограниченными ресурсами;
- управление механическими системами;
- теория колебаний и устойчивость движения нелинейных динамических систем;
- методы спутниковой навигации и управление мобильными роботами;
- оптимизация работы группы мобильных роботов в поле.

Основные научные результаты



**Лев Борисович
Рапопорт**

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.

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.

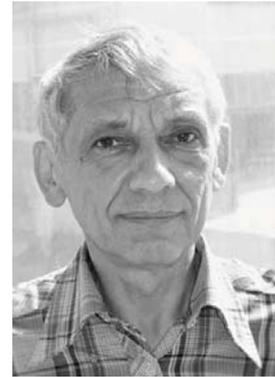
Разработан метод анализа устойчивости нелинейных систем с неполной информацией, описываемых дифференциальными разностными включениями. Развит вариационный метод анализа таких систем, введены новые классы функций Ляпунова, что позволило получить новые критерии устойчивости.

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.

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.



**Владимир Иванович
Матюхин**



**Валентин
Николаевич Тхай**



**Иван Николаевич
Барабанов**

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 векторе состояния.

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 совместной работы группы колёсных роботов

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.

В последние годы в лаборатории ведутся работы по исследованию устойчивости систем с переключениями, возникающих при замыкании обратными связями специального вида в форме вложенных сатураторов. Выбирая соответствующим образом коэффициенты таких обратных связей, можно обеспечить выполнение заданных характеристик переходного процесса (таких, как ограничение на максимальную скорость приближения к состоянию равновесия и/или заданная асимптотическая скорость убывания отклонения, а также обеспечить выполнение некоторых фазовых ограничений). Установлено, что потеря глобальной устойчивости в таких системах может быть связана с возникновением так называемых скрытых аттракторов.



**Александр Витальевич
Пестерев**

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 проводится в формате конференции и носит имя Е.С. Пятницкого. Председателем Оргкомитета является В.Н. Тхай.

Круг научных проблем, обсуждаемых на конференции, 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 в электронной библиотеке IEEEExplore.

ЛАБОРАТОРИЯ № 17

ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



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

Лаборатория была образована в 1959 г., вобрав в себя часть сотрудников лаб. № 3 профессора М.А. Гаврилова. Руководителем лаборатории назначили Владимира Александровича 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 лаборатории № 17 последовательно развивалась в следующих направлениях:

- Бесконтактные системы телемеханики (1953–1965).
- Автоматизированные системы массового обслуживания, система и сеть «Сирена» (1965–1998).
- Фундаментальные проблемы применения речевых технологий в информационных системах, управлении, аналитике (1998–2018).
- 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 и человеческий фактор в управлении.
- Сети с мобильной структурой. Управляемые сетевые модели с учётом надёжности и производительности.
- 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 контактными 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 автоматики, 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:



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

- 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.

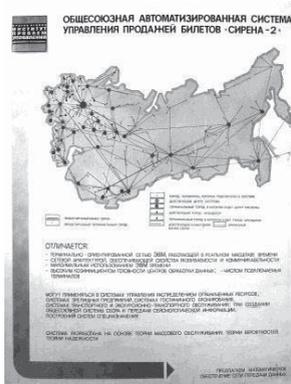
В 1972 г. был введён в промышленную эксплуатацию московский узел системы «Сирена», а в течение нескольких последующих лет «Сирена» была распространена на всю территорию СССР и существенно улучшила работу «Аэрофлота». Для внедрения системы «Сирена» в Институте на базе лаб. № 17 был образован отдел внедрения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

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.

<p>Сурдсервер</p> <p>Цель проекта — сделать общение с глухими и слабослышащими людьми доступнее.</p> <p>— интеграция с соц. сетями, — мобильные сервисы, — коммерциализация проекта.</p>	<p>Звуковой тренажер</p> <p>Предназначен для обучения правильному произношению звуков русского языка.</p> <p>— разработка речевого тренажера с онлайн доступом.</p>
<p>Расчет физической тренированности</p> <p>— интеграция с геолокационными сервисами, — интерактивная система мониторинга состояния здоровья — управление процессом тренировки.</p>	<p>СИРЕНА</p> <p>Это «Система Резервирования На Авиалиниях».</p> <p>— мобильные сервисы — речевой интерфейс для доступа к информации и услугам систем резервирования.</p>

Прикладные разработки лаборатории № 17

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;
- применений методов анализа и синтеза сетей на основе новых телекоммуникационных и информационных технологий;
- многоуровневой системы статических и динамических моделей сетей;
- программной реализации самосогласованной модели сетевых систем;
- методов и программных средств для определения психологического состояния операторов автоматизированных систем массового обслуживания с целью проверки их профессиональной надёжности;
- искусственного нейронного кортекса и его применений 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.



**Автандил Николаевич
Анушвили**

Фоновый принцип обработки сигналов и человеческий фактор в управлении

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 Анушвили.

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.

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, посвященные 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 и роли человеческого фактора в управлении. Целью этих исследований является создание интеллектуальных систем восприятия информации на основе обобщения фонового принципа. Дело в том, что понятия объекта и фона являются условными. На практике в качестве фона и объекта могут выступать различные сущности. Например, если в качестве фона в радиолокации рассматривается подстилающая поверхность, над которой движется объект, и в качестве объекта изучения выбран мозг, то одно его полушарие может стать фоном для другого.

На основе фонового принципа возможно создание суперчувствительных систем обнаружения и распознавания, так как стоячие волны интенсивности исключительно чувствительны к любым изменениям, которые приводят к нарушению когерентности. Электромагнитные волновые процессы происходят и в живых средах. Поэтому на основе обобщения фонового принципа возможно построение интеллектуальных систем для изучения живых существ, в частности человека. На аналогичных рассуждениях могут быть основаны и радар нового поколения, предназначенный для обнаружения малозаметных подвижных целей, и аппаратно-программный комплекс для определения психологического типа человека посредством анализа когерентности колебательных процессов, происходящих в двух полушариях его головного мозга. В данном случае подвижным объектом становится источник излучения, локализованный внутри полушария головного мозга, а фоном для него служит источник излучения, локализованный в другом полушарии, на котором привязывается система координат приемника. При этом схема системы психодиагностики практически не отличается от схемы радиолокатора. Эти соображения легли в основу изобретений, практически реализованных в России, Германии, США, Китае и других странах.

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 определённых объектов и работе с ними, управление манипулятором.

Разработан уникальный необитаемый подводный аппарат «Водяной» для проведения научных исследований в области компьютерного зрения, машинного обучения и управления мобильными роботами «под водой», а также групповой подводной робототехники. С помощью данного аппарата можно производить обзорные работы (с видеофиксацией), сбор информации о рельефе дна, наличии предметов и препятствий, осмотр судов на наличие объектов, прикреплённых снаружи к борту, манипулирование посредством схвата, патрулирование периметра по заданной траектории и множество других задач.

Сотрудники лаб. № 17 представляли Институт на конкурсе «Восточный бриз 2020» посвящённом морской робототехнике с аппаратом «Водяной-1» в классе телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов типа А – сверхлёгких аппаратов до 30 кг. «Водяной-1» представляет собой 6-винтовой подводный аппарат. Расположение движителей и разработанная сотрудниками лаборатории математическая модель управления движением аппарата позволяют выполнять всенаправленное движение с удержанием заданных углов крена и дифферента. Соревнования состояли из четырёх заданий: осмотр подводных кабельных линий (трубопровода), осмотр боносетевых заграждений, поиск затонувших объектов и выполнение подводно-технических работ на затопленном объекте. Команда лаб. № 17 заняла первое место.



Необитаемый подводный аппарат «Водяной»

В лаборатории осуществляется проектирование автономного необитаемого подводного аппарата-амфибии (АНПА-амфибия).

Создаваемый в рамках проекта макет будущего изделия относится к области подводной робототехники, в частности, к автономным необитаемым подводным аппаратам-амфибиям.

Научная и техническая новизна проекта заключается в использовании специфических роторно-винтовых (шнековых) движителей, обеспечивающих перемещение аппарата как под водой, так и по водной поверхности и по суше.

Возможность работы аппарата в трёх средах является инновационным результатом предлагаемого проекта АНПА-амфибии. Переход в разные среды обеспечивается использованием шнековых движителей, создающих необходимые тяговые усилия в разных условиях: на снегу, на песке, на болотистом грунте, в воде и под водой.

Согласно патентам авторов настоящего проекта, АНПА представляет собой торпедоподобный корпус с установленными по обеим сторонам симметрично

относительно продольной оси вращающимися навстречу друг другу шнековыми двигателями.

Сокращение габаритно-весовых показателей, повышение надежности и расширение функциональных возможностей аппарата обеспечивается инновационными решениями с применением внутренних беспроводных сетей.

Под управлением бортового процессора ввода-вывода разработки ИПУ РАН осуществляется движение аппарата в соответствии с загруженной миссией, с привязкой к встроенной внешней и подводной навигационным системам. Процесс погружения/всплытия обеспечивается горизонтальными рулями и балластной цистерной.

К числу тактических задач, которые могут выполнять АНПА-амфибии, относятся:

- проведение поисковых, обследовательских и прочих операций в условиях мелководья (включая прибойную зону), где действие любых других сил и средств либо невозможны, либо затруднены, либо связаны с недопустимо высоким уровнем риска;
- аквамониторинг;
- картографирование береговой линии, рельефа дна, прокладки фарватера;
- разведовательно-диверсионные операции.



Автономный необитаемый подводный аппарат-амфибия

Создаваемые на базе шнеко-роторных двигателей АНПА-амфибии в комплектации с исследовательской аппаратурой смогут решать широкий круг задач в интересах народного хозяйства и ВПК.

Многочисленные испытания аппарата подтвердили правильность выбранных технических решений.

Над проектом под руководством А.И. Иванова работают Ю.О. Дружинин, А.В. Корытко, В.А. Кротов, Н.А. Лазутина, И.У. Сахабетдинов и В.В. Соколов.

Лаборатория выполнила 6 проектов по грантам РФФИ, принимала участие в нескольких грантах РНФ, в 15 международных и отечественных научных и отраслевых выставках; её работы неоднократно награждались дипломами и медалями. К настоящему времени сотрудниками лаб. №17 опубликовано около 900 работ, в том числе 34 монографии. За последние 10 лет сотрудниками лаборатории опубликовано более 650 научных работ. В лаборатории более 12 лет действует молодёжная научная школа «Моделирование неоднородных систем и сетей обслуживания и управления», её участники ежегодно публикуют более 20 научных статей.

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 годов 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 реализации 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 годов 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.

С середины 70-х годов 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



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

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 системы, 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 гг.).

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.

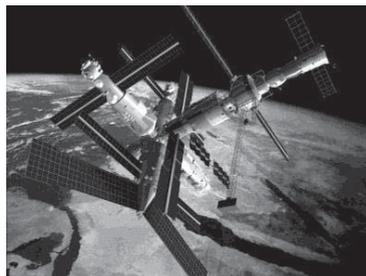
Разработка систем автоматизированного проектирования является достаточно сложной задачей, отнимает массу времени и требует участия большого количества высококвалифицированных разработчиков. Стоимость программной реализации для некоторых САПР составляет 20–50 тыс. долл. США за одно рабочее место, а затраты 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 годов 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.

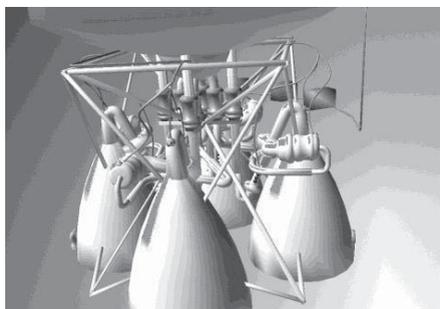
Комплекс «ГРАФИКА-81» использовался для разработки объёмных геометрических моделей всех модулей орбитальной станции «МИР», кине-



3D-модель станции «МИР»

матических 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 гг. – 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.



Модель двигателя Proton GS

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 руководит лаб. № 18 с 2013 г., развивается направление воксельного графического моделирования, проводятся работы в области построения воксельных геометрических моделей, описанных с применением аппарата R-функций. На основе выполненных в этом направлении исследований 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

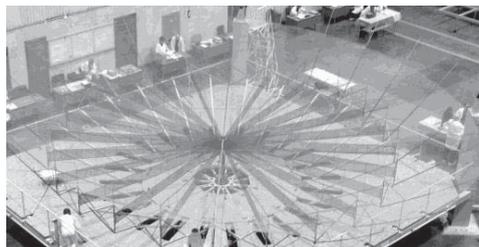
В развитие принципов построения и создания интерактивных систем внесли вклад многие сотрудники лаб. № 18.

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.

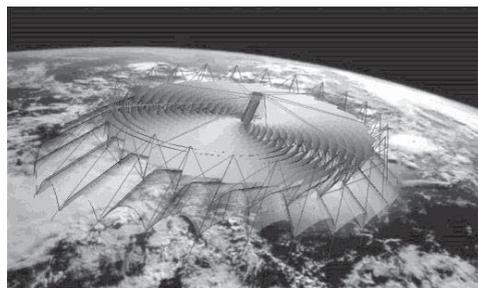
Л.Н. Сизовой разработан интерактивный программный комплекс, предназначенный



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



Сборка физической модели БКР



Моделирование процесса раскрытия БКР

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 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.

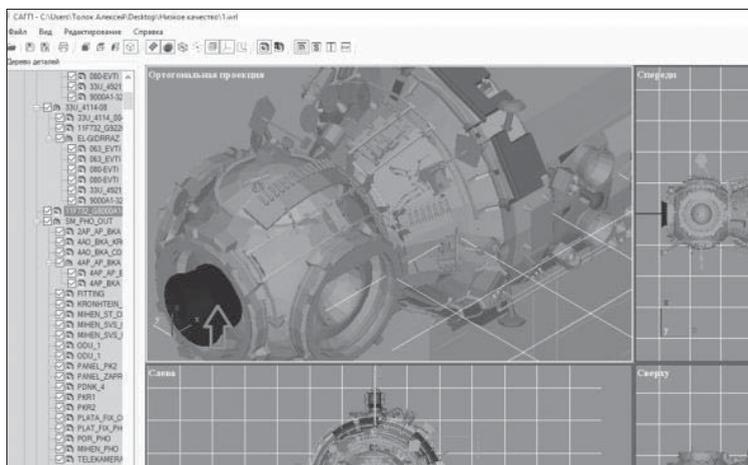
В рамках проекта РФФИ также совместно с лаб. № 14 разработаны алгоритмы, математическое и программное обеспечение для управления продвижением

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. под авторством А.В. Толока 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 прострства плоских контуров, описывающих габариты препятствия. Характерно, что предложенный подход и алгоритмы легко переносимы на задачи в многомерном пространстве.

В 2017 г. под руководством проф. А.В. Толока защищена кандидатская диссертация на тему «Разработка компьютерно-графических средств моделирования воксельного геометрического пространства» Евгением Андреевичем Лоторевичем, возглавившим впоследствии одну из конструкторских лабораторий в структуре РОСКОСМОСа.



Интерфейс системы САПР

С 2017 по 2019 гг. 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) проводил 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.

Одним из новых научных направлений в лаб. № 18 являются квантовые технологии. Ведущим научным сотрудником к.т.н. П.А. Правильщиковым разрабатывается механизм квантового параллелизма для будущих квантовых компьютеров.

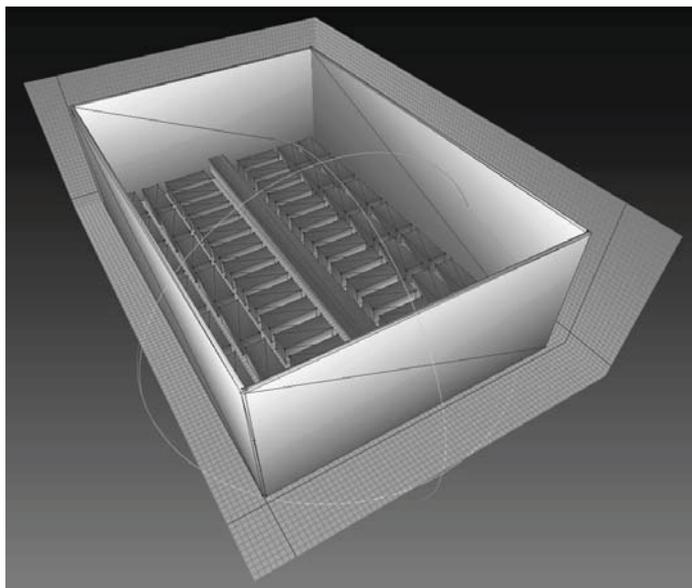
Старший научный сотрудник, к.т.н. С.В. Смирнов являлся организатором ежегодных международных конференций «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM — 2000–2018)».

В период с 2022 по 2023 гг. в процессе исследований воксельных технологий, разрабатываемых в лаб. № 18, защищено 2 кандидатских и 1 докторская диссертации. В кандидатских диссертациях рассматриваются принципы моделирования физических характеристик для функционально-воксельных моделей (А.М. Плаксин, С.А. Пушкарёв). Докторская диссертация выполнена сотрудником лаборатории Владиславом Александровичем Чеканиным и посвящена развитию методов решения задач плотной упаковки объектов произвольной формы и различной размерности.

19-21 сентября 2023 г. на базе ИПУ РАН лаб. № 18 организована и проведена 33-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон2023». Это крупнейшая в России и странах СНГ международная конференция по компьютерной графике, обработке изображений и машинному зрению, системам визуализации и виртуального окружения.

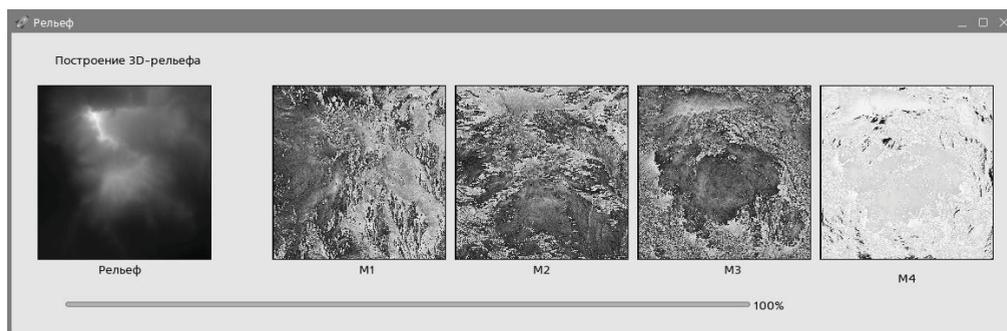
Это мероприятие проводится ежегодно в различных регионах России и ближнего зарубежья начиная с 1991 г. В нём принимают участие видные в этой области учёные, инженеры-практики, студенты и аспиранты. В 2023 г. в конференции приняли участие более 200 человек. Было представлено 92 очных и 23 дистанционных доклада.

С 2022 г. коллектив сотрудников лаб. № 18 в группе ведущих российских научных организаций (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФАУ «ГосНИИАС», ИПУ РАН) принимает участие в научной программе проекта № 9 «Искусственный интеллект и большие данные в технических, промышленных, природных и социальных системах» АНО «Национальный центр физики и математики», заказанной ГК «Росатом». Ведётся работа над созданием программной среды геометрического моделирования для предиктивного моделирования и поддержки принятия решений в технических, промышленных, природных и социальных системах на основе технологий искусственного интеллекта.



Реализация задачи расстановки оборудования в AMS3D

Параллельно сотрудниками лаборатории осуществляется опытно-конструкторская работа над системой «Аналитическая модель 3D-пространства AMS3D», моделирующей интеллектуальную геометрическую среду для отработки сложных имитационных сценариев в экстремальных условиях.



Функционально-воксельная модель рельефа местности в системе AMS3D

За весь период существования лаборатории её сотрудниками опубликовано более 650 научных статей, издано 13 монографий и зарегистрировано 10 патентов и свидетельств на изобретение и программную реализацию.

ЛАБОРАТОРИЯ № 20 СЦЕНАРНОГО 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 до 2019 гг. лабораторию возглавлял заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Владимир Васильевич Кульба. С 2019 г. лабораторией руководит кандидат технических наук Игорь Викторович Чернов.

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 разра-



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



Владимир Васильевич Кульба

ботки 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 эффективности 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 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 различные методы, и в том числе: 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 позволило ускорить процесс разработки и отладки программного и информационного обеспечения



**Заведующий лаб. № 20
Игорь Викторович Чернов**

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 широко использовалась при разработке и внедрении АИУС, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) и в сфере образования. При этом время разработки достаточно простых типовых функциональных подсистем составляло 1–3 дня.

Результаты исследований 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, 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 социальные группы и 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.

Исследован широкий круг задач резервирования программных модулей и информационных массивов в АИУС как системного метода повышения сохранности данных. Выделены основные стратегии резервирования и получены результаты анализа их эффективности по различным критериям. Разработаны методы расчёта основных вероятностных, временных и стоимостных характеристик рассмотренных стратегий. Выполнен 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 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 разработаны средства репланирования сельскохозяйственного производства в условиях ЧС с использованием аэрокосмической информации.

На базе полученных результатов в лаборатории создано и успешно развивается 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.

В настоящее время разработаны модели и методы выбора оптимального сценария из заданного множества альтернативных сценариев. Поставленная проблема

сведена к задаче выбора оптимального сценария по векторному критерию оптимизации с учётом пространственных характеристик и свойств формируемых сценариев. Разработан и развивается программно-аналитический комплекс сценарного анализа и прогноза (ПАК «Полус»), 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 сложных многоаспектных ситуаций, отраслевых и региональных социально-экономических систем.

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

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

Лаборатория организует всероссийские 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 75 конференций, в том числе 31 международная конференция по проблемам управления безопасностью сложных систем.

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 1500 научных трудов, из них свыше 160 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»); «Управление развитием региона. Моделирование возможностей» (URSS); «Сценарное исследование проблем обеспечения общественной безопасности в условиях цифровизации» (Проспект); «Оптимизация структур данных цифровых информационных фондов систем управления интеллектуальной собственностью» (ФИПС); «Сценарный анализ в управлении геополитическим информационным противоборством» (Наука).

В лаборатории подготовлено более 115 кандидатов и докторов наук. В нынешнем составе лаб. № 20 – 20 сотрудников, среди них 6 докторов наук и 5 кандидатов наук.

ЛАБОРАТОРИЯ № 25

ТЕОРИИ ВЫБОРА И АНАЛИЗА РЕШЕНИЙ

им. М.А. Айзермана



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

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. Работы 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 можно было назвать «могучей тройкой АБР». Их классические результаты в области теории обучения машин вошли в учебники по распознаванию образов по всему миру. Ещё студентами МФТИ в Лаборатории оказались А.А. Дорофеюк, Н.В. Завалишин, А.И. Литвинцев, А.В. Малишевский, В.И. Чернов, А.Л. Чернявский. Здесь происходило 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. Чеботарёва, образовав лабораторию математических методов анализа многоагентных 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. Наши 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.

За 62 года 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.



Фуад Тагиевич Алескеров

Лаб. № 25 в течение десятилетий проводила 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 с этого года по 2024 г. трудилась 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 влились лаб. № 55 (под руководством д.т.н., проф. А.А. Дорофеюка) и лаб. № 44 (под руководством д.т.н. А.С. Манделя).

В первой половине 2024 г. новым заведующим лабораторией стал доктор технических наук Дмитрий Алексеевич Губанов. Научным коллективом успешно разрабатываются модели и методы информационного управления в активных сетевых структурах (в частности, в социальных, научных и экономических сетях). В таких структурах агенты формируют свои представления под воздействием других участников сети и принимают решения на основе своих представлений.

В настоящее время в лаборатории работают 15 человек, из них 4 доктора и 8 кандидатов наук. Сегодня сотрудники лаборатории читают лекции и делают доклады в ведущих научных учреждениях мира. Среди них: Гарвардский университет, МТИ, Калифорнийский технологический институт, Кембриджский универ-



**Заведующий лаб. № 25
Дмитрий Алексеевич
Губанов**

ситет, 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 Тромсё (Норвегия) и др.

На базе лаборатории много лет работала молодёжная научная школа «Модели индивидуального, коллективного и многокритериального выбора», члены которой участвовали в разработке многих из перечисленных ниже направлений исследований.

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

Основные направления исследований:

1. Построение и анализ новых теоретических моделей принятия решений. Разработка дескриптивного и аксиоматического подходов к агрегированию предпочтений и к формированию коллективных решений. Исследование формальных структур, используемых, в частности, при выборе и анализе решений.
2. Создание на основе разработанных моделей прикладных методов анализа и принятия решений, в частности, анализа больших данных, современных экономических механизмов и моделей принятия решений в различных корпорациях, в том числе банковских системах.
3. Разработка математических моделей и методов информационного влияния и управления в активных сетевых структурах, в которых учитывается структура принятия решений агентами (включая их представления и предпочтения).
4. Разработка математических методов децентрализованного управления активными сетевыми структурами различной природы, в которых рассматривается проблема согласования со временем характеристик агентов сети с учётом задержек при передаче информации.
5. Разработка гибридных моделей и прикладных методов анализа активных сетевых структур на основе технологий искусственного интеллекта, в том числе методов идентификации предпочтений агентов, а также методов анализа влияния агентов друг на друга в реальных сетях.
6. 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.
7. 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.

8. Разработка моделей оценки влияния в финансовых сетевых структурах, таких, как рынок международных заимствований, с учётом интенсивности взаимодействий агентов.
9. Разработка моделей анализа миграционных процессов.
10. Разработка многомерных индексов для анализа поляризации в политических органах.
11. Построение суперпозиционных моделей прогнозирования возникновения торнадо.
12. Анализ индивидуальной и коалиционной манипулируемости известных схем агрегирования предпочтений.
13. Теория экспертно-статистических систем управления и идентификации. Экспертно-статистические и экспертно-классификационные методы поддержки принятия решений.
14. Методы управления производством и запасами в условиях неопределённости. Методы прогнозирования в условиях неполноты исходных и текущих данных.
15. Методы интеллектуального анализа сложноорганизованных данных, в том числе распознавания образов, структурно-классификационные методы анализа, моделирования и идентификации широкого класса систем управления.
16. Методы структурного прогнозирования в крупномасштабных системах управления.
17. Методы поддержки принятия решений в слабо формализованных системах управления, в том числе теории экспертизы и экспертных оценок, консалтинга.
18. Теория и методы управления в междисциплинарных моделях организационных, социально-экономических и медико-биологических систем.
19. Модель специализации в биологических системах.
20. 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 (муниципальных округов, районов, городов и регионов) инструментарием 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 территориальных образований. Система определяет проблемные ситуации («узкие места») в обеспечении качества жизни населения и позволяет сформировать «дерево» целей управления.

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. Применяется для: прогнозирования ухода клиентов; выработки адресных маркетинговых мер для клиентов на различных этапах жизненного цикла; программы увеличения лояльности; кредитной политики для клиентов; персонализации предложений; анализа торговой политики в зависимости от продаваемых товаров.

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 учётом локального рынка, на котором они работают; определения относительной эффективности и значимости клиентов для банка.

Внедрение, реализация: Крупные коммерческие банки России, 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. Построены обобщения метода оболочечного анализа данных (DEA) для неточно заданных данных. Метод использовался в задачах:

- оценки эффективности противопожарных мероприятий в регионах России,
- оценки эффективности карантинных мер при эпидемических заболеваниях (Covid-19).

5. Прогнозирование процесса разлива нефти на поверхности моря

Разработаны модели влияния разливов нефти на фауну Арктики. Модели могут использоваться для создания системы раннего оповещения об экологических катастрофах в Арктике.

Внедрение, реализация: моделирование разливов нефти в Баренцевом море.

6. Модели решения проблем в Арктическом регионе

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

7. Определение ключевых игроков на рынке продовольственной безопасности

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

8. Использование новых классов индексов для описания центральности в сетях

Разработанные новые индексы центральности в сетях нашли многочисленные применения в задачах библиометрии, анализа миграционных потоков, анализа террористических сетей, в задачах продовольственной безопасности и анализа денежных трансферов между странами. Предложенные индексы могут использоваться в широком круге проблем, связанных с взаимодействием стран, организаций, групп, и т.д.

В области анализа библиометрии они использовались для:

- анализа влиятельности экономических журналов;
- выявление перспективных тематик исследования на основе анализа библиометрических показателей публикаций в области исследований болезни Паркинсона;
- анализа значимости публикаций по бизнесу и менеджменту;

Особую значимость такие работы имеют в настоящее время в условиях санкционных ограничений.

9. Новый метод анализа больших данных

Метод основан на суперпозиции функций выбора и защищён патентами РФ и США. Метод многократно применялся для анализа больших данных в различных прикладных задачах, как, например, для предсказания торнадо и предсказания поведения клиентов в торговых сетях.

10. Новые модели апоптоза

Разработаны модели апоптоза (программируемой гибели клеток), с учётом изменения параметров системы, таких как уровень питательных ресурсов, начальное количество клеток в колонии, доля мертвых клеток, которая может быть поглощена здоровыми. Проведено исследование внешнего и внутреннего пути апоптоза и поведения модели при внешних воздействиях.

11. Новые модели поляризации

Предложен ряд моделей размещения мигрантов по населённым пунктам, позволяющих не увеличить существенно поляризацию в обществе.

12. Методы анализа нелинейных процессов по эмпирическим данным

Разработаны модели на базе нелинейных отображений (разностных уравнений) и методы определения их параметров. Модели позволяют анализировать как независимые, так и взаимосвязанные нелинейные процессы, развивающиеся в условиях ограничений. Модели использовались для:

- оценки влияния кризиса 2008–2009 гг. на динамику выручки крупных и средних российских компаний;

- анализа динамики индексов промышленного производства, обрабатывающих и добывающих отраслей России.

Предложена структура нелинейных моделей и их преобразования в линейные модели регрессионного анализа с возможностью интерпретации полученных коэффициентов в категориях нелинейной динамики. Проанализированы структурные изменения совокупности крупных и средних российских компаний.

13. 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 последиplomного образования, Кафедра неврологии Центра экстрапирамидных заболеваний МЗ РФ, Москва; Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского (ГУ МОНИКИ), отделение неврологии; Республиканский клиничко-диагностический центр экстрапирамидной патологии и ботулинотерапии (РКД ЦЭПиБТ, Казань). Получен патент.

14. 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.

ЛАБОРАТОРИЯ № 27

НАДЁЖНОСТИ, ДИАГНОСТИКИ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ

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, впоследствии 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 одноконтурного 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.



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

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 годов 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.



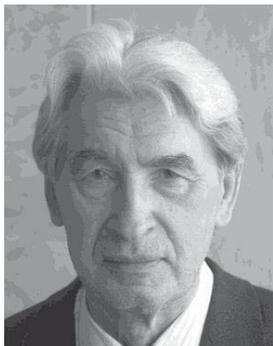
**Михаил Фёдорович
Каравай**

С середины 70-х годов 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.

С 1995 по 2023 гг. лабораторию возглавлял поначалу к.т.н., а впоследствии доктор технических наук и почётный деятель науки и техники РФ 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. Игнатушенко 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 2016 г. в состав лаборатории были включены сотрудники бывшей лаб. № 5, которая была создана в 1972 г. доктором технических наук Борисом Григорьевичем Воликом. Пришли ещё 5 специалистов по надёжности



**Борис Григорьевич
Волик**

высочайшего класса. Это были д.т.н. В.С. Викторова, которая руководила лаб. № 5 с 2013 по 2016 г., к.т.н. Н.В. Лубков, к.т.н. А.В. Антонов, к.т.н. Г.Л. Поляк и с.н.с. А.С. Степанянц. В том же 2016 г. в состав лаб. № 27 вошла часть сотрудников бывшей лаб. № 13 «Функциональной безопасности»: её заведующий, теперь г.н.с., д.т.н. Е.В. Юркевич и н.с. Л.Н. Крюкова.



**Валентина Сергеевна
Викторова**

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 получены следующие результаты:

- 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. Удалось понять, 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 даёт возможность 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). Проводились исследования по разработке новых подходов к организации надёжных (достоверных) числовых вычислений. Предполагалось, что в основе следует заложить 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 были направлены 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 об 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 систем, в том числе неоднородных управляющих и вычислительных систем. Для блок-схем имеется 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. Он был назван «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.



Геннадий Георгиевич
Стецюра

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 методологиям 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, выполняемых 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.

С 2006 г. под руководством А.М. Михайлова начаты и продолжаются до настоящего времени исследования по новой для лаборатории тематике, относящейся к классу задач искусственного интеллекта.



**Алексей Михайлович
Михайлов**

А.М. Михайлов ввёл понятие «обратных» множеств. Эти задачи включают исследования модели нейронного кортекса, которые предназначены для моделирования задач распознавания, связанных с обработкой очень больших объёмов информации.

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

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.

В последнее пятилетие, с 2019 по 2023 гг., в лаборатории продолжились работы по развитию теории локальных вычислительных и управляющих сетей на базе квазиполных графов. Основные усилия были направлены на разработку такой архитектуры локальной сети, при которой в ней достигаются оптимальные характеристики по:

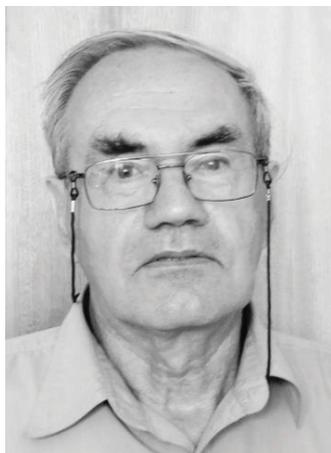
- 1) производительности, т.е. параллельной пересылке информационных пакетов от всех передатчиков ко всем приёмникам (*один к одному*);
- 2) отсутствию конфликтов при параллельной передаче любой (из $N!$) перестановок пакетов по сети;
- 3) самомаршрутизации пакетов в сети, независимой от выбора маршрутов остальными абонентами сети;
- 4) достижению оптимальной процедуры отказоустойчивости: сохранению полной работоспособности вплоть до полного исчерпания резерва в сети, и при дальнейших отказах – постепенной деградации производительности вплоть до последнего оставшегося абонента сети.

Несколько сложнее обстоит дело с масштабированием. Оно возможно в рамках каждого класса архитектуры квазиполного графа сети, пока число абонентов сети не превышает максимального размера данного класса сети. При

превышении следует переходить на архитектуру следующего (большого) класса квазиполного графа, в соответствии с рядом: 7, 13, 21, 31, 57, 73 и т.д. (имеется в виду число вершин графа).

Исследования, проведённые группой сотрудников лаборатории М.Ф. Караваем, В.С. Подлазовым и А.М. Михайловым, позволили включить в новые результаты гетерогенные (неоднородные) сети, на которых в значительной степени базируется современная космонавтика, авионика, робототехника и др. информационные сферы. В практическом плане здесь предложены новые архитектуры локальных управляющих сетей, обладающих значительными преимуществами по сравнению с современными мультиплексными сетями информационного обмена. Более того, эти сети по своим функциональным и структурным характеристикам превосходят интерконнект, используемый в суперкомпьютерах. В частности, рассмотрены возможности повышения числа абонентов и канальной отказоустойчивости отечественной системной сети «Ангара» разработки НИЦЭВТ. Подобных сетей нигде в мире ещё нет.

Были продолжены работы по повышению характеристик известных сетей на основе свойств коммутаторов с топологией квазиполных графов. Исследования в этом направлении (совместно с с.н.с. лаб. № 31 В.В. Соколовым) показали, что, взяв за коммутационную основу базовый локальный коммутатор в архитектуре квазиполного *орграфа*, удастся получить более простые решения для гетерогенных управляющих сетей и с лучшей масштабируемостью, чем в случае квазиполного графа. Правда, появляется недостаток при информационном обмене, связанный с необходимостью ответа на входящий пакет не по входящему каналу.



**Виктор Сергеевич
Подлазов**

Построены неблокируемые коммутаторы со структурой трёхмерных гиперкубов и мультиколец с прямыми каналами (без промежуточной буферизации пакетов) (В.С. Подлазов). В них неблокируемость пакетов обеспечивается посредством их динамической самомаршрутизации. При динамической самомаршрутизации в каждом узле происходит коммутации пакетов на выходные каналы локально на основе информации о маршрутах пакетов в их заголовках и возникающих конфликтах на этих маршрутах. Начаты работы по построению оптических сетей связи на основе распределенных фотонных коммутаторов, в которых коммутация осуществляется на основе только оптических сигналов (без внешних электрических сигналов). Теоретически были построены структуры

неблокируемых распределенных фотонных коммутаторов на основе оригинального дуального фотонного коммутатора. В последнем конфликты пакетов разрешаются на уровне их разрядов посредством разведения их как во времени, так и по разным каналам. Разведение во времени осуществляется с использованием отнотактных линий задержки и сопровождается увеличением

длительности разрядов до p тактов, где p задает число портов фотонного коммутатора.

В лаборатории получил дальнейшее развитие комплекс работ по искусственному интеллекту в задачах классификации и распознавания образов (А.М. Михайлов, М.Ф. Каравай). В отличие от нейронных сетей, решающих тот же круг задач, А.М. Михайловым предложен индексный метод классификации, позволяющий практически в реальном времени выполнять и алгоритмы обучения, и классификацию образов. На этой основе, ставшей продолжением классических задач технической диагностики, доминировавших в лаборатории в течение нескольких десятилетий, получены многочисленные результаты в самых разнообразных областях науки – от прогнозирования отказов авиационных двигателей до онкологических диагнозов по полному профилю экспрессии генов (около 20530 генов). Публикации по этой тематике у нас в стране и за рубежом не остались незамеченными. Американский учёный Скотт Криг (*Scott Krig*), ознакомившись с английским переводом в журнале «Автоматика и телемеханика» (*Automation and Remote Control*) за 2022 г., а также с публикациями на различных конференциях за последние 5 лет, попросил разрешения включить наши результаты в главу 12 второго издания фундаментального труда *ComputerVisionMetrics* издательства *SpringerNature* (2023 г.) и обещал подарить эту книгу нашему Институту.

Г.Г. Стецурой получены новые результаты при исследовании стационарных и мобильных систем управления взаимодействием распределённых активных объектов, работающих в режиме жесткого реального времени (ЖРВ). Рассматриваемые объекты используют широкий спектр средств управления, от суперкомпьютеров до простых контроллеров. Распределённые системы управления должны очень быстро реагировать на непредсказуемые события и в ответ выполнять управление, перестраивая при необходимости структуру системы. Такие действия требуется выполнять всё быстрее из-за повышения требований к качеству управления при высоких скоростях движения объектов или при переводе объектов в новое состояние без их перемещения. Разработана быстрая децентрализованная синхронизация объектов – средство получения быстрой обратной связи для ответа действующим на систему событиям. Неоднородные системы содержат управляемые объекты и группы ретрансляторов их сигналов. Системы отвечают самым высоким на текущий момент требованиям к точности синхронизации совместных действий объектов и скорости перестройки системы. Использование известных способов измерения времени переноса сигнала между объектом и ретранслятором обеспечивает ошибку начала синхронизации всеми объектами меньше пикосекунды. С такой точностью группа объектов начинает общие действия по команде других объектов, в частности одновременно воздействуя на внешний объект. В однородных системах ошибка в начале синхронизации не меньше T – времени переноса сигнала в пределах системы, но время измерять не требуется и система упрощается. При этом часть совместных действий объектов замедляется, но для многих видов простых объектов задержка приемлема. В обоих видах систем сетевые средства помимо переноса сообщений выполняют распределённые операции управления системой.

Д.т.н. Л.Ю. Филимонок, который в конце 2023 г. был назначен заведующим лабораторией, выполнен системный анализ проблемы обеспечения безопасности



**Зав. лаб. № 27
Леонид Юрьевич
Филимонок**

функционирования авиационных транспортных систем (АТС). В результате осуществлена постановка задачи обеспечения безопасности АТС в условиях критических сочетаний событий, а также разработаны модели и методы её решения. Сформулированы основные положения причинно-следственного описания критических сочетаний событий в АТС. Предложены подход к формализации и классификация процессов функционирования АТС. Выделены признаки критических сочетаний событий и их классы, использование которых позволяет облегчить анализ аварийных ситуаций в процессе функционирования АТС, а также определить возможность возникновения маловероятных аварий и критических сочетаний событий. Разработаны математические модели, позволяющие определить вероятности возникновения критических сочетаний событий в процессе функционирования АТС с помощью решения систем

дифференциальных уравнений для различных классов критических сочетаний событий, что позволяет обеспечить безопасность АТС.

Разработан комплекс математических моделей, позволяющих осуществлять прогнозирование значений показателей авиационной безопасности. С помощью прогнозирования можно выявить тенденции изменения значений показателей авиационной безопасности и использовать их при принятии управленческих решений.

Результаты исследований были использованы при создании и модернизации Модели надежности и безопасности, разрабатываемой в конструкторском бюро им. С.В. Ильюшина (ОАО «Ил») и были применены в рамках хозяйственных работ с АО «Конструкторское бюро промышленной автоматики» и ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» по теме «Создание программно-математического обеспечения экспериментальной системы автоматического управления летающей лабораторией», а также Самарским государственным аэрокосмическим университетом им. С.П. Королева по теме «Разработка математических моделей для повышения эффективности функционирования координатно-измерительных машин за счет оценки степени влияния основных факторов на производительность и точность измерений».

По теме исследований были опубликованы более 100 научных трудов, в том числе в ведущих международных и отечественных изданиях: *Automation and Remote Control*, *IFAC PapersOnLine*, «Мехатроника, автоматизация, управление», «Контроль. Диагностика» и др.

Группа Е.В. Юркевича (Е.В. Юркевич,



**Евгений Владимирович
Юркевич**

Л.Н. Крюкова, А.А. Тутуров) ведёт работы по созданию теории функциональной надёжности эргатических систем. На примере разработки механизмов оценки рисков выполнения миссии космического аппарата рассматриваются задачи выявления особенностей применения технологий гибридного интеллекта, то есть механизмов принятия операторами экспертных решений на основе информации из базы знаний, сформированной с помощью технологий искусственного интеллекта. С использованием предситуационного прогноза работы космических комплексов описаны алгоритмы обеспечения живучести бортовой аппаратуры космического аппарата при длительном сроке его активного существования в условиях воздействия внешних факторов. Разработаны модели социо-кибер-физических систем, предложена оценка культуры коммуникаций как критерий функциональной надёжности управления в организационных системах, а также механизмы управления формированием знаний, определяющие возникновение синергетического эффекта при использовании технологий гибридного интеллекта.

С помощью анализа статистики результатов экспериментов показано, что структурные схемы надёжности, содержащие непоследовательные соединения элементов бортовой аппаратуры, характеризуются распределениями, несоответствующими экспоненциальному закону, хотя такой закон адекватно отражает оценку времени до отказа для дискретного элемента или системы из последовательно подключенных элементов. Отличием данного подхода от классического является то, что вычисляемая функция рассматривалась не как одна экспонента, а как их композиция. Такое представление позволило более точно описывать системы, содержащие резервирование.

На современном этапе цифровизации управления предлагаемый подход позволил давать рекомендации по совершенствованию средств снижения рисков выполнения миссии космического аппарата. Группа ежегодно обсуждает получаемые результаты на Всероссийских мультikonференциях по проблемам управления, Международных конференциях по управлению в крупномасштабных системах, на Конгрессе молодых ученых, Гагаринских чтениях и др. По этим результатам опубликованы статьи в отечественных изданиях, а также в издательской базе *Springer, Journal of Physics* и *Advances in Systems Science and Applications*. Как профессор МГТУ ГА Е.В. Юркевич разработал учебные пособия по методам оптимизации (в трёх частях), а А.А. Тутуров ведёт в нашем Институте мастер-класс по структуризации навыков в профориентации для школьников и студентов.

В области классических работ по надёжности систем Н.В. Лубковым выполнены исследования надёжностных моделей территориально-распределённых комплексов (ТРК). В качестве конкретных приложений были выбраны инженерные инфраструктуры (ИНИ), имеющие большое значение как для социальной сферы, так и для промышленности. Территориальная распределённость объектов ИНИ не позволяет в полной мере обеспечить их защиту от внешних



**Николай Васильевич
Лубков**

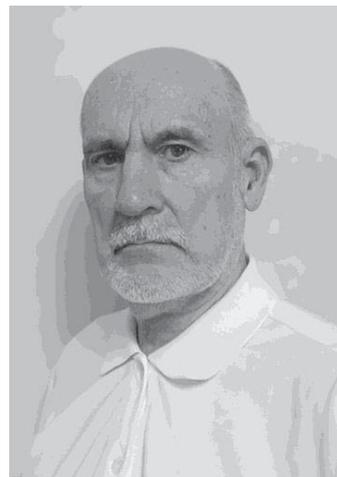
неблагоприятных воздействий, интенсивность которых, как правило, выходит за рамки нормативных требований к условиям эксплуатации. На базе методологии надёжностного анализа технических систем предложенный подход к анализу работоспособности и устойчивости функционирования ИНИ расширяет его в части учёта внешних неблагоприятных воздействий. Для описания последствий неблагоприятного воздействия составлена модель типа «нагрузка – прочность». Анализ последствий воздействий проводится по следующей схеме: воздействие – зона воздействия с распределением его интенсивностей – объекты в зоне воздействия, уязвимые в отношении к данному воздействию – набор отказавших объектов (при учёте их уязвимости) – оценка последствий отказов объектов как функций их положения в сетевой структуре ИНИ. Чрезвычайно важен анализ работоспособности системы при наличии кратных отказов. Предложен новый подход к оценке критичности кратных отказов на основе разложения структурной функции работоспособности системы по совокупности аргументов. Наиболее критичные наборы образуют минимальные сечения сетевой структуры ИНИ. Для поиска минимальных сечений разработан алгоритм вероятностного моделирования, в котором для построения вероятностных распределений используются «локальные» характеристики объектов – узлов сетевой структуры – центральность узлов, характеристики безотказности, уязвимости объектов и др.



**Александр Владимирович
Антонов**

Под руководством А.В. Антонова выполнен ещё один комплекс исследований по разработке и развитию методов анализа живучести сложных технических систем. Этот комплекс включает разработку и модификацию моделей, методов и алгоритмов управления движением подвижных объектов при выполнении ими основной работы по результатам натурных испытаний при неполной информации (с использованием косвенных измерений), а также разработку моделей поражающих факторов и процессов неблагоприятных воздействий (НВ) на компоненты подвижного объекта с соответствующим выполнением программного обеспечения для моделирования поведения подвижных объектов. Предложены принципы построения системы хранения данных (СХД) для хранения и использования результатов испытаний различных объектов, ставшие базой разработки структуры СХД, а также программного обеспечения для решения задач администрирования СХД, заполнения СХД и выборки данных из СХД для Научно-испытательного центра ракетно-космической промышленности. Согласно этим принципам построена программная реализация системы «Регистрации и архивации состояний, ремонтов и замен технологического оборудования и оборудования систем управления технологическим оборудованием на блоках АС» в составе СВБУ для энергоблоков АС «Кудамкулам». Для СВБУ энергоблоков атомных станций «Бушер» и «Кудамкулам» построены модели работоспособности сложных технических подсистем и систем из них, а также выбор видов показателей их надёжности. Практическая реализация работы осуществлялась для ЦКБ МТ «Рубин», Научно-испытательного центра ракетно-космической промышленности и для АС «Бушер» и «Кудамкулам».

Сложная математическая проблема оценки алгоритмической сложности NP -трудных задач отнесена международным математическим сообществом к числу наиболее важных и фундаментальных теоретических проблем. Она давно заинтересовала нашего сотрудника С.И. Уварова, которым получен ряд интересных результатов. Исходной базой исследований послужил тезис о возможной форме представления произвольной булевой функции в виде 3-КНФ формулы. Эмпирическим путем получена оценка алгоритмической сложности доказательства невыполнимости случайных 3-КНФ формул. Полученная оценка имеет экспоненциальный характер и выражается в виде двойки в степени $N/(8,4 * R - 17,8)$, где N – число логических переменных, а R – отношение числа дизъюнктов к числу переменных. Была разработана методика статистической эмпирической оценки 3-КНФ формул при большом числе переменных, не допускающих проведение полномасштабных вычислительных экспериментов. Экспоненциальный характер оценки алгоритмической сложности задачи выполнимости КНФ формул эмпирически подтвержден вплоть до 16000 логических переменных. Затем была получена аналитическая характеристика области полиномиальной разрешимости случайных 3-КНФ формул. Показано, что достаточным условием полиномиальной разрешимости случайных 3-КНФ формул является наличие в формуле не менее, чем $0,061 * N^2$ дизъюнктов. И, наконец, для текущих научных и вычислительных экспериментов разработан генератор псевдослучайных 3-КНФ формул, алгоритмическая сложность анализа которых на два десятичных порядка превышает сложность анализа случайных формул, генерируемых по стандартной методике. Эти исследования ещё не завершены.



**Сергей Иванович
Уваров**

Продолжение исследований по стандартизации систем автоматизации технологических процессов определило участие Института в Национальных проектах. Регулярное обсуждение новых результатов на общемосковском 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. лаборатория выполняла важную работу по диагностированию технического состояния систем базового ЦУП в г. Королёве, которая была включена в Государственную 4-х летнюю Программу модернизации базового ЦУП (М.Ф. Каравай, В.Ф. Халчев, Н.В. Лубков, А.В. Антонов).

ЛАБОРАТОРИЯ № 31

РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ, АНАЛИТИЧЕСКИХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ им. И.В. Прангишвили



**Основатель и первый зав. лаб. № 31
Ивери Варламович Прангишвили**

Главной особенностью лаборатории № 31, основанной Ивери Варламовичем Прангишвили, является выполнение фундаментальных и прикладных исследований, которые начинаются с выдвижения научных идей, преобразуются в технологии и внедряются в промышленность с получением большого экономического эффекта.

Ивери Варламович Прангишвили руководил лабораторией с 1964 г. по февраль 2006 г. С середины 2006 г. заведующим лабораторией № 31 стал доктор технических наук Алексей Григорьевич Полетыкин, работавший в ней с 1983 г.

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 (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, 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 (д.т.н. И.И. Паишев).

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

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

Одновременно (д.т.н. В.В. Игнатущенко) 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 годов. Их доработка и дальнейший выпуск были прекращены в связи с происшедшими в стране изменениями.

В середине 90-х годов атомная промышленность России начала стремительный 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



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

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 – М.А. Зуенков, Н.Э. Менгазетдинов и А.Г. Полетыкин).



**Михаил Анатольевич
Зуенков**

М.А. Зуенковым был разработан математический аппарат, позволяющий создавать программные системы, основанные на логике нечётких множеств, язык программирования АБИС. Им был предложен 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.

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



Блочный пульт управления АЭС с разработанной в Институте СВБУ

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.

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.

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



**Виталий
Георгиевич
Промыслов**

– 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 объёме 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).

– 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 сетевых управлений для целостного решения всего разнообразия сильно связанных задач цифровой экономики. (Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко).

– 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).



**Юрий Семёнович
Затуливетер**



**Елена Филипповна
Жарко**

– Гибкий моделирующий комплекс для энергоблоков АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 (ГМК). ГМК содержит программные модули разной степени детализации, отражающие технологическую специфику оборудования и автоматизации конкретных энергоблоков действующих или проектируемых АЭС. ГМК может применяться для цифровых двойников энергоблоков, тренажеров различного назначения, систем информационной поддержки, а также для отработки отдельных алгоритмов информационных задач СВБУ АСУ ТП АЭС (например, расчет технико-экономических показателей энергоблока). (Е.Ф. Жарко).

– Методология верификации, валидации и оценки качества программного обеспечения для систем объектов критической инфраструктуры. (Е.Ф. Жарко).

Основные монографии, выпущенные в период 2020–2023 гг.:

– А.Г. Полетыкин, Н.Э. Менгазетдинов, Е.Ф. Жарко, В.Г. Промыслов, М.Е. Бывайков, В.Н. Степанов, А.А. Байбулатов, К.В. Семенов, К.В. Акафьев. *Человеко-машинный интерфейс интеграционной платформы для АСУ ТП - Системы Оператор*. М.: ИПУ РАН, 2023. – 127 с.

– В.Г. Промыслов, Н.Н. Акимов, Е.А. Абдулова, П.А. Голубев, Е.Ф. Жарко, В.В. Жмайлов, И.Ю. Лепехин, О.И. Лобанок, А.Ю. Исхаков, Р.В. Мецераков, А.Г. Полетыкин, А.М. Мусухин, В.В. Пронин, К.В. Семенов, Д.В. Цыренов. *Оценка*

риска и обеспечение кибербезопасности атомных электростанций. М.: ИПУ РАН, 2022. – 193 с.

– М.Е. Бывайков, А.Г. Полетыкин, В.Н. Степанов, И.У. Сахабетдинов. *Программный интерфейс между верхним и нижним уровнями автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) атомной электростанции (АЭС). опт. диск (CD-ROM). М.: ИПУ РАН, 2021. – 113 с.*

– Е.Ф. Жарко, В.Г. Промыслов, А.Ю. Исхаков, Р.В. Мещеряков, К.В. Семенов, Е.А. Абдулова, А.А. Байбулатов, С.Ю. Исхаков. *Кибербезопасность беспилотных транспортных средств. Архитектура. Методы проектирования. М.: Радиотехника, 2021. – 160 с.*

Лаборатория участвует в выполнении большого числа хозяйственных договоров (в частности, выполняет договоры 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 участвует в международном сотрудничестве с организациями Франции, Индии, Ирана.

ЛАБОРАТОРИЯ № 33

КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ

Лаборатория №33 была создана в целях проведения фундаментальных и прикладных работ по управлению развитием крупномасштабных систем. Современная тематика лаборатории, сформированная под руководством доктора технических наук д.т.н. О.И. Дранко, связана с разработкой научно-методических основ создания цифровой платформы долгосрочного стратегического управления и формирования системы индикативного планирования. О.И. Дранко является инициатором и организатором целого ряда новых аналитических и цифровых инструментов. Среди них особое место занимает цифровая обработка больших данных организаций России, сопровождение мониторинга развития производственной структуры России на основе данных Росстата и ФНС, исследование перспективных принципов управления быстрорастущими компаниями, цифрового моделирования снижения углеродного следа.



Зав. лаб. № 33
Олег Иванович Дранко

Основателем и многолетним руководителем лаборатории был доктор технических наук, профессор А.Д. Цвиркун (в настоящее время работает в лаборатории в должности г.н.с.).



Анатолий Данилович
Цвиркун

На момент создания в 1980 г. основным направлением научной деятельности лаборатории была разработка фундаментальных основ решения проблем синтеза и управления развитием крупномасштабных систем, базирующегося на широком применении методов математического моделирования и программных средств вычислительной техники. Одним из важнейших результатов, полученных А.Д. Цвиркуном в то время по этой тематике, стал агрегативно-декомпозиционный подход к построению комплексов взаимосвязанных моделей оптимизации. Он был применен к прогнозированию рисков, управлению инвестиционными процессами, анализу бюджетной политики, прогнозированию доходности ценных бумаг, к поддержке принятия стратегических решений и др.

Распоряжением Правительства от 26 октября 2022 г. авторскому коллективу, в который входил

А.Д. Цвиркун, была присуждена Премия Правительства Российской Федерации за 2022 г. в области науки и техники за разработку комплекса моделей управления стратегическим развитием транспортной инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики в условиях изменения климата.

С 2018 г. сотрудником лаборатории стал заслуженный деятель науки России, доктор технических наук, член-корреспондент РАН А.Ф. Резчиков. Им создана научная школа по анализу динамических развивающихся причинно-следственных связей. По этой тематике Александр Фёдорович стал консультантом 9 докторских и 20 кандидатских диссертаций. К числу признанных в России и за рубежом наиболее значительных результатов, полученных в этой области, относятся модели динамики критических событий, управление процессом ликвидации последствий наводнений, прогнозирование распространения пожаров и эвакуации людей, анализ последствий выбросов химически опасных веществ в атмосферу и многие другие.



**Александр Фёдорович
Резчиков**

Большой вклад в теорию управления развитием крупномасштабных систем вносит д.т.н. В.К. Акинфиев. Им выполнены глубокие исследования по моделированию топливно-энергетических отраслей и комплексов, рынка нефти, производственно-транспортных систем и инвестиционных процессов.

Среди сотрудников лаборатории выдающуюся роль в разработке теории управления крупномасштабными системами играет д.э.н., профессор В.Г. Варнавский. Он осуществляет научно-исследовательскую и экспертно-аналитическую деятельность в области управления глобальной экономикой. В сферу его интересов входит количественная оценка экономической безопасности, международная торговля, посткризисное развитие, государственно-частное партнерство и многие другие.

Лаборатория №33 является организатором ежегодной международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (*Management of Large-Scale System Development, MLS D*). По результатам работы конференции выпускается сборник трудов конференции на русском языке (с индексацией в РИНЦ), а также сборник статей на английском языке для опубликования в электронной библиотеке *IEEE Xplore* с индексацией в *Scopus*. Лучшие работы размещаются в журналах «Автоматика и телемеханика», «Проблемы управления», *ASSA* и др.



**Баннер конференции
«Управление развитием крупномасштабных систем» 2023 г. в Интернете**

Необходимо отметить, публикационную активность сотрудников лаборатории: ими опубликовано более 1000 работ, в том числе 23 монографии.

ЛАБОРАТОРИЯ № 37

СИСТЕМ С РАЗРЫВНЫМИ УПРАВЛЕНИЯМИ

Лаборатория (с её нынешним названием) создана в 2017 г. в результате реорганизации инициативной группы под неформальным руководством доктора технических наук, профессора Виктора Анатольевича Уткина. Научные интересы этой группы лежат в области фундаментальной, классической теории управления в технических системах, а задачи, решаемые 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 д.т.н. Антон Викторович Уткин (заведующий лабораторией), доктора наук Светлана Анатольевна Краснова, Сергей Александрович Кочетков 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.



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

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.



**Виктор Анатольевич
Уткин**



**Светлана Анатольевна
Краснова**



**Сергей Александрович
Кочетков**

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 в известных диапазонах 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.
- 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 упростила структуру регулятора. Каждая система управления разрабатывалась с учётом особенностей кон-

кретного объекта управления. В то же время можно говорить о создании единой методологии и принципиально новых, универсальных и эффективных подходов к синтезу систем управления широким 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.
- 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 декомпозиции 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 измере-

нию 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 и 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 две молодёжные научные школы:

1. «Информационное обеспечение систем слежения, функционирующих в условиях неопределённости». Руководитель МНШ д.т.н., проф., г.н.с. лаб. № 37 Светлана Анатольевна Краснова.
2. «Синтез робастных систем управления, функционирующих в условиях сигнальной и параметрической неопределённости». Руководитель МНШ д.т.н., г.н.с. лаб. № 16 Виктор Анатольевич Уткин.

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 400 статей и 6 монографий.

ЛАБОРАТОРИЯ № 38

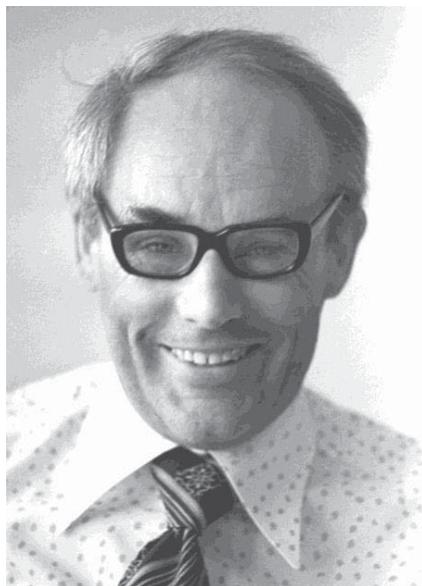
УПРАВЛЕНИЯ ПО НЕПОЛНЫМ ДАННЫМ

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 Научно-исследовательским институтом клинической и экспериментальной хирургии по созданию искусственного сердца (с руководителем отдела, будущим академиком РАН В.И. Шумаковым).

В последующие годы лаборатория пополнилась ещё несколькими 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. 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. Затем в 2019 г. в её состав также вошли сотрудники лаборатории А.В. Добровидова. Долгие годы (с 1993 по 2017 гг) лабораторией №38 руководил д.т.н. Евгений Петрович Маслов (ушёл из жизни в 2019 г.). В настоящее время заведующим лаб. № 38 является член-корреспондент РАН Андрей Алексеевич Галаев.



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

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

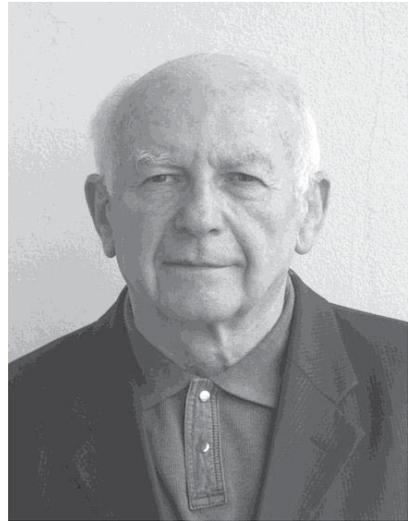
Традиционно лаборатория занималась задачами управления подвижными объектами. В 60-70-е годы проводились исследования, связанные с оптимальным управлением наблюдениями в задачах наведения снарядов на маневрирующие цели (А.М. Петровский, Н.А. Кузнецов, Е.П. Маслов, Е.Я. Рубинович – ныне д.т.н., проф.,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



Евгений Петрович Маслов



**Заведующий лаб. № 38
Андрей Алексеевич Галяев**

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. А.А. Галяевым была разработана методика описания и анализа проблемы повышения скрытности морских подводных объектов (МПО) в содержательных терминах, описаны критерии оптимизации с учётом свойств среды и алгоритмов обработки информации, классифицированы различные типы наблюдателей, сформулированы задачи оптимизации; решены задачи повышения скрытности и оптимального управления движением МПО при фазовых ограничениях и разных предположениях о зависимости

демаскирующих факторов от параметров движения защищаемого объекта; а также разработаны алгоритмы построения оптимальной траектории при уклонении от произвольных систем разнородных наблюдателей. Целью этого управления является уклонение от обнаружения группой стационарных и манёвренных поисковых средств разнородного типа, ведущих наблюдение по набору физических полей.

Теоретические результаты были использованы при решении задач управления подвижными объектами морской и ракетной техники.

С середины 2010-х годов лаборатория значительно пополняется выпускниками МФТИ и МГУ. Одним из выпускников МФТИ стал П.В. Лысенко, который совместно с другими сотрудниками лаборатории предложил решение задач управления подвижным объектом в условиях различных ограничений на движение объекта, например, при наличии у объекта неоднородной индикатрисы излучения, что позволило рассматривать модели объектов, более приближенные к реальным. П.В. Лысенко (совместно с А.А. Галяевым и В.П. Яхно) в 2022 г. была присуждена премия РАН им. Б.Н. Петрова за цикл работ «Траекторное управление скрытностью подвижных объектов с неоднородной индикатрисой излучения». Также П.В. Лысенко и Л.М. Берлиным были предложены новые критерии в задаче обнаружения полезного сигнала в сильно помеховой обстановке.

В рамках исследований, проводимых недавним выпускником физического факультета МГУ М.Э. Бузиковым, предложен новый алгоритм вычисления наименьшего времени перехвата движущейся цели. Область применения этого алгоритма ограничена классом задач оптимального управления с изменяющимися во времени терминальными условиями, для которых модель движения объекта управления достаточно проста (например, модель простых движений, модель Дубинса, модель изотропных ракет и др.). Главным преимуществом этого алгоритма является его доказанная сходимости для заданных начальных условий

для произвольной и наперед заданной липшицевой траектории цели. Также обоснована оптимальность по скорости сходимости этого алгоритма в своём классе. Предложенный алгоритм был реализован и протестирован для нескольких моделей движения объектов управления. В задачах с неполными данными применение указанного алгоритма дает возможность проверить прогноз на столкновение объекта управления, движущегося вдоль заданной опорной траектории, с некоторым препятствием, которое перемещается согласно известным динамическим ограничениям, но непредсказуемым способом.

В 2018 г. к лаборатории присоединяются А.С. и М.А. Самохины, которые закончили с отличием механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова и до прихода в Институт преподавали высшую математику и программирование, участвовали в проведении математических олимпиад школьников. Их основные научные интересы были сосредоточены в сфере решения сложных задач оптимального управления космическими аппаратом. При этом рассматривались задачи в довольно громоздких постановках с учётом притяжения нескольких тел на всей траектории и с управлением при ограниченных комбинированных большой и малой тягах. Для построения экстремалей Понтрягина решались многоточечные краевые задачи, требующие хорошего начального приближения, в связи с чем была разработана и успешно применялась методика построения «лестницы задач». Основную трудность представляла расположенная на передовом крае науки сквозная оптимизация всей миссии с единым критерием, которой большинство исследователей пытались избежать. По данной тематике Самохиными было опубликовано около 100 работ и сделано столько же докладов на конференциях и научных семинарах. Теперь данный подход стал популярен и часто встречается в трудах других авторов.

После прихода в Институт круг интересов Самохиных существенно расширился до управления подвижными объектами разной природы в различных, в том числе конфликтных средах. Были разработаны методы для противодействия уклонению подвижных объектов от обнаружения, для противодействия средствам самонаведения автономных аппаратов, предложена методика для решения задачи защиты региона от проникновения множества объектов, движущихся по заранее заданным траекториям, и доказана соответствующая теорема, на основе которой быстро строится оптимальное решение в случае аддитивного функционала. Во всех перечисленных задачах проводилось математическое моделирование, реализовывались соответствующие программные комплексы.

С 2019 г. А.С. и М.А. Самохины трижды успешно участвовали в престижных международных соревнованиях по глобальной оптимизации траекторий (GTOC), в рамках которых необходимо за месяц представить решение крайне трудной многоэкстремальной задачи оптимизации, удовлетворяющее всем ограничениям. В 2019 г. была разработана миссия к 968 звёздам, и они оказались единственными, кому удалось получить этот результат среди всех российских команд. В 2023 г. - снова единственный результат из России, естественно, самохинский: построена экспедиция по добыче 12 аппаратами вещества 74 астероидов. С учётом ограниченности времени и того, что во многих других командах работало по 10-20 участников, данные результаты можно назвать выдающимися.

Весомый вклад в развитие лаборатории внёс С.Н. Васильев, академик РАН, директор Института с 2006 по 2017 г. Основные научные интересы С.Н. Васильева лежат в области искусственного интеллекта и математической теории систем. Им разработаны методы представления и обработки знаний в проблематике интеллектуализации автоматических и антропоцентрических систем управления и в проблематике анализа переносимости свойств математических моделей при тех или иных преобразованиях, в том числе для сведения анализа исходной модели к анализу более простой. С.Н. Васильев создал средства автоматизации логического вывода в первопорядковых и некоторых других исчислениях, а также средства алгоритмизации синтеза текстов теорем о переносимости свойств связанных математических моделей. В основе разработанных методов представления и обработки знаний лежат типово-кванторные (формальные или частично-формализованные) языки, обладающие свойством так называемой подстановочности формул. Разработанные методы были применены: в задачах динамики систем и интеллектуализации систем управления с нелинейными и логико-динамическими моделями при возможном наличии неопределенностей и возмущений, в задачах динамики автоматных сетей и асинхронных переключаемых схем, в задачах управления многорежимными формациями (группировками) движущихся объектов, управления скрытностью и/или поиском объекта в конфликтной среде.

Второе направление, управление в сложных медико-биологических системах, возникло по инициативе А.М. Петровского еще 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 д.т.н. В.Н. Новосельцевым (ушёл из жизни в 2015 г.) и А.И. Михальским, которые в 2008 г. приняли участие в работе общественной организации «За увеличение продолжительности жизни» и подготовили раздел для общероссийской программы «Наука против старения». Сегодня под руководством доктора биологических наук, г.н.с. 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.



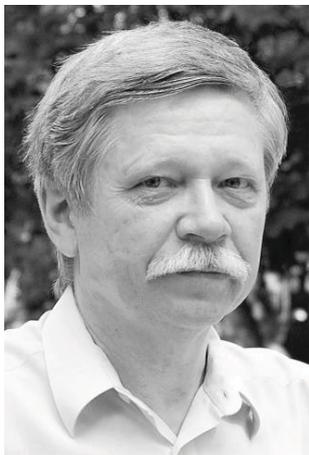
**Василий Николаевич
Новосельцев**

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.

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 ИАСА (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.



**Анатолий Иванович
Михальский**

В лаборатории разрабатываются методы анализа здоровья популяции, или, в более широком смысле, её состояния (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 эволюционно 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



**Владимир Наумович Вапник (слева)
и Алексей Яковлевич Червоненкис**

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 выделения групп риска.

Важная прикладная область работ, проводившихся под руководством А.Я. Червоненкиса (ушёл из жизни в 2014 г.) – 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 оконтуривания 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 Института – статистический анализ экстремальных величин (д.ф.-м.н. Н.М. Маркович). Эта область знаний интенсивно развивается с начала 1980-х годов в связи с многочисленными приложениями. Анализ данных, распределённых с тяжёлыми хвостами (распределения, хвосты которых убывают на бесконечности медленнее, чем экспонента, и у которых не все моменты существуют), требует развития новых методов, отличных от классических методов теории вероятностей и математической статистики. Наряду с фундаментальными работами, охватывающими такие проблемы, как экстремальные свойства сумм и максимумов нестационарных последовательностей случайной длины, предельные распределения модифицированных непараметрических статистик Крамера-фон Мизеса-Смирнова, Колмогорова-Смирнова, вычисляемых лишь по наибольшим порядковым статистикам выборки, проводятся работы, связанные с применением данных результатов в телекоммуникационных и социально-информационных системах. Под экстремальными свойствами, в частности, понимается получение хвостового и экстремального индексов, которые являются ключевыми характеристиками теории экстремальных величин, показывающими тяжесть хвоста распределения и зависимость максимумов, соответственно. С 2019 г. под руководством Н.М. Маркович разрабатывается новое направление, связанное с экстремальными свойствами эволюционирующих случайных сетей и моделирующих их случайных графов. Известно, что в реальных сетях, таких как Интернет, характеристики влияния узлов такие, как число входящих связей, Пейджранг и Модель линейного максимума, имеют тяжелые хвосты распределений, что выражается на практике в быстром появлении гигантских узлов с большим числом связей. Рассматриваются различные модели эволюции (динамики сети во времени), порождающие как тяжелые хвосты распределений, так и легкие. С эволюцией могут меняться экстремальные характеристики мер влияния узлов: хвостовой и экстремальный индексы. Ведется исследование сетей, в которых могут

убираться существующие узлы и связи, что является пока мало разработанным направлением. Данная тематика открывает простор для решения широкого спектра задач, таких как, в частности, увеличение скорости передачи информации в сети, снижение вероятности потери информации, выявление лидирующих сообществ по распространению информации.

В последние 10 лет к.ф.-м.н. Р.В. Ивановым получены новые теоретические результаты, описывающие стохастические условно-гауссовские модели. Данные результаты могут быть использованы в практических задачах с параметрами, распределение которых имеет больший вес экстремальных событий, чем нормальное распределение, в частности, для оценки финансовых рисков в рамках положений международной банковской конвенции Базель III.

Лаборатория ведет 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*». Также ведутся 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.

Еще несколько направлений деятельности лаборатории перешли по наследству от лаборатории № 21 (статистической обработки информации), присоединённой к лаб. № 38 в 2019 г.

История лаб. № 21 стартовала в 1985 г., когда она была создана и отделилась от лаб. № 13, которой в то время руководил д.т.н., проф. Н.И. Андреев. Тогда она являлась преемницей знаменитой в 60-80-е годы лаб. № 13, созданной и долгие годы руководимой будущим академиком Владимиром Семёновичем Пугачёвым. Первым заведующим лаб. № 21 стал к.т.н. Игорь Иванович Паишев, много лет работавший над задачами гидроакустического обнаружения в лаб. № 13. 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



**Александр Викторович
Добровидов**

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. Также 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. В 2004 г. заведующим лаб. № 21 был назначен д.ф.-м.н.

А.В. Добровидов. В отличие от классических методов решения статистических задач и создания математических моделей систем в группе под управлением А.В. Добровидова 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 самообучения. Примером одного из подходов к решению задач самообучения является созданная данной группой сотрудников 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 был предложен класс кусочно-гладких аппроксимаций оценок подстановки, позволивший получить сходящиеся в средне-квадратическом 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. Основываясь на работах Чена (*Chen*), в которых получены бета-ядерные оценки плотностей на ограниченных носителях, построены бета-ядерные оценки

производных плотностей. Доказаны свойства асимптотической сходимости. Найдены 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. Подобного рода исследования, правда, в параметрическом варианте, проводятся в *New York Stern School of Business* под руководством нобелевского лауреата Роберта Энгла. Основной целью исследования сотрудников лаборатории в данной области 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).

Еще одним направлением теоретических исследований в группе под руководством А.В. Добровидова 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 поиска решения системы нелинейных уравнений типа Риккати. Решена задача анализа такой системы, связанная с нахождением условий существования и единственности решений этой системы (М.Е. Шайкин). Результаты исследования опубликованы в журнале «Дифференциальные уравнения».

В ближайшей перспективе научные интересы группы будут сосредоточены на дальнейшем развитии теории стохастических систем управления 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, а для вычисления статистических характеристик сигналов – бескоординатные методы полилинейной алгебры и тензорного анализа.

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 853 работ, в том числе 19 монографий.

В числе сотрудников лаборатории: 1 академик РАН, 1 член-корреспондент РАН, 1 доктор биологических наук, 4 доктора технических наук, 3 доктора физико-математических наук, 2 кандидата биологических наук, 6 кандидатов технических наук, 4 кандидата физико-математических наук.

ЛАБОРАТОРИЯ № 40

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ



**Основатель и первый зав.
лаб. № 40
Фёдор Фёдорович Пащенко**

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 нынешнее название. В 2019 году её возглавил к.т.н. Александр Фёдорович Пащенко. В настоящее время в состав лаборатории входит 21 сотрудник, из которых 3 доктора наук и 6 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.

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 был 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 Пащенко (сегодня – д.т.н., профессор, почётный деятель науки и техники г. Москвы).

Перед лабораторией были поставлены задачи координации и научного



**Заведующий лаб. № 40
Александр Фёдорович
Пащенко**

- 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 и систем информационной поддержки оперативного персонала.
- Разработка систем функциональной диагностики в энергетике и других отраслях.
- Разработка систем мониторинга государственных и отраслевых программ.

Следуя этим направлениям, сотрудники лаборатории разработали 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



**Директор Института академик В.А. Трапезников
обсуждает с Ф.Ф. Пашенко ход работ по АСУ ТП АЭС (1987 г.)**

ТП АЭС, ряда АСУ и АСУ ТП в металлургической и химической промышленности, станкостроении, биотехнологии и других отраслях.

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 (д.т.н. Ф.Ф. Пашенко, к.т.н. Е.Е. Соколовский, к.т.н. Е.М. Сапрыкин, д.ф.-м.н. С.Д. Алгазин, к.т.н. К.С. Гинсберг, коллеги из Болгарии – к.т.н. Н. Колев, к.т.н. Р. Цветанов 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, и др.

Результаты этих исследований частично изложены в десятке совместных (с коллегами из МЭИ, ВНИИАЭС, ЛГТУ, ИАЭ им. И.В. Курчатова, ВТИ 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. На разработанные методы и устройства управления получено более 20 авторских свидетельств.

В 1990-е годы 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.

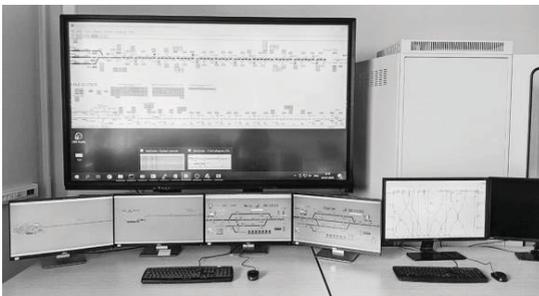
На основе метода функциональных преобразований разработаны состоятельные методы структурной, непараметрической и параметрической идентификации нелинейных стохастических систем, получены условия идентифицируемости и состоятельные уравнения идентификации. В настоящее время данный подход является единственным конструктивным методом, позволяющим ответить на вопрос, существует ли математическая модель идентифицируемого объекта на рассматриваемых классах входных и выходных сигналов.

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. Пащенко). 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. Пащенко, Е.М. Сапрыкин, С.А. Молчанов, В.А. Вороница, К.Р. Чернышёв, И.С. Дургарян, Е.Ф. Жарко, В.Н. Судариков и др.).



**Прототип АРМ диспетчера
участка железной дороги**

Сотрудники лаборатории создали ряд проектов по «умным» системам, участвовали в разработке элементов электронного правительства. Разработаны: интеллектуальная ветрогенерирующая установка (Ф.Ф. Пащенко, А.М. Шубладзе, В.В. Торшин, Л.Е. Круковский, А.Ф. Пащенко), генераторы энергии от механических колебаний транспортных систем, цифровое интеллектуальное месторождение совместно с ИПНГ РАН (Ф.Ф. Пащенко, С.В. Гуляев,

А.Ф. Пащенко, и др.). Совместно с МФТИ разрабатывали интеллектуальные технологии для мониторинга и оптимизации функционирования транспортных систем 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.). Проводятся активные работы по разработке методологии и систем мониторинга и управления безопасностью в отраслях повышенного риска, в том числе в авиационной, металлургической, энергетической.

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.



Концепт Операционного центра Министерства сельского хозяйства Вьетнама

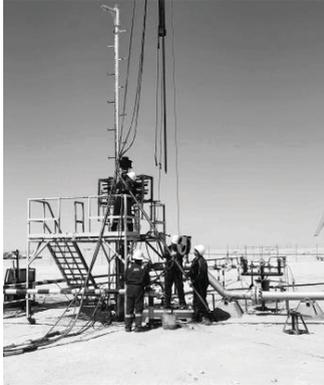
Разработан метод максимального быстрогодействия с прогнозирующей моделью (д.т.н. Г.А. Пикина, Ф.Ф. Пашенко). Предложен новый принцип управления по прогнозу в линейных автоматических системах с типовыми законами регулирования. Использование алгоритма прогнозирования в составе типовых регуляторов делает возможным настройку одноконтурных и двухконтурных систем только одним параметром – временем прогноза.

Разработан метод максимального быстрогодействия с прогнозирующей моделью (д.т.н. 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.

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, 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 и 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 современных 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 разра-

ботку когнитивных технологий моделирования социальных и экономических процессов (Ф.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян, А.Ф. Пашенко, к.с.н. С.В. Зернов).

Сотрудники лаборатории участвуют в разработке новых физико-механических методов извлечения углеводородов, в первую очередь – импульсных методов воздействия на нефтенасыщенные и газонасыщенные горные породы. Проведены масштабные экспериментальные работы по определению эффективности применения таких методов в различных геолого-физических условиях и перспектив их внедрения в добывающую отрасль (А.Ф. Пашенко). Ряд работ проводился с участием компаний – резидентов Фонда Сколково.



Месторождение South Ghawar (Саудовская Аравия)



Аппаратура импульсного воздействия после извлечения из скважины



Нефтяное месторождение Магуэ (Мьянма)

В рамках пятого и шестого направления сотрудниками лаборатории Ф.Ф. Пашенко, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян совместно с сотрудниками Липецкого ГТУ 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. Разработаны методы построения нечётких регуляторов и исследованы вопросы их устойчивости. Предложенные методы использовались для моделирования и управления на Липецком металлургическом комбинате (руководитель работ д.т.н. 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 (О.С. Амосов, С.Г. Амосова и др.).

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 могут конкурировать с оптимальным по времени алгоритмом максимального быстродействия. (Г.А. Пикина, Ф.Ф. Пашенко). Предложен новый универсальный беспоисковый метод параметрической оптимизации.

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», программу «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. (в рамках разработки Генерального плана г. Москвы, совместно с НИИПИ Генплана) и ряда других региональных и отраслевых программ (Ф.Ф. Пашенко, В.Б. Гусев, В.В. Павельев, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян, и др.)

Сотрудники лаборатории принимали активное участие в разработке и создании экотехнополисов в городах Троицк, Дубна, Арзамас-16 (ныне Саров), Магнитогорск, в разработке федеральных инновационных подпрограмм «Техноэкополис Комсомольск-Амурск-Солнечный» (этот проект был первым проектом Технополиса, утвержденным Указом Президента РФ и Постановлением Правительства РФ) и «Технополис Стрежевой», федеральных целевых программ «Дальний Восток и Забайкалье», «Сибирь».



**Авенир Аркадьевич
Боронов**

Результаты теоретических исследований использованы при создании систем информационной поддержки операторов на Запорожской и Смоленской АЭС 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, д.т.н. Н.С. Райбман, Ф.Ф. Пашенко и др., от ИАПУ ДВО РАН – акад. А.А. Воронов, д.т.н. В.В. Здор, Д.И. Бернацкий и др.); в машино- и станкостроении (совместно с ИМАШ РАН), для управления биотехническими объектами (Ф.Ф. Пашенко, д.т.н. В.А. Грабауров, А.Ф. Пашенко, к.т.н. Ю.И. Островский 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».

В 2014 г. в состав лаб. № 40 вошла лаб. № 50, которой ранее 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).

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).



**Александр Аронович
Фельдбаум
в лаборатории**

В 2017 г. в состав лаб. № 40 были включены лаборатории №№ 36 и 43. В соответствии с традициями системного подхода, заложенными в лаб. № 36 ещё д.т.н. А.А. Фельдбаумом, сотрудники лаборатории продолжали развивать классические разделы теории автоматического управления, позволяющие совершенствовать методы 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. Широко известна монография по-



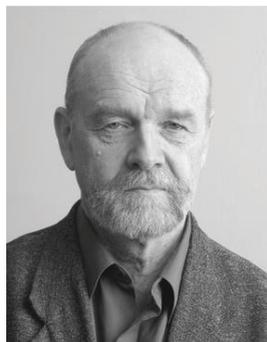
**Александр
Михайлович
Шубладзе**

следнего зав. лаб. № 36 д.т.н. 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.

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.ф.-м.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.».

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**

И.С. Дургарян).

По заказу Департамента науки и промышленной политики Москвы в рамках работ над концепцией 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, П.Х. Зайдфудим, В.Б. Гусев, В.В. Павельев, А.Ф. Пашенко, И.С. Дургарян).

Лаб. №№ 40, 43 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 ископае-



**Кемер Борисович
Норкин**

мых» (Ф.Ф. Пашенко, 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 были 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).

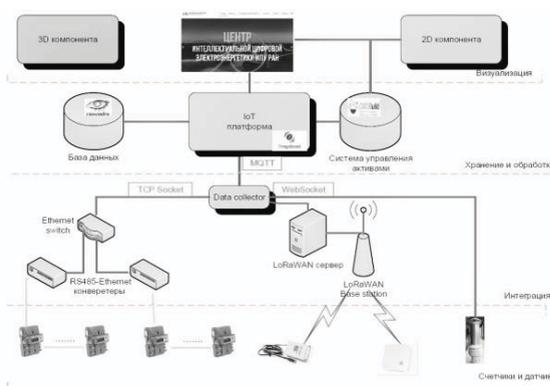
В рамках методологии анализа инновационного развития на макро- и микроуровнях рассмотрены модели и сформулирована концепция совершенствования управления инновационным развитием региона (В.Б. Гусев, Ф.Ф. Пашенко).

В лаб. № 40 действует молодёжная научная школа «Гибридные методы моделирования и управления сложными системами и их применение к объектам междисциплинарной природы». Участники школы – молодые сотрудники лаборатории, а также аспиранты и студенты ведущих университетов России. Более десяти участников школы стали кандидатами технических наук.

Лаборатория активно сотрудничает с Центром Интеллектуальной Цифровой Электроэнергетики ИПУ РАН (заведующий лаб. № 40 А.Ф. Пашенко одновременно является и руководителем Центра).

Основные направлениями деятельности Центра:

- цифровые технологии сбора и обработки информации (включая работу в экстремальных условиях, обеспечение безопасной передачи данных, устойчивость и достоверность сигналов от распределённой сети датчиков);
- интеллектуальный анализ собираемых данных (энергопотребление, распределение, тепловые сети, система микроклимата);
- разработка цифровых сервисов для активного потребителя (анализ предпочтений, мультиагентные и прогнозирующие модели, моделирование микроклимата).



**Структура исследовательского полигона
Центра интеллектуальной электроэнергетики**

При Центре интеллектуальной цифровой электроэнергетики совместно с лаб. № 40 и кафедрой Автоматизированных систем управления тепловыми процессами МЭИ действует регулярный общемосковский семинар «Интеллектуальные системы управления в энергетике».

Сотрудники лаборатории активно участвовали и участвуют в общественной и государственной деятельности – трое из них работали в ранге министров и зам. ми-

нистов: 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 60 монографий (некоторые из них выдержали уже по 3-5 переизданий), более 10 сборников статей, более 40 методических, учебных пособий и препринтов, опубликовано более 1000 научных работ, включая публикации в ведущих журналах «Доклады РАН», «Автоматика и телемеханика», *SIAM Journal on Control and Optimization*, *Mathematical Notes*, *Computer Science*, *SENSORS*, *Neural Computing and Applications*, *Expert Systems with Applications*, 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 (в числе соискателей – граждане Болгарии, Венгрии, Вьетнама и стран СНГ). В настоящее время бывшие аспиранты и сотрудники 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, научных фондов, профессорами и членами учёных и диссертационных советов ИПУ РАН, МГУ, МФТИ, МЭИ, РХТУ, РУНГ и других вузов, участвуют в работе программных и организационных комитетов многих ведущих международных конференций.

ЛАБОРАТОРИЯ № 41

ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

им. Н.С. Райбмана

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 внезапной смерти в самом начале 1981 г. лаборатория успела завоевать научный авторитет не только в институтском и союзном, но и в мировом масштабе.

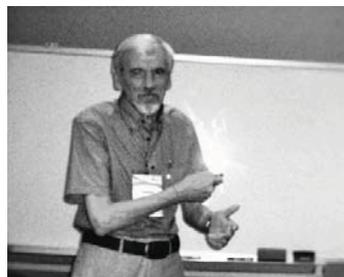
С самого начала научные разработки лаборатории имели выраженную инновационную направленность: сочетание теоретических результатов с инженерными разработками.

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 разработанная сотрудниками лаборатории адаптивная система управления с идентификатором (АСИ). В 1976 г. эта прикладная разработка для Первоуральского новотруб-

ного 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.

С апреля 1981 по 2006 гг. 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.



**Владимир Алексеевич
Лотоцкий**

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.

Сегодня, на фоне экспансии цифровых 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 производ-

ства. 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 формирование в реальном времени цифровых моделей динамических процессов на основе машинного обучения и интеллектуального анализа данных. Разработаны методы построения прогнозирующих ассоциативных моделей нелинейных нестационарных систем на основе вейвлет-анализа. Сформулированы критерии устойчивости динамических процессов на основе исследования спектра кратного-масштабного вейвлет-разложения и разработаны методы прогнозирования перехода к хаотической динамике. Предложены методы разработки ассоциативных виртуальных анализаторов технологических процессов на производстве и систем управления с прогнозирующими ассоциативными моделями. Разрабатываются методы сценарного прогнозирования в реальном времени состояний динамических процессов посредством ассоциативных правил. Разработаны методы нечёткого моделирования и нечёткой кластеризации.

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. Предложена концепция создания цифровых экосистем промышленных предприятий на основе цифровых идентификационных моделей реального времени.



**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 этап технологической подготовки производства.

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

ния сбыта производимой продукции с применением моделей и алгоритмов оптимального планирования инвестиционных проектов.

Под руководством к.т.н. С.А. Власова были разработаны 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.

Группа сотрудников под руководством д.т.н., проф. З.Г Салихова занимается разработкой и реализацией проектов по созданию высокоэффективных самоорганизующихся систем управления с идентификатором для сложных технологических комплексов металлургических предприятий.

Группа, которая стала частью коллектива лаборатории на основе бывшей лаб. № 35, продолжает исследования в области методов автоматизации производства.



**Эммануил Львович
Ицкович**



**Зуфар Гарифуллин
Салихов**

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 (впоследствии 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 в этом направлении 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 «Гатнефть».
- 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. 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 лабораторно-информационных систем (ЛИМС) технологических предприятий, повышающие информативность дискретных во времени лабораторных анализов качественных показателей материальных потоков производства и формирующие уточнённые оценки текущих значений этих показателей и прогнозы их нахождения в заданных технологическим диапазонах.

Группой сотрудников под руководством д.т.н. Е.А. Гребенюк разработаны алгоритмы анализа, прогнозирования, обнаружения и идентификации типов изменений нестационарных процессов:

- формирования долгосрочных многошаговых прогнозов в условиях нарушения стационарных режимов под воздействием внешней среды;
- мониторинга случайных сигналов с целью обнаружения разладок различных типов: изменений трендов, волатильности, нарушений взаимосвязей между сигналами;
- комбинированного мониторинга изменений на основе использования экспертной и цифровой информации;
- онлайн-фильтрации нестационарных сигналов, минимизирующие «краевые эффекты» и позволяющие выявлять изменения трендов с минимальной задержкой.



**Елена Алексеевна
Гребенюк**

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.

В 2020 г. в состав лаб. № 41 вошла группа сотрудников лаб. № 30 «Проблемы оперативного управления и планирования предприятий ТЭК», создателем и руководителем которой был 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 были 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.

Группой сотрудников под руководством к.т.н. Ю.М. Цодикова были разработаны оптимизационные модели планирования производства предприятий нефтепереработки; методологии, моделей и методы формирования технологически согласованных и обоснованных экономически проектов развития предприятий ТЭК. Полученные результаты успешно внедрены 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 лекции

онные и практические занятия для студентов старших курсов МФТИ и Университета нефти и газа им. И.М. Губкина.

Сотрудниками лаборатории № 30 разных лет было опубликовано более 300 печатных работ, в том числе 14 монографий. Одновременно с организацией лаборатории в 1991 г. её сотрудники совместно с зарубежными коллегами создали СП «Петроком», долгие годы являвшееся ведущим поставщиком специализированного программного обеспечения для решения задач оперативного управления и планирования, а также обучения персонала на предприятиях ТЭК. Клиентами СП «Петроком» долгие годы были компании «Лукойл», «Роснефть», «Транснефть», «ТНК-ВР», «Сургутнефтегаз», *ABB Lummus Global*, *UOP*, *FLUOR*, *Honeywell* и др.

Первого февраля 2005 г. СП «Петроком» было приобретено корпорацией «Хоневелл», признанным мировым лидером в области автоматизации.



**Евгений Николаевич
Хоботов**

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.

Эти задачи в последние годы во всём мире вызывают повышенный интерес, поскольку создание эффективных методов планирования и выбора расписаний работ будут в значительной степени способствовать успешной деятельности предприятий, а разработка эффективных методов выбора оборудования для производственных систем и участков позволит сэкономить значительные средства при модернизации производств.

Планы и расписания работ должны строиться таким образом, чтобы они были согласованными между собой для всех подразделений предприятия. Необходимость их построения вызвана тем, что из планов и расписаний работ отдельных подразделений, систем и участков, пусть и весьма удачных, не всегда удаётся сформировать даже удовлетворительные планы работы предприятий, а без них вряд ли удастся повысить эффективность работы предприятий.

Ранее не существовало удовлетворительных методов для построения планов и расписаний работ на уровне предприятий. Сотрудниками группы Е.Н. Хоботова для построения подобных планов и расписаний работ был предложен новый подход, основанный на использовании методов агрегирования информации. Идеи агрегирования информации, предложенные для построения расписаний работ, оказались весьма продуктивными. С их помощью удалось предложить другую организацию изготовления комплектующих, когда их обработка производится группами, которые формируются по описанным выше принципам. Это позволяет:

- разработать методы, построения расписаний обработки комплектующих на уровне предприятий;
- организовать эффективную доставку деталей между производственными подразделениями;

- более эффективно управлять межцеховыми транспортными средствами предприятия;
- детализировать «каркасные» расписания до расписаний обработки отдельных деталей на всем используемом оборудовании.

Предложенные методы выбора оборудования для предприятий машиностроения также разработаны с использованием идеи агрегирования информации.

Еще одним направлением работ сотрудников лаборатории – управление плазмой в токамаке. Установки типа **токамак** (тороидальная камера с магнитными катушками) являются наиболее перспективными устройствами для осуществления управляемого термоядерного синтеза и создания термоядерных электростанций. Они представляют собой тороидальные камеры, в которых горячая плазма (ионизованный газ) создается и удерживается с помощью сильного магнитного поля, создаваемого катушками токамака и током, протекающим по самой плазме.

Группой специалистов под научным руководством д.т.н., профессора Ю.В. Митришкина разработан и реализован цифровой стенд реального времени на компьютерах Speedgoat Performance (Швейцария) с операционной системой SimulinkRT от компании MathWorks (США). В стенде с Host PC загружаются симулинок-схемы, конвертированные в С-код, в модели объекта и регулятора, соединённые по схеме обратной связи и реализованные на компьютерах реального времени. Стенд позволил промоделировать системы магнитного управления неустойчивым вертикальным положением плазмы в токамаке Т-15МД (НИЦ «Курчатовский институт») с использованием созданной цифровой модели многоуровневого инвертора напряжения в режиме широтно-импульсной модуляции в качестве исполнительного устройства для достижения максимального быстродействия и точности управления. Моделирование проводилось на модели плазмы первого порядка, получение которой обосновывается идентификацией модели плазмы с распределёнными параметрами моделью плазмы второго порядка совместно с обмоткой горизонтального управляющего поля. Для повышения надёжности системы управления вертикальным положением плазмы в токамаке Т-15МД предложена и исследована на цифровом стенде реального времени система управления с резервной обратной связью, на которую система переключается, когда в основном контуре происходит сбой типа обрыва, и сигнал обратной связи прекращает поступать на регулятор.



Юрий Владимирович
Митришкин

Для действующего сферического токамака Глобус-М2 (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) разработан и создан алгоритм восстановления равновесия плазмы по магнитным измерениям вне плазмы (*Flux and Current Distributions Identification*). Алгоритм FCDI может работать в двух режимах: FCDI-FF (Fixed Filaments), восстанавливающий равновесие плазмы методом неподвижных филаментов и FCDI-IT (Iterational), итерационно восстанавливающий распределение плотности тока плазмы в виде полиномов от полоидального магнитного потока методом итераций Пи-

кара при решении дифференциального уравнения Грэда–Шафранова в частных производных посредством функций Грина. Алгоритм внедрен в практику физических экспериментов токамака Глобус-М2 и после каждого разряда позволяет восстанавливать систему вложенных магнитных поверхностей, включая плазменную сепаратрису.

Относительно восстановленных массивов равновесий плазмы в течение разрядов по экспериментальным данным токамака Глобус-М2 были построены массивы линейных моделей плазмы, которые при линейной интерполяции привели к линейным моделям с переменными параметрами (LPV – *Linear Parameter Varying*). Для нестационарных моделей плазмы разработаны системы с робастными матричными ПИД-регуляторами с настройкой посредством линейных матричных неравенств (LMI – *Linear Matrix Inequalities*) при управлении магнитными полями в X -точке и зазорами между сепаратрисой и первой стенкой. Они были исследованы математическим моделированием на цифровом стенде реального времени по новой методике с одновременным применением линейных моделей, сценарных экспериментальных сигналов и алгоритма восстановления равновесия плазмы в обратной связи.

Для улучшения качества управления плазмой как объекта с переменными параметрами при стабилизации неустойчивого вертикального положения плазмы в токамаке Глобус-М2 применен адаптивный ПИД-регулятор, где адаптация производится посредством *on-line* настройки параметров ПИД-регулятора нейронной сетью. Для настройки сети был использован массив линейных моделей. Настройка нейронной сети производилась с помощью адаптивного стохастического градиентного метода, а в качестве функции потерь использовалась среднеквадратичная разница между уставкой и выходом модели.

Для различных конфигураций системы полоидальных управляющих катушек международного проекта токамака ИГНИТОР были построены линейные динамические модели плазмы. При помощи анализа величины областей управляемости по вертикали и переходных функций по горизонтали моделей плазмы определены оптимальные расположения катушек токамака вблизи его камеры для управления горизонтальным и вертикальным положением плазмы. Правомерность и эффективность введения новых обмоток управления положением плазмы была подтверждена синтезированными системами управления положением плазмы с H_∞ - и ПИД-регуляторами и моделированием на созданных линейных моделях плазмы.

На токамаке Глобус-М2 расчёт концентрации электронов производится при помощи микроволнового интерферометра. Прямое использование экспериментальной диагностики для построения систем управления линейной хордовой концентрацией электронов может служить источником возникновения ошибок, в частности, из-за её сбоя (например, скачки сигналов на интерферометрах) и низкой надёжности на некоторых разрядах. Предложена точная и быстродействующая численная модель плазмы для оценки концентрации в реальном времени на нейронной сети, обученная на данных разрядов при помощи алгоритмов глубокого обучения. На основе построенной модели синтезирована система управления клапаном газонапуска, амплитуду и длительность включения которого можно регулировать (кинетическое управление), для реализации управления концентрацией электронов. При помощи алгоритмов обучения с подкреплением система обеспе-

чивает достижение определённого значения концентрации как можно раньше после заданного момента времени.

Дальнейшая перспектива связана с внедрением в практику физического эксперимента токамаков Глобус-М2, КТМ – Казахстанский Токамак Материаловедческий (Институт атомной энергии Республики Казахстан) и Т-15МД цифровых систем магнитного управления плазмой, а также в проект токамака ТИН – термоядерный источник нейтронов (НИЦ «Курчатовский институт»).

С начала 70-х годов 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 анализа 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 12 лет работает заместителем Председателя Технического комитета ИФАК 5.2 – «Менеджмент и управление на производстве и в логистике».

Сотрудники лаборатории 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 МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ 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**

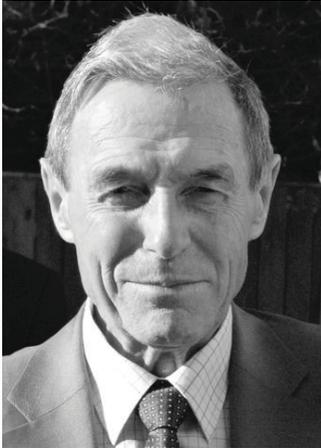
Лаборатория была организована в 1982 г. Заведующим лабораторией с момента её создания до своей кончины в марте 2015 г. был доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, математик, механик, специалист в области математической теории управления Вадим Фёдорович Кротов.

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 нелокаль-

ные 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**

Следует отметить большую заслугу в развитии идей и методов В.Ф. Кротова доктора технических наук, профессора Владимира Иосифовича Гурмана, сотрудника лаборатории с июля 2014 г. по июнь 2016 г., проводшего 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.

Большой вклад в багаж научных исследований, накопленный в лаборатории, внёс работавший в ней в период с марта 2007 г. по ноябрь 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.



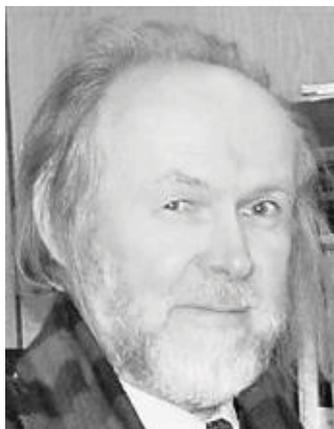
**Станислав Николаевич
Васильев**

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.

Работы В.Ф. Кротова активно 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.



**Михаил Михайлович
Хрусталёв**

С 2015 по 2019 гг. лабораторию возглавлял доктор физико-математических наук, профессор Михаил Михайлович Хрусталёв, последователь и продолжатель созданного В.Ф. Кротовым научного направления.

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.

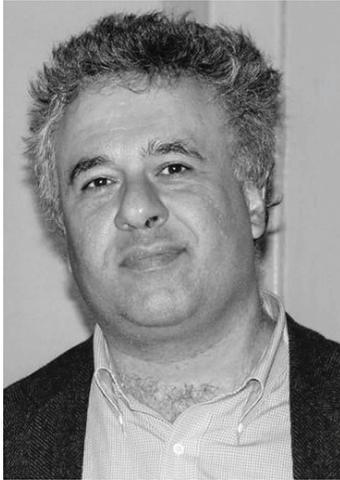
В работах М.М. Хрусталёва было дано обобщение условий глобальной оптимальности В.Ф. Кротова на стохастические системы диффузионного типа, функционирующие в условиях неполноты информации о состоянии, и на стохастические дифференциальные игры многих лиц (равновесие по Нэшу). Уже в процессе работы в лаборатории М.М. Хрусталёвым 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.

В 2019 г. лабораторию возглавил доктор физико-математических наук, профессор Арам Владимирович Арутюнов.

Область научных интересов А.А. Арутюнова включает теорию оптимального управления, теорию экстремальных задач, нелинейный анализ, в том числе, аномальные экстремальные задачи, задачи оптимального управления с фазовыми смешанными ограничениями, задачи с запаздываниями. Математический аппарат, разработанный им для исследования таких задач, включающий в себя теоремы об обратных функциях в аномальных точках и новые результаты в области накрывающих отображений, оказался эффективным инструментом не только в теории оптимального управления, но и в исследовании различных экономико-математических моделей.



**Заведующий лаб. № 45
Арам Владимирович
Арутюнов**

С Арамом Владимировичем в лаб. № 45 работают его ученики. Сергей Евгеньевич Жуковский, молодой доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, который является специалистом в области приложений функционального анализа, в том числе, к оптимальному управлению. В сферу его научных интересов входят обратные задачи, неявные функции.

Наталья Геннадьевна Павлова, старший научный сотрудник лаборатории, кандидат физико-математических наук, занимается теорией импульсного управления и приложениями в математической экономике. Ею получены результаты в области моделирования процессов рынка. Этой же тематикой занимаются и её аспиранты м.н.с. А.М. Котюков и С.О. Никаноров.

Большой вклад в работу лаборатории вносит Елена Павловна Ушакова, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории. Совместно с Владимиром Дмитриевичем Степановым она занимается разработкой математического аппарата, необходимого для исследований задач оптимального управления. В частности, она изучает свойства функциональных пространств, свойства интегральных операторов в пространствах функций одной или нескольких переменных.

Кирилл Александрович Царьков, старший научный сотрудник лаборатории, кандидат физико-математических наук, занимается развитием теории управления стохастическими динамическими системами, им получены результаты в области проблем терминальной инвариантности детерминированных и стохастических систем.

В лаборатории работают по совместительству доктора технических наук, профессора Валерий Николаевич Афанасьев и Николай Борисович Филимонов. Они также занимаются теорией оптимального управления, дифференциальными играми и их приложениями к различным задачам.



**Валерий Николаевич
Афанасьев**

Основным направлением исследований В.Н. Афанасьева является разработка новых методов управления нелинейными динамическими объектами с неполной информацией о состоянии, параметрах и взаимодействии со средой с использованием теории дифференциальных игр. В работах Н.Б. Филимонова получила развитие методология линейно-квадратичной и полиэдральной оптимизации непрерывных и дискретных процессов управления динамическими объектами в условиях ресурсных ограничений, параметрической неопределённости в штатных, критических и конфликтных ситуациях с использованием методов «жестких» и «мягких» вычислений. Предложена стратегия ситуационно-целевого управления сложными динамическими многорежимными процессами. Разработаны методы управления мехатронными подвижными объектами на основе методов «гибких» полиномиальных и кинематических траекторий, методов виртуальных силовых полей, а также методов вычислительного интеллекта применительно к задачам одиночного и группового управления мобильными роботами и беспилотными летательными аппаратами.

Полученные сотрудниками лаб. № 45 научные результаты вошли в монографии и учебники математических дисциплин, читаются в университетских курсах, используются в НИИ при исследовании прикладных задач. Разработанные методы исследования оптимальных процессов широко применяются для оптимизации траекторий движущихся объектов, анализа и синтеза их систем управления, моделирования и анализа развития многоотраслевой экономики и др.

Вокруг тематики исследований, проводимых в лаборатории, сформировался международный коллектив учёных, среди которых десятки кандидатов и докторов наук (и иностранных учёных с эквивалентными званиями).



**Николай Борисович
Филимонов**

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 годы – 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 по 2021 гг. лабораторией руководил доктор технических наук Валентин Григорьевич Лебедев, один из учеников Э.А. Трахтенгерца.

С начала 90-х годов 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 ре-



**Валентин Григорьевич
Лебедев**

шений для 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 годов в лаборатории был разработан графический интерактивный подход для построения программных средств моделирования и системного анализа, применённый при проектировании высокопроизводительного процессора цифровой обработки сигналов (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» с использованием принципов современного комплексного анализа экологической ситуации в зоне техногенного воздействия объекта уничтожения химического оружия была 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 экипа-

жами 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).

С 2022 г. по настоящее время лабораторией руководит доктор технических наук Георгий Сергеевич Вересников. Перспективные исследования и разработки лаборатории продолжаются помолодевшим коллективом. Образована молодёжная научная школа лаборатории.

Основные усилия сотрудников лаборатории в настоящее время сосредоточены на решении задач в области разработки технологий, методов и алгоритмов построения перспективных систем ранней диагностики электромеханических систем летательных аппаратов с использованием машинного обучения при тесном сотрудничестве с Центральным аэрогидродинамическим институтом (ЦАГИ). Ведётся разработка технологии, в которой синтезируются и интегрируются подходы, методы и алгоритмы машинного обучения и математического моделирования. Исследуются следующие классы электромеханических систем: сервопривод рулевой поверхности беспилотного летательного аппарата (БЛА) самолетного типа,



Зав. лаб. № 46
Георгий Сергеевич Вересников

электродвигатель мультикоптерного БЛА, электромеханический привод аэродинамической поверхности самолёта транспортной категории. Использование машинного обучения позволит создавать обучающиеся системы ранней диагностики, улучшающие свои характеристики на основе данных, которые являются ценным источником информации о накопленном в процессе испытаний и эксплуатации опыте. Особое внимание уделяется разработке и исследованию алгоритмов выделения информативных признаков, позволяющих уменьшить количество контролируемых параметров, снизить вычислительные затраты, повысить точность оценки и прогноза технического состояния электромеханических систем. Востребованность этих исследований обусловлена необходимостью развития технологий, связанных с повышением степени электрификации летательных аппаратов.



Молодёжная научная школа лаборатории № 46

В лаборатории проводятся работы по оптимизации управления воздушным движением. Поскольку взлётно-посадочные полосы являются одними из самых жёстких узких мест в глобальных узловых аэропортах, одним из путей повышения эффективности аэропортов является построение оптимальных очередей ВС на посадку с целью минимизации задержек рейсов, максимизации пропускной способности аэропорта и минимизации выбросов загрязняющих веществ. Рассматривалась *NP*-трудная задача оптимизации последовательности и времён посадок воздушных судов с соблюдением необходимых ограничений. В режиме реального времени получить точное решение задачи не представляется возможным из-за большого объёма вычислений. Для получения приближённого решения предложен комплексный подход: на первом этапе применяется генетический алгоритм для получения начального решения, которое затем улучшается на основе эвристического алгоритма. Предлагаемый подход позволяет получить оптимальные или близкие к оптимальным решения за приемлемое время. Для исследования разработанных алгоритмов использовалось программное средство имитаци-

онного моделирования. Обширные вычислительные эксперименты подтвердили эффективность предложенного подхода (Е.Л. Кулида, В.Г. Лебедев, Н.А. Егоров).



**Александр Иванович
Алчинов**

В 2022 г. в коллектив лаб. № 46 вошли сотрудники возглавлявшейся д.т.н. А.И. Алчиновым лаб. № 22 информационного обеспечения управления движущимися объектами, которые занимаются развитием методов поддержки принятия решений для управления летательными аппаратами на основе геоинформационных технологий, анализом методов управления летательными аппаратами, использующими при движении корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) для уточнения местоположения и коррекции траектории полёта.

Предложена концепция построения поисковой геоинформационной системы (ГИС) для моделирования КЭНС, которая позволит собирать модели большого спектра КЭНС и макеты технологий их настройки на работу с проведением необходимых вычислительных экспериментов.

Для определения состава требуемых программных средств, структуры хранилищ и особенностей интерфейса построена общая математическая модель, которая охватывает не только известные алгоритмы совмещения изображений, но и включает схему синтеза алгоритмов КЭНС нового типа с реализацией методов распознавания образов и анализа сцен, обучения нейросетей при обработке больших данных (А.И. Алчинов, К.Ю. Жигалов).

Актуальность ускоренного развития КЭНС значительно возросла в связи с интенсивным развитием БЛА различного назначения. В этих условиях ускоренное развитие данной предметной области может быть обеспечено расширением исследований и разработок с использованием предметно-ориентированного вычислительного комплекса, который может предоставить специалисту все необходимые средства для сборки моделей КЭНС и макетов технологий их настройки на работу из готовых программных модулей посредством специального интерфейса и проведения с ними вычислительных экспериментов.

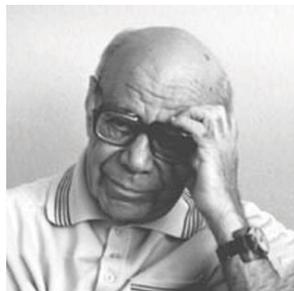
Коллектив лаборатории все годы своего существования – более 50 лет – осуществляет свою научную и практическую деятельность, проводя перспективные фундаментальные исследования в области развития теории и методов построения систем поддержки принятия решений и сложных информационно-управляющих комплексов.

Лаборатория № 49

ИНФРАСТРУКТУРНЫХ СИСТЕМ

Лаборатория № 49 была создана в 1968 г. известным учёным в области теории автоматического управления – Семёном Исааковичем Бернштейном.

С 1989 по 2013 гг. лабораторией руководил доктор технических наук, профессор Манучер Хабибуллаевич Дорри. В 2013 г. его сменил доктор технических наук Георгий Григорьевич Гребенюк, который оставался заведующим лаб. № 49 до 2021 г. В настоящее время лабораторией руководит кандидат технических наук Александр Алексеевич Рошин.



**Семён Исаакович
Бернштейн**



**Манучер
Хабибуллаевич
Дорри**



**Георгий Григорьевич
Гребенюк**

В составе лаборатории – 14 человек, из них 5 докторов технических и физико-математических наук и 3 кандидата технических наук.

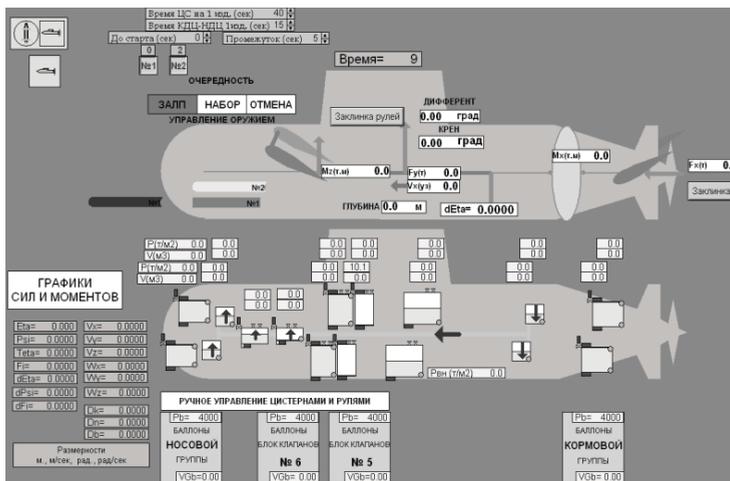
Лаборатория осуществляла научное руководство автоматизацией самой быстрой в мире атомной подводной лодки проекта 705 в части энергетики, а также разработку систем управления паротурбинной установкой атомных ледоколов «Арктика» и «Сибирь».

В рамках перечисленных проектов были разработаны методы расчёта уравнений тепломассопереноса на аналоговых машинах и структурно-иерархического построения инструментальных средств автоматизации систем управления. Предложены процедуры и алгоритмы исследования устойчивости, моделирования, оптимизации параметров, метод снижения шумоизлучения. Проведены успешные испытания на кораблях, подтвердившие теоретические расчёты.



Сотрудники лаборатории М.Х. Дорри и Г.Г. Гребенюк (двое справа) на борту атомного ледокола «Сибирь»

Теоретические работы легли в основу создания под руководством М.Х. Дорри и А.А. Рощина программного комплекса РДС (расчёт динамических систем) для анализа и синтеза систем управления, который нашёл применение в НИИ и вузах страны.



Пример модели системы управления сложного технического объекта в РДС

Комплекс РДС позволяет строить полномасштабные исследовательские стенды для анализа и визуализации поведения сложных технических объектов. В частности, РДС использовался при построении информационной модели теплоснабжения Москвы и для решения других задач жизнеобеспечения города. В настоящее время намечена модификация комплекса РДС, расширяющая его возможности.

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. Разработанные в лаборато-

рии системы «Контроль балансов в теплоснабжении города Москвы», «Учёт объектов ТЭХ города Москвы» и др. приняты правительством Москвы в промышленную эксплуатацию.

В 2013 г. д.ф.-м.н. С.П. Ковалёвым было создано новое направление по разработке методов и средств проектирования больших информационно-управляющих систем с использованием многоаспектного подхода.



Георгий Николаевич Калянов

В 2017 г. лаб. № 49 была объединена с лабораторией № 59, которой руководил д.т.н., проф. Г.Н. Калянов. Основным направлением исследований этой лаборатории являлась разработка методов автоматизации управления бизнес-процессами. Основными результатами, полученными в этой области, являются: комплекс методов реорганизации бизнес-процессов, обеспечивающих их проектирование, тестирование и верификацию; метод численного моделирования конвейерных процессов; метод комплексного управления безопасностью бизнес-процессов и информационных систем.

В настоящее время основное направление лаб. № 49 связано с решением задач управления безопасностью инфраструктурных систем. Такие сложные системы характеризуются значительными негативными последствиями при неблагоприятных воздействиях, в том числе и с низкой вероятностью возникновения. Современный подход к снижению этих последствий заключается в оценке уязвимости и устойчивости сложных систем, на основе которого в лаборатории разрабатываются методы повышения их эффективности и безопасности. В рамках этого подхода осуществляется построение моделей инженерной инфраструктуры, разработка алгоритмов поиска критических узлов сетевой инфраструктуры, алгоритмов оценки последствий и восстановления инфраструктуры, позволяющих оптимизировать стоимость и сроки восстановительных работ.

Другое направление связано с развитием теории бизнес-процессов. Исследования в данном направлении концентрируются на разработке и исследовании моделей и методов создания и функционирования процесса на всех этапах его жизненного цикла. В частности, решаются задачи, связанные с формализацией синтаксиса и семантики визуальных языков описания процессов, организации и исследования параллелизма при их функционировании, а также задачи перехода от бизнес-модели к модели требований по автоматизации бизнес-процессов.

Процессный подход явился основой целевых установок при разработке методологии проектирования программных комплексов управления безопасностью информационных систем, в рамках которой целевым защищаемым активом считаются бизнес-процессы предприятия и их непрерывное функционирование с точки зрения угроз информационной безопасности. Разрабатываются модели, процедуры и алгоритмы поддержки принятия решений при формировании концептуального представления системы защиты, в том числе исследуются: влияние факторов безопасности, отражающие генеральные стратегии политики безопасности; формиро-

вание целей безопасности (требований); выбор рациональных вариантов проектируемой системы защиты; алгоритмы сценарного анализа на основе прогноза целей нарушителя и развития атаки для компьютерной апробации вариантов системы защиты.

В рамках направления, связанного с развитием многоаспектного подхода, разрабатываются методы модельно-ориентированной системной инженерии для применения при создании и использовании многоаспектных моделей и цифровых двойников инженерной инфраструктуры. В качестве математического аппарата для строгого описания, анализа и верификации методов используется теория категорий. Исследуются как прямые задачи сборки систем заданной структуры, так и обратные задачи поиска вариантов структуры, обеспечивающих заданные требования к системе. Предлагаются новые теоретико-категорные конструкции, позволяющие описать решения таких задач для сложных гетерогенных систем.

В лаборатории также развивается теория расписаний применительно к решению конвейерных задач. В рамках этого направления разрабатываются модели и методы целочисленной оптимизации, основанные на использовании рекурсивных функций.

Целью указанных направлений исследования лаборатории является решение комплексной задачи повышения безопасности сложных организационно-технических систем, таких как инженерные сетевые инфраструктуры.

За время существования лаборатории её сотрудники активно участвовали в преподавательской деятельности в таких вузах, как МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ, МВТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ «СТАНКИН», НИУ ВШЭ, МЭСИ, РЭУ им. Г.В. Плеханова, МИРЭА, Академия экономической безопасности МВД. В настоящее время ими подготовлен и читается ряд авторских курсов лекций в МФТИ и МИРЭА. Сотрудники лаборатории активно участвуют в научно-организационной деятельности, в частности входят в редакционные коллегии ведущих научных журналов («Управление большими системами», «Автоматизация в промышленности», «Открытое образование», «Прикладная математика и вопросы управления»), входят в организационные комитеты всероссийских и международных конференций («Реинжиниринг бизнес-процессов», «Системная и программная инженерия») и в состав диссертационных советов Института.



**Зав. лаб. № 49
Александр Алексеевич
Роцин**

ЛАБОРАТОРИЯ № 57 АКТИВНЫХ СИСТЕМ



**Организатор и первый
заведующий лабораторией № 57
Владимир Николаевич Бурков**

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.

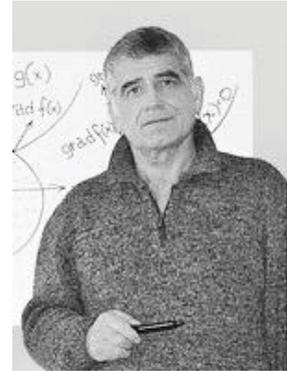
Активная система – это модель организационной системы, в которой в существенной степени учитываются наличие несовпадающих интересов у субъектов управления (агентов) и их активное поведение, то есть представление информации управляющему органу (центру) и выбор действий исходя из собственных интересов. Основным методом 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.

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 70–80-х годах 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 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 (В.В. Кондратьев, О.К. Сагынгалиев, Б.А. Джапаров, Б.К. Уандыков и др.). В тот же период были разработаны и внедрены на предприятиях цветной металлургии первые 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.).



**Валерий Иванович
Опойцев**

В конце XX – начале XXI века теория активных систем получила новые практические приложения и развивается по следующим направлениям:



**Александр Васильевич
Щепкин**



**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, А.Г. Чхартишвили, Н.А. Коргин, Д.Н. Федянин, В.В. Бреер);
- механизмы управления проектами (В.Н. Бурков);
- механизмы комплексного оценивания (В.Н. Бурков, В.Н. Гинз, Н.А. Коргин, А.В. Щепкин);
- модели управления активными сетевыми структурами (Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили, Н.А. Коргин, И.В. Козицин, Д.Н. Федянин);



**Дмитрий
Александрович
Новиков**

- теоретико-игровые модели поведения осторожных агентов на основе равновесия в безопасных стратегиях (М.Б. Исаков).



**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



**Заведующий
лабораторией № 57
Александр Гедеванович
Чхартишвили**

сетового 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).

Разработана новая концепция моделирования конфликтных (теоретико-игровых) ситуаций, являющаяся расширением концепции Нэша и названная равновесием в безопасных стратегиях – РБС (М.Б. Исаков). Доказано существование РБС в нескольких хрестоматийных экономических теоретико-игровых ситуациях – установления цен в модели местоположения Хотеллинга, соревнования Таллока за ренту, дуополии Бертрана-Эджворта, модели Ротшильда-Стиглица-Уилсона конкуренции на страховом рынке. Для каждой игры найдено единственное (или, при симметрии, единственное с

точностью до перестановки игроков) решение РБС и его интуитивная интерпретация. Для первых трех приложений (включая игру Хотеллинга) существование вытекает из общей теоремы существования. Эта теорема устанавливает существование РБС в классе игр, которые могут не являться непрерывными и/или квазивогнутыми.

Разработана оригинальная агентная модель, предлагающая общий подход к анализу процессов социального влияния в обществе (И.В. Козицин). Модель изучена аналитически, для неё построено приближение среднего поля. Полученные результаты подтверждены в рамках численных экспериментов; показаны границы применимости приближения среднего поля, в том числе для структурированных систем. В ходе численных экспериментов удалось достаточно точно симитировать реальную социальную систему – онлайн-овую сеть *ВКонтакте*, информация о динамике мнений пользователей которой использовалась для калибровки модели.

Разработаны механизмы организационного управления с элементами искусственного интеллекта (В.В. Цыганов, А.К. Еналеев). Эти механизмы позволяют согласовывать интересы активных элементов социально-экономических систем в

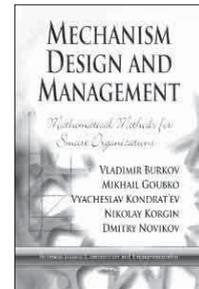


**Николай Андреевич
Коргин**

условиях изменений и с учётом возможностей, порождаемых цифровизацией, интеллектуализацией и технологиями машинного обучения. Комбинации этих механизмов используются в качестве модулей для анализа и проектирования комплексных систем управления социально-экономическими системами разной природы и масштаба. В частности, комбинации механизмы организационного управления с элементами искусственного интеллекта были реализованы в Комплексе моделей управления стратегическим развитием транспортной инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики, отмеченном премией Правительства РФ за 2022 г. в области науки и техники.

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.



Начиная с 2020 г. лабораторию возглавляет доктор физ.-мат. наук А.Г. Чхартишвили.

В лаборатории сегодня работают 10 докторов и 4 кандидата наук. Ряд сотрудников лаборатории – профессора и преподаватели кафедры интегрированных киберсистем Московского физико-технического института (Н.А. Коргин, Д.А. Новиков, 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 № 67

ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ



Зав. лаб. № 67
Роберт Михайлович
Нижегородцев

Лаборатория создана в декабре 2010 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 устойчивого неравновесия в управлении макроэкономическими системами. Широко применяется аппарат сценарного анализа к изучению траекторий неравновесных макроэкономических систем и управлению их динамикой. Разработаны методы решения многокритериальных оптимизационных задач на основе применения принципа допустимых интервалов.

Разработанные методы и 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, в том числе связанных с действием внешних шоков и угроз в периоды пандемии COVID-19, а также действия экономических санкций и прочих ограничений.

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. Разрабатываются модели и механизмы управления инновациями в рамках национальных, региональных и корпоративных инновационных систем. Отдельное внимание уделяется задачам достижения технологического и экономического суверенитета Российской Федерации.

На основе применения аппарата регрессионного анализа разработаны методики и проведены оценки вклада информационного производства в экономический рост современных макросистем – стран и регионов. Оценено воздействие эконо-

мических циклов различной природы на динамику технологических сдвигов.

Полученные результаты применены к задачам управления развитием инновационной, 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 объемом 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 объема и структуры государственных расходов (кривая Арми–Рана и её многочисленные аналоги) и др. Разработаны методы прогнозирования среднесрочной динамики монетарной сферы на основе систем неодновременных нелинейных многофакторных регрессионных уравнений. Эти методы применены, в частности, к задачам сценарного среднесрочного прогнозирования темпов инфляции в странах – членах ЕАЭС.

Сотрудниками лаборатории активно разрабатывается и применяется инструментарий стратегического менеджмента, в частности, функционально-институциональный анализ, модели циклов принятия решений, матрица стилей руководства, модели управления компетенциями в организации.

Основные направления работы лаборатории:

- Управление инновациями (Р.М. Нижегородцев, В.В. Клочков, С.В. Ратнер, В.Д. Секерин, Н.А. Петухов, Я.С. Матковская, Н.Н. Тренёв, Е.Н. Красина).
- Макроэкономическое регулирование, экономическая политика (Р.М. Нижегородцев, С.В. Ратнер, В.В. Клочков, И.Ю. Швец).
- Информационная экономика, управление наукой и образованием (Р.М. Нижегородцев, В.В. Клочков, Н.А. Петухов, И.Е. Селезнева, Е.Ю. Русяева).
- Моделирование и прогнозирование экономической динамики, экономическая статистика, эконометрика (Р.М. Нижегородцев, С.В. Ратнер, Н.А. Рослякова, Ю.В. Сидельников).
- Стратегический менеджмент и управление отраслевыми рынками (В.Д. Секерин, А.Е. Горохова, Л.Э. Горлевская, С.В. Ратнер, Я.С. Матковская, Н.А. Петухов, Н.А. Рослякова, И.Ю. Швец, Ю.Ю. Швец, И.Е. Селезнева).
- Эволюционная и институциональная экономика (Р.М. Нижегородцев, Н.Н. Тренёв, И.Ю. Швец, Ю.Ю. Швец).

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 2023 гг. проводились 38 раз. Соорганизаторами выступали ведущие научные учреждения и учебные заведения России и других стран: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, МГУ им. М.В. Ломоносова, Московский авиационный институт, Институт



Сотрудники лаб. № 67 на конференции Управление инновациями – 2023, ноябрь 2023 г.: к.э.н. Л.Э. Горлевская, к.э.н. Н.А. Рослякова, д.э.н. Р.М. Нижегородцев, д.т.н. Ю.В. Сидельников, д.э.н. Н.Н. Тренев, к.э.н. Н.А. Петухов, к.э.н. Ю.Ю. Швец, д.э.н. Я.С. Матковская

экономики УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт экономических исследований (г. Астана, Республика Казахстан), Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины (Республика Беларусь) и др.

Сотрудники лаборатории вносят решающий вклад в издание научных журналов «Друкерровский вестник» (входит в ВАКовский перечень, издается с 2014 г.) и «Экономический вестник ИПУ РАН» (издается с 2018 г.), являются членами редсоветов и редколлегий десятков научных журналов.

В лаборатории сегодня работают 18 сотрудников, в том числе 9 докторов и 6 кандидатов наук. Ряд сотрудников лаборатории – профессора ведущих вузов страны (Финансовый университет при Правительстве РФ, Российский государственный гуманитарный университет, Российский университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, Московский авиационный институт и др.). Сотрудники лаборатории успешно руководят аспирантами и докторантами, участвуют в работе диссертационных советов, привлекают студентов к проведению научных исследований. За 13 лет существования лаборатории двое ее сотрудников стали докторами экономических наук (А.Е. Горохова, А.В. Лукина), пятеро – кандидатами экономических наук (Н.А. Петухов, И.С. Анненков, А.В. Карев, Н.А. Рослякова, И.Е. Селезнёва). За эти годы сотрудниками лаборатории опубликовано более трех тысяч научных работ, в том числе десятки монографий, учебников и учебных пособий. Ежегодно сотрудники лаборатории публикуют более 150 научных работ, в том числе более 10 научных монографий.

Лаборатория активно сотрудничает с научно-исследовательскими коллективами России и ряда других стран, организует совместные исследования, проводит научные форумы и осуществляет совместные 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. Сотрудники лаборатории 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 разработаны три группы эффективных методов: метрический, аппроксимационный и интерполяционный. На основе этих методов разрабатываются эффективные алгоритмы решения практических проблем: гарантированная погрешность значения целевой функции, устойчивость к небольшим изменениям значений входных параметров и приемлемое для заказчика время решения.

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-



**Заведующий лабораторией № 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 450 работ, в том числе 34 книги: монографии, учебники и учебные пособия для ведущих университетов нашей страны. Более 80 работ опубликовано в изданиях, индексируемых *Web of Science* или *Scopus*. Сотрудники лаборатории редактируют раздел «Исследование операций» реферативного журнала «Математика» (ВИНИТИ РАН), работают в редколлегиях журналов «Автоматика и телемеханика», «Проблемы управления», «Управление большими системами» и диссертационных советах по защите докторских диссертаций.

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

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ



**Зав. лаб. № 69
Владимир Миронович
Вишневский**

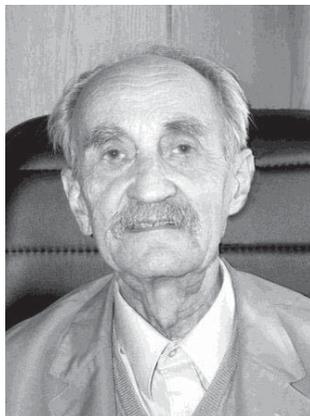
В состав лаборатории № 69 входит 25 сотрудников (включая 6 докторов наук и 4 кандидата наук); возглавляет лабораторию доктор технических наук, профессор Владимир Миронович Вишневский – заслуженный деятель науки РФ.

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), гибридные сети на базе лазерной и радиотехнологий, наземные полностью оптические сети, а также широкополосные беспроводные сети на базе автономных и привязных высотных беспилотных платформ. Важным направлением работ лаборатории является разработка нового

поколения систем управления безопасностью интеллектуальными транспортными системами с использованием RFID-технологий и новейших беспроводных средств коммуникации.

Сети вычислительных машин, стремительное развитие которых началось в конце 70-х годов прошлого века, проникли во все сферы человеческой деятельности, включая экономику, науку, культуру, образование и т.д. Интенсивное развитие телекоммуникационных сетей, их широкое использование в системах управления стимулировали также развитие нового направления в теории автоматического управления – сетевые системы управления (*Network Control Systems*), в которых контуры управления замкнуты через компьютерную сеть, а обмен сигналами управления и обратной связи между компонентами системы осуществляется в виде информационных пакетов через сеть.

В ИПУ РАН в начале 80-х годов под руководством профессора Владимира Александровича Жожикашвили началась разработка первой в стране компьютерной сети «Сирена», охватившей в дальнейшем всю территорию бывшего СССР. В сети были реализованы новейшие для того времени методы пакетной коммуникации, адаптивная маршрутизация, управле-



**Владимир Александрович
Жожикашвили**

ние информационными потоками и т.д. Сеть была реализована на полностью отечественных аппаратно-программных комплексах, выпускаемых заводами Минприбора СССР по конструкторским разработкам сотрудников ИАТа (ныне ИПУ). В Институте был создан отдел внедрения, возглавляемый В.А. Кучеруком. Усилиями сотрудников этого отдела практически во всех крупных городах страны были реализованы вычислительные центры системы «Сирена» и узлы коммутации пакетов, объединённые выделенными телефонными каналами связи.

В рамках создания и развития сети «Сирена» были разработаны теоретические основы проектирования компьютерных сетей. Разработана теория топологического синтеза распределённых компьютерных сетей, базирующаяся на оригинальных результатах в области экстремальных графов, новые методы анализа и синтеза открытых и замкнутых стохастических сетей с ограниченными буферными накопителями и т.д. Защищено большое количество кандидатских диссертаций и 3 докторские диссертации: В.М. Вишнеvский (1988), В.Н. Силаев (1992), М.П. Фархадов (2012). Теоретические результаты и опыт практической реализации сети пакетной коммутации «Сирена» нашли отражение в монографии *В.А. Жожикашвили, В.М. Вишнеvский. Сети массового обслуживания. Теория и применение в сетях ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988, 302 с.*

Начиная с конца 1970-х годов по 1995 г. под руководством В.А. Жожикашвили и В.М. Вишнеvского проведены 17 всесоюзных конференций, объединивших ведущих учёных и специалистов в области компьютерных сетей, многие из которых впоследствии стали основными разработчиками российского сегмента Интернет и других крупных проектов. На базе сети «Сирена» был реализован целый ряд крупномасштабных систем, включая: сеть регистрации атомных взрывов и землетрясений; компьютерная библиотечная сеть *Libnet* и др. Проведены теоретические и практические работы по шлюзованию разнородных компьютерных сетей. Приказом Министерства транспорта РФ в 1993 г. В.М. Вишнеvский был назначен Главным конструктором Единой Системы бронирования и продажи билетов на транспорте. В этот период разработана шлюзовая система для объединения двух крупнейших в РФ корпоративных сетей «Экспресс» и «Сирена». 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. Заключён контракт с корпорацией *Google* по использованию системы «Маршруты» на портале *Google*. Федеральной пассажирской компанией РЖД куплена лицензия на использования патента «Информационно-справочная система поиска оптимальных маршрутов на пассажирском транспорте». Проведённые исследования положены в основу фундаментальной монографии В.М. Вишнеvский. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003, 520 с.

Сетевые технологии во всём мире непрерывно развивались в сторону повышения быстродействия и надёжности, возможности интегрированной передачи данных, голоса и видеoinформации. В области локальных сетей было создано семейство технологий *Ethernet-Fast Ethernet-Gigabit Ethernet*, обеспечивающих иерархию скоростей 10/100/1000 Мбит/с. В глобальных сетях произошел переход от

технологии X.25 к технологии *Frame Relay*, использованию стека протоколов TCP/IP, ATM и *Gigabit Ethernet*.

Период конца 1990-х – начала 2000-х годов ознаменовался также появлением и бурным ростом широкополосных беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11, функционирующих в сантиметровом и миллиметровом диапазонах радиоволн. В Российской Федерации, как и во всём мире, начались активные разработки широкополосных беспроводных сетей на базе радиомодемов с шумоподобным сигналом. Под руководством В.М. Вишневого при финансовой поддержке Миннауки РФ разработана и реализована первая в стране высокоскоростная распределённая беспроводная сеть *Radionet*, обеспечивающая подключение в Интернет порядка 6000 компьютеров организаций науки, культуры и образования г. Москвы. Аналогичные сети были реализованы в наукограде Обнинск, городах Брянск и Якутск и других регионах страны. Создана теория динамического управления стохастическими системами циклического опроса. 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. Выполнен цикл работ по исследованию беспроводных сетей нового поколения, завершившийся публикацией монографии В.М. Вишневецкий, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. *Энциклопедия WiMAX. Путь в 4G*. – М.: Техно-сфера, 2011, 470 с. В 2012 г. на английском языке была опубликована книга V. Vishnevsky, O. Semenova. *Polling System: Theory and Applications for Broadband Wireless Networks*. – London: Academic Publishing, 2012, 317 p.

Одновременно с беспроводными сетями IEEE 802.11 интенсивно развивались мобильные сотовые технологии – одно из революционных достижений в области беспроводной связи, ставшее за последние 20 лет обыденным. Роль этой технологии в 2000-х годах столь же велика, как и бум персональных компьютеров в 1980-е годы. Мобильный телефон превратился в привычный предмет обихода, по стоимости приближающийся к обычному телефонному аппарату, а по распространённости значительно превзошедший число телефонных аппаратов фиксированной связи. В исторически короткий период происходит стремительная смена поколений сотовой связи: от сетей первого поколения до сегодняшних сетей четвёртого поколения, и начала активного внедрения сотовых сетей 5G.

В настоящее время во всём мире, включая Российскую Федерацию, уже широко используются сети четвёртого поколения на базе технологии *LTE Advances* (стандарт 3GPP, начиная с релиза 10), обеспечивающие в нисходящем радиоканале скорость передачи информации до 1000 Мбит/с, а в восходящем канале – до 500 Мбит/с. Однако с появлением таких технологий, как интернет вещей (технологии *LPWAN - SigFox* и *LoRa*), виртуальная и дополнительная реальность (*Virtual/augmented reality*) и т.д., наблюдается экспоненциальный рост трафика, появляются его дополнительные источники, большинство из которых подключается к сети Интернет посредством беспроводной связи. На трафик оказывает влияние также рост числа и качества передаваемых мультимедийных данных (видео высокого разрешения) и новые сервисы передачи таких данных от социальных сетей до различных сервисов передачи потокового видео, а также данных межмашинного взаимодействия (*Machine-to-Machine, M2M*).

В связи с указанными тенденциями и ограниченностью частотного спектра в сетях 4G уже в ближайшее время может возникнуть проблема нехватки мощностей для передачи огромных объёмов данных с различными ограничениями на задержку, вероятность потерь, вариацию задержки и другие параметры. Разрабатываемые и активно внедряемые сети 5G ориентированы на решение этой проблемы за счёт более эффективного использования существующего частотного спектра, привлечения дополнительного спектра и новых технологий радиодоступа в миллиметровом диапазоне радиоволн, технологий D2D (*device-to-device*), мультивещания и широко вещания и т.д.

Разработка теоретических основ построения и управления перспективными широкополосными сетями 5G/6G – основное направление исследований лаб. № 69 в последние годы. Разрабатываются сверхвысокоскоростные, самоорганизующиеся сети миллиметрового диапазона радиоволн (71-76 ГГц, 81-86 ГГц) и гибридные сети на базе лазерной и радиотехнологий. Теоретические исследования нашли отражение в книге *В.М. Вишнеvский, А.Н. Дудин. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях. – М. Техносфера, 2018 г., 564 с.* Книга переведена на английский язык и опубликована в издательстве *Springer International Publishing* в 2020 г. Важным направлением работ лаборатории является также разработка нового поколения систем управления безопасностью интеллектуальными транспортными системами с использованием RFID-технологий и новейших беспроводных средств. 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 крупномасштабный эксперимент по реализации системы безопасности на автодорогах с использованием разработанной RFID-технологии. В рамках успешного эксперимента участвовало около 1000 транспортных средств, номерные знаки которых были оснащены RFID-метками. В последние годы разработан аппаратно-программный комплекс гибридной системы идентификации транспортных средств на базе RFID-технологии и существующих систем видеofиксации, превосходящий по основным характеристикам существующие мировые аналоги. Комплекс предназначен для реализации опытных зон новой системы повышения безопасности на автодорогах в Москве, Санкт-Петербурге и Казани в соответствии с постановлением Правительства РФ. Успешные полевые испытания гибридного комплекса прошли в 2022 г. на полигоне ГИБДД Республике Татарстан.

Ведутся разработки привязных высотных, беспилотных, телекоммуникационных платформ, не имеющих мировых аналогов, и широкополосных беспроводных сетей на их основе. Разработаны теоретические основы проектирования таких беспилотных платформ, на базе которых создан мобильный робототехнический комплекс «Альбатрос». Комплекс демонстрировался на Международном форуме «Армия-2021» в составе экспозиции Минобрнауки РФ. Опубликована книга *В.М. Вишнеvский, В.В. Рыков, Д.В. Козырев, Н.М. Иванова. Моделирование надёжности привязных высотных беспилотных телекоммуникационных платформ.*



**Демонстрация аппаратуры системы безопасности на автодорогах с использованием RFID-технологии и беспроводной связи.
Выставка в г. Казани (2022 г.)**



**Мобильный робототехнический комплекс «Альбатрос»
на базе привязной беспилотной платформы**
– *М. Техносфера*, 2022 г. Книга переведена на английский язык и опубликована в издательстве *Springer International Publishing* в 2023 г.

На основе полученных результатов В.М. Вишневым и Р.В. Кириченко была разработана международная рекомендация МСЭ-Т (*International Telecommunication Union* (ITU)) сектора стандартизации Международного союза электросвязи. В июле 2021 г. на заседании сектора стандартизации ИТУ рекомендация была одобрена и опубликована в документе Q3060 «Архитектура сигнализации беспроводных телекоммуникационных сетей быстрого развертывания». В рекомендации впервые в мировой практике дано строгое определение привязных высотных беспилотных платформ, функционирующих на высотах до 500 м и характеристик широкополосных беспроводных сетей на их основе.

Теоретические и практические исследования лаборатории финансово поддерживаются грантами Российского научного фонда (РНФ), Министерства образования и науки РФ, Фонда перспективных исследований (ФПИ), Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и рядом хозяйственных договоров с телекоммуникационными фирмами.

В рамках проведения научных и практических работ в области широкополосных беспроводных сетей 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 Германии, возглавляемую проф. У. Кригером (Бамбергский университет); научную группу из Индии, возглавляемую проф. А. Кришнамурти (Университет г. Кочин); научную группу из Кореи, возглавляемую проф. Б.Д. Чои (Университет г. Сеул) и рядом других научных коллективов из университетов Польши, Венгрии, Болгарии, Белоруссии и Молдавии.

Учёные лаборатории ведут активную преподавательскую деятельность в ведущих вузах страны: МФТИ, МГУ, МЭИ, РУДН (В.М. Вишневы, Д.В. Козырев, Н.М. Иванова, Е.А. Барабанова, К.А. Вытовтов, А.А. Ларионов), что в значительной мере способствует ежегодному притоку в лабораторию студентов и аспирантов. За последние 10 лет под руководством В.М. Вишневого защищено 3 докторские и 6 кандидатских диссертаций.

Сотрудники лаборатории ведут также обширную научно-организационную работу, участвуя в качестве членов программных комитетов многих престижных зарубежных и отечественных конференций в области компьютерных систем и сетей, а также являясь членами редколлегии научных журналов в этой области. В.М. Вишневы возглавляет телекоммуникационное подразделение IEEE (*Communication Society Chapter*) в рамках российского отделения IEEE. Является главным редактором спецвыпусков в журнале *Sensors* (Q1) и *Matematics* (Q1), зам. главного редактора международного журнала *Advances in Systems Science and Applications* (ASSA).

Лаборатория ежегодно организует Международную конференцию *Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications* (DCCN), которая является крупнейшей в РФ в области телекоммуникационных систем и сетей. В 26-й конференции IEEE DCCN-2023, прошедшей в г. Москве в

сентябре 2023 г., приняли участие более 180 ведущих учёных в области компьютерных сетей из 18 стран мира.



Открытие Международной конференции IEEE DCCN-2023

Последние 25 лет конференция проводилась в России, Болгарии и Израиле. Труды конференции публикуются в двух сборниках издательства *Springer International Publishing: Lecture Notes in Computer Science (LNCS)* и *Communications in Computer and Information Science (CCIS)* (индексируются в WoS/Scopus) и пользуются большой популярностью у учёных всего мира и специалистов по сетям связи. Седьмой год подряд лаборатория проводит также Международную конференцию «Информационные технологии и технические средства управления» на базе Астраханского технического университета.

За последнее десятилетие сотрудниками лаб. № 69 опубликовано свыше 400 научных работ, включая 12 монографий, 27 патентов на изобретения и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Выполнено свыше 21 НИР и ОКР, в рамках грантов федеральных и отраслевых научно-технических программ, РНФ, РФФИ, по Программам РАН и хоздоговорам.

Разработанные в лаборатории образцы новой техники и технологии неоднократно получали награды на международных и всероссийских выставках: СеВIT (г. Ганновер, Германия), China Hi-The Fair (г. Шеньчжень, Китай), «ITEX'13» (г. Куала-Лумпур, Малайзия) в составе экспозиции Минобрнауки РФ (золотые и серебряные медали); на выставках информационных и коммуникационных технологий SofTool (первое место в конкурсе лучших решений в области информационных технологий «Продукт года»), на Международном форуме «Армия-2021» (грамота Минобрнауки РФ) и др.

ЛАБОРАТОРИЯ № 77

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ КИБЕРНЕТИКИ



Заведующий 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 «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 настоящий момент в лаб. № 77 по направлению нелинейной динамики активно изучается ряд вопросов, в их числе:

- дихотомическое подразбиение TQ-пространства с целью оценивания топологической энтропии дискретных динамических систем и управления хаотическими колебаниями;
- анализ переходных процессов синхронизма в терминах T-синхронизации;
- анализ в терминах T-синхронизации пространственно-временной структуры синхронизма хаотических систем.

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 короткой 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 запираания канала/датчика) и способность обнаруживать классификатором преобладающий сигнал в смеси сигналов в условиях априорной неопределённости.

В настоящий момент продолжается изучение механизмов функционирования глубоких ИНС в случае составных (сложных) случайных сигналов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что ряд задач цифровой обработки сигналов можно более эффективно решать не статистическими методами с ручным синтезом алгоритмов, а методами глубокого обучения с автоматическим синтезом информативных признаков и решающих правил принятия решения. Кроме того, показано, что свёрточные и рекуррентные нейронные сети могут эффективно работать не только с сигналами, имеющими ярко выраженные паттерны, но и с реализациями узко- или широкополосных случайных процессов.

В лаборатории получен ряд оригинальных результатов по применению глубоких нейросетевых моделей к обработке траекторных данных, в части распознавания подвижных объектов по кинематическим характеристикам и распутывания траекторий, формируемых сосредоточенной группой объектов.

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 быстродействующего 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).

Кроме того, успешно решен ряд прикладных задач по направлению интеллектуального машинного зрения:

- разработано семейство алгоритмов и моделей интеллектуальной видеоаналитики для применения в системах точного свиноводства;
- разработан блок алгоритмов точного оценивания прироста биомассы томатов по данным видеосенсоров;
- разработаны модели оперативного оценивания спелости плодов томатов по видеоданным в видимом спектральном диапазоне длин волн;
- разработана технология распознавания медицинских масок на лицах людей в сложных для принятия решения условиях;
- разработан алгоритм автоматизированной калибровки широкоугольных видеокамер машинного зрения с использованием видеопотока.

По направлению интеллектуального машинного зрения в лаборатории также ведется ряд фундаментальных исследований:

- исследование идентифицируемости и управляемости структурой латентных пространств нейросетевых моделей в задачах распознавания и сегментации экземпляров объектов;
- разработка конструктивных методов обучения и тестирования глубоких нейросетевых моделей, функционирующих в условиях сложных и зашумлённых входных данных (развитая граница объекта, вырожденная палитра, объектоподобный фон, скопления объектов, перекрытия объектов, размытие границ и текстур, вариация освещения и т.п.);
- разработка системных принципов построения и обучения глубоких контекстно-ориентированных нейросетевых моделей для задачи распознавания по видеоданным наблюдаемых объектов и их действий.

Таким образом, лаб. № 77 формирует комплексный ответ на вызовы современности в части интеллектуализации систем и процессов управления.

ЛАБОРАТОРИЯ № 79

БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ



Заведующий лаб. № 79
Андрей Олегович Калашников

Лаборатория № 79 («Управление безопасностью кибер-физических систем») была создана в 2017 г. В 2018 г., после присоединения к ней лаб. № 9 («Распределённые автоматизированные информационные системы»), она сначала получила наименование лаборатории «Сложных сетей», а с конца 2023 г. – своё нынешнее название. Заведующий лабораторией – доктор технических наук Андрей Олегович Калашников.

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 – российский лидер в области анализа социальных сетевых структур при помощи методов теории управления. Основным направлением исследований в лаб. № 79 с момента её создания была безопасность сложных сетей различной природы. В частности, 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.).

Лаборатория распределённых автоматизированных информационных систем, как прародитель лаборатории «Безопасности сложных 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 (ныне ИПУ) и начала развиваться принципиально новая техника – цифровые вычислительные машины, комплексы и системы.

В 1967 г. лаб. № 9 была переименована в лабораторию структур управляющих



Альберт Фёдорович
Волков

вычислительных машин, а её заведующим назначен доктор технических наук 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.



**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 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» 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.

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 связного интерфейса, обеспечивающего независимость прикладных программ, средств транспортировки и защиты данных.

С 1993 г. по заданию Минсвязи лаборатория участвует в создании автоматизированной 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 к.т.н. Р.Э. Асратяну, к.т.н. А.Ф. Волкову, к.т.н. В.Н. Лебедеву, к.т.н. И.Н. Мараканову, А.Д. Козлову, В.А. Ведешенкову, А.В. Антонову, А.В. Третьякову, Н.Ф. Володиной, Г.М. Золотухиной.

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. Шинкарьюк, В.Е. Москальков, А.В. Цуканов, В.Г. Волин, к.т.н. 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* обеспечивала 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.

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 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.

В настоящее время объектом исследований лаборатории 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», «ВКонтакте», 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.

Решение указанных выше задач осуществляется сотрудниками лаборатории в рамках нескольких направлений.

Одним из таких направлений исследований является создание методов и средств управления распределённой обработкой и информационной безопасностью в сложных, неоднородных мульти-сетевых структурах. В рамках данного направления 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 (к.т.н. Р.Э. Асратян, к.т.н. Е.А. Курако, к.т.н. В.Л. Орлов А.Д. Козлов, Н.Л. Нога и др.).

Другим направлением является исследование проблем управления рисками и безопасностью сложных сетей различной природы. В рамках данного направления, в частности, исследуются вопросы управления рисками и безопасностью организационных систем с сетевой структурой (д.т.н. А.О. Калашников, к.ф.м.н. А.А. Широкий), анализ и прогнозирование рисков объектов критической информационной инфраструктуры и объектов с повышенным уровнем риска (А.О. Калашников, Е.А. Абдулова), разработка моделей и алгоритмов мониторинга, оценки и управления информационными рисками сложных систем с сетевой структурой (А.О. Калашников, Е.В. Аникина), применение логико-вероятностного подхода в управлении информационной безопасностью (А.О. Калашников, К.А. Бугайский), комплексное оценивание рисков сложных сетей (А.О. Калашников, А.С. Рей) и ряд других.

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 Роман Валерьевич Мещеряков. В составе лаборатории – 30 сотрудников.

Тематику лаборатории определяет объект исследования – Киберфизические системы (*Cyber-Physical System, CPS*), которые 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 связано с прогрессивными технологиями последних десятилетий, таких как туманные и облачные вычисления, Интернет вещей, межмашинное взаимодействие, робототехника, 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.

Наибольшее развитие в лаб. № 80 получили следующие направления исследования киберфизических систем:

- Математическое и программное обеспечение киберфизических робототехнических систем.
- Создание систем коллаборативной робототехники.
- Повышение качества работы человеко-машинного интерфейса в различных условиях, в том числе при управлении РТК.
- 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.
- 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.

Исследования лаборатории финансово поддерживаются грантами Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Российского научного фонда (РНФ) – за последние 5 лет в лаборатории сотрудники лаборатории принимали участие в 20 грантах. 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 социокриберфизической 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 летательных 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 исследований в группе робототехнических систем требует чёткого распределения задач между исполнителями. Эти работы выполняются по заказу НИЦ Институт им. Н.Е. Жуковского (функции заказчика выполняет директор проектного офиса д.т.н. В.П. Кутахов) и позволяют проводить управление беспилотной авиационной транспортной системой (ответственный исполнитель д.т.н. А.А. Захарова) в режиме с изменяющимся полем заявок в многоплечевой системе. Важно отметить, что проводятся не только вычислительные эксперименты, но и лётные, на которых проводятся испытания в реальных условиях.

К перспективным направлениям работ, которые развиваются в лаборатории, следует отнести исследования в области групповой воздушной робототехники, которые формируют смешанные порядки с присутствием пилотируемых и беспилот-

ных авиационных систем. Указанное направление курирует д.т.н., проф. С.П. Хрипунов.

Также среди перспективных направлений следует отметить развитие медицинской робототехники, которое началось с приходом в лабораторию д.т.н., доцента О.М. Грегет.

К одним из значимых научных результатов последних лет следует отнести научные исследования по коллаборативной робототехнике. В 2023 г. сотрудником лаборатории Р.Р. Галиным была защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы» на тему «Метод и алгоритмы распределения работ в коллаборативной робототехнической системе». В настоящее время по этой тематике выполняется грант РФФ.

Сотрудники лаборатории ведут активную научно-организационную работу, являясь членами редколлегий ряда отечественных и зарубежных журналов, а также членами программных комитетов международных конференций.



Лаборатория № 80 (в её молодёжном исполнении)

ЛАБОРАТОРИЯ № 81

УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ЗДОРОВЬЕМ

Лаборатория создана в 2019 г. по инициативе директора Института проблем управления имени В.А.Трапезникова РАН тогда ещё члена-корреспондента РАН Д.А.Новикова (ныне академик РАН). Идею создания лаборатории поддержали академик-секретарь отделения медицинских наук РАН академик В.И. Стародубов и научный руководитель Национального НИИ общественного здоровья имени Н.И.Семашко РАН академик Р.У. Хабриев. В создании лаборатории также активно участвовали структуры ФАНО (Федеральное агентство научных организаций), которые пытались, таким образом, разделить задачи стратегического развития системы управления национальным здоровьем и обслуживание текущих задач, выполняемых Министерством здравоохранения. Сегодня лаборатория является единственной научной структурой в России и странах СНГ, которая проводит комплексный стратегический анализ рисков общественному здоровью и предлагает решения, направленные на снижение последствий этих рисков. Заведующим лабораторией является доктор медицинских наук Дмитрий Олегович Мешков.



Зав. лаб. № 81
Дмитрий Олегович Мешков

Создание лаборатории в ИПУ РАН обусловлено тем фактом, что задолго до этого в Институте была создана серьёзная научно методическая база для дальнейшей разработки стратегических направлений, связанных с управлением здоровьем человека на индивидуальном и коллективном уровнях. В настоящее время ИПУ РАН является ведущим научным учреждением, которое занимается вопросами управления различными системами, включая социальные системы, к которым относится и управление здоровьем населения. Такие исследования велись с 1960 г., когда в Институте возник новый раздел теории управления – управление большими системами, особенностью которых является то, что важнейшую роль в их эволюции играет так называемый «человеческий фактор». Инициатором этого направления выступил В.А. Трапезников. Необходимо упомянуть и таких известных учёных, как М.А. Айзерман, А.Я. Лернер, В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, А.В. Малишевский, Ф.Т. Алескеров, А.А. Дорофеюк, А.С. Мандель, В.А. Лотоцкий, М.Б. Шнейдерман, И.Б. Семёнов и многих других, прямо или опосредовано разрабатывавших методологию и прикладные инструменты, которые легли в основу современных разработок управления социальными системами и национальным здоровьем. Ещё до создания лаборатории её будущие сотрудники

активно взаимодействовали с сотрудницей лаб. № 38 кандидатом технических наук Людмилой Арнольдовной Даргау, с которой нашли полное взаимопонимание в вопросах поиска путей повышения общественного здоровья. В ИПУ работали и продолжают работать в настоящее время кандидат биологических наук Нина Александровна Бабушкина, разрабатывающая модели иммунного ответа, актуальность которых мы все ощутили во время пандемии COVID-19, и доктор биологических наук Анатолий Иванович Михальский, чьи модели автоматизированного управления уровнем глюкозы в крови больных диабетом пользуются признанием со стороны врачей-эндокринологов.

При создании лаб. № 81 учитывались современные потребности в управлении здоровьем населения и необходимость предоставления экспертных оценок для поддержки управленческих решений при управлении индивидуальным и общественным здоровьем. Основными специалистами лаборатории стали врачи, специализирующиеся на управлении общественным здоровьем и организации здравоохранения: главные научные сотрудники, доктора медицинских наук Дмитрий Олегович Мешков (комплексная оценка, мониторинг и прогноз развития технологий управления общественным здоровьем), Сергей Николаевич Черкасов и старший научный сотрудник, кандидат медицинских наук Анна Владимировна Федяева (мониторинг, прогноз общественного здоровья и определение потребности в медицинской помощи). Старший научный сотрудник, дважды кандидат наук (психологических и экологических) Виктор Васильевич Глебов изучает факторы риска, связанные со средой обитания, и их влияние на здоровье. Елена Дмитриевна Макеева и Алексей Владимирович Лобанов, специалисты по самообучающимся системам, нейросетям и теории вероятностей определяют методы, пригодные для реализации поставленных задач, и создают математические модели, соответствующие практическим запросам охраны здоровья и здравоохранения.



**Алексей Владимирович
Лобанов**

Одним из наиболее успешных практических достижений такого междисциплинарного коллектива стала модель мультиморбидности, ориентированной на заболевание. Эта модель учитывает наиболее современные концепции управления здоровьем, например, пациент-ориентированный подход, и позволяет оценить причинно-следственные связи между заболеваниями на основе доступной статистической информации. Применение этой модели получило высокую оценку клиницистов, поскольку, используя имеющуюся инфраструктуру, специалистов и способы лечения, можно существенно повысить эффективность лечения пациентов с несколькими заболеваниями.

Немалую роль в успехе исследований сыграло развитие подходов, традиций и методологии социальной гигиены, сформулированных в первой половине прошлого века и получивших своё дальнейшее развитие в 70-х годах в работах крупнейшего специалиста по общественному здоровью и управлению здравоохранением академиком РАН Юрием Павловичем Лисицыным, который выявил необходи-

мость междисциплинарного и межведомственного подхода к управлению здоровьем населения.

Сотрудниками лаборатории сформулирована концепция проактивного риск-ориентированного управления общественным здоровьем, позволяющая на основе современной инфраструктуры и технологий обеспечить качественный скачок в экспертной поддержке управленческих решений в здравоохранении. Эта концепция подразумевает мониторинг и прогноз показателей общественного здоровья, факторов риска и социальных детерминант здоровья, которые усиливают или подавляют результат воздействия этих факторов. Например, если взять такой показатель общественного здоровья, как заболеваемость раком лёгкого, то фактором риска будет курение, а социальной детерминантой заболеваемости – пол (поскольку женщины курят меньше, то заболеваемость раком лёгких у них ниже). Правильно оценив текущую заболеваемость и распространённость заболевания (это разные показатели), можно просчитать динамику и составить прогноз, определить, если говорить о системе здравоохранения, потребность в медицинской помощи. Но если выйти за рамки системы здравоохранения, то следует говорить о действиях, направленных на изменение образа жизни или изменение окружающей среды, которые, в конечном счёте, приводят к снижению медицинского, социального и экономического бремени, порождаемого болезнью.

Эти действия, их анализ, прогноз и обоснование являются вторым важным элементом концепции. Они сосредоточены в блоке информации, связанной с прогнозом и оценкой технологий здравоохранения на всех этапах их создания, включая фундаментальные исследования, доклинические и клинические исследования, систематические обзоры и метаанализ, подготовку клинических рекомендаций, клинико-экономический анализ и моделирование, комплексную оценку технологий здравоохранения (ОТЗ), разработку ситуационных моделей и проведение биоэтической экспертизы. Всё это вместе позволяет синхронизировать во времени появление рисков здоровью населения со своевременной инициацией и разработкой соответствующих технологий здравоохранения, химических и биологических, например, лекарственных препаратов, включая вакцины, медицинские устройств, средства диагностики, информационные и управленческие технологии.

Концепция позволяет использовать и получать качественно новые результаты с использованием уже существующих и постоянно совершенствующихся информационных потоков, начиная от мониторинга и прогноза общественного здоровья, доклинических, клинических исследований и клинико-экономического анализа и заканчивая технологиями системного обобщения информации и подготовки клинических руководств.

Как пример, концепция продемонстрировала всю свою значимость и актуальность на фоне пандемии COVID-19. Ретроспективный анализ распространения коронавируса COVID-19 выявил сообщения о повышении числа случаев заболевания и смертности от атипичной пневмонии, которое врачи наблюдали, начиная с марта 2019 г. Это подтверждает возможность ранней идентификации рисков общественному здоровью даже в случае появления ранее неизвестных опасных инфекций.

Междисциплинарный характер исследований, ведущихся в лаборатории, обуславливает широкое сотрудничество с коллегами-учёными из различных областей знаний. При разработке модели управления лечением диабета наши специалисты

консультируются с эндокринологами, а при управлении лечением онкологических заболеваний – с онкологами. Среди других партнеров – Белорусская академия медицинского последипломного образования, Северо-восточный федеральный университет, Российский научный исследовательский медицинский университет и другие организациями. При решении юридических вопросов лаборатория консультируется со специалистами Санкт-Петербургского государственного университета. Ещё одним партнёром лаборатории является Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина.

Лаборатория, совместно с МИЭМ НИУ ВШЭ, является создателем и организатором объединённого междисциплинарного научно-исследовательского семинара «Цифровые технологии в здравоохранении». Этот семинар создан в 2022 г. для обсуждения и продвижения в научной, профессиональной, академической и студенческой средах прикладных исследований, проектов, образовательных инициатив, профессиональных стандартов в области цифровизации здравоохранения, направленных на совершенствование системы здравоохранения, обеспечение её доступности и устойчивости. Научные интересы семинара включают, но не ограничиваются такими направлениями, как электронные медицинские карты и стандарты, приложения мобильного здравоохранения, используемые с целью мониторинга и профилактики, порталы, платформы и экосистемы общественного здравоохранения, инструменты для принятия клинических решений при оказании первичной помощи, персонализированная медицина, моделирование и прогнозирование развития заболеваний и эпидемий, аналитика влияния окружающей среды и образа жизни на общественное здоровье.

Результатом совместной работы сотрудников лаборатории с коллегами из Санкт-Петербургского государственного университета и Московского государственного юридического университета им. О.Е. Кутафина, а также других научных и образовательных учреждений стала подготовка предложений по совершенствованию системы здравоохранения, которые обсуждались 26 февраля 2019 г. в Аналитическом центре при Правительстве РФ. В этот день в рамках инициативы «Федеральный конгресс – Приоритеты 2024» состоялся Экспертный форум «Здравоохранение России: организационно-экономические особенности и тенденции, стратегические и тактические задачи дальнейшего развития». Участники форума сформулировали основные положения развития охраны здоровья в Российской Федерации с учётом существовавших на тот момент времени и прогнозируемых вызовов общественному здоровью. Впервые широкой общественности была представлена разработанная в лаборатории концепция проактивного риск-ориентированного управления общественным здоровьем, направленная на повышение клинической результативности и социальной и экономической эффективности управления общественным здоровьем.

Для реализации полученных в лаборатории решений применяется широкий спектр цифровых технологий с использованием больших данных, искусственного интеллекта и технологии распределённых реестров при учёте прогноза медицинских, социальных и экономических последствий.

ЛАБОРАТОРИЯ № 82

МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ

Лаборатория образована в 2019 г. Основным направлением её научных исследований является разработка методов, численных алгоритмов и общей теории для математического моделирования и управления большими динамическими системами. В частности, эти методы применяются для решения прикладных задач управления, возникающих в электроэнергетике и при разработке нефтяных и газовых месторождений. Заведует лабораторией кандидат физико-математических наук Алексей Борисович Исаков. В состав лаборатории входят 18 сотрудников.



Зав. лаб. № 82
Алексей Борисович Исаков

Направления проводимых исследований

- Развитие методов модального анализа для линейных и нелинейных динамических систем на основе спектральных разложений решений уравнений Ляпунова и Сильвестра. Вывод спектральных разложений для динамики разных классов систем и для решений характеризующих их матричных уравнений. Вывод количественных критериев устойчивости, наблюдаемости и управляемости системы на основе «энергетических» метрик.
- Оценка устойчивости и надёжности распределённых динамических систем посредством анализа спектральных разложений энергии возмущений и явного учёта взаимодействия собственных мод системы, а также топологии распределённой системы. Разрабатываемые методы применяются в задачах электроэнергетики для адаптивной настройки системных регуляторов, выбора оптимального расположения стабилизаторов и элементов системы мониторинга переходных режимов на графе энергосистемы, определения предельных пропускных способностей и оптимального потокораспределения в сети на основе «энергетических» критериев.
- Разработка методов иерархической декомпозиции и расщепления нелинейных операторов в функциональных пространствах на базе принципов оптимальности Лагранжа, Беллмана, Понтрягина с эффективным вложением параллельных алгоритмов в архитектуру многопроцессорных вычислительных систем. Эти методы применяются для решения задач оптимального управления разработкой природных залежей углеводородов, в частности для нахождения оптимального числа и расстановки скважин на месторождениях, а также оптимального управления режимами разработки во времени.
- Разработка дифференциально-геометрических методов исследования нелинейных систем уравнений математической физики с сильными или слабыми (контактны-

ми) разрывами. Прежде всего эти методы применяются к моделированию процессов многофазной фильтрации флюидов (нефти, газа, газового конденсата и активных вытесняющих реагентов) в неоднородных насыщенных пористых средах месторождений с применением различных управляющих (волновых, тепловых и физико-химических) циклических воздействий (совместно с лаб. № 6).

- Исследование и разработка математических и методологических основ идентификации, оценивания параметров и прогнозирования состояния нестационарных объектов и процессов. Разрабатываемые методы применяются к идентификации обобщённых фильтрационно-емкостных параметров моделей фильтрации по данным гидродинамических и геофизических исследований на скважинах с использованием методов теории возмущений и итеративной регуляризации обратных задач математической физики.
- Мониторинг и интеллектуальное управление распределёнными энергетическими макро и микросетями на основе нелинейных интегральных эволюционных моделей, спектральных разложений нелинейных операторов, и использования методов машинного обучения. Алгоритмы оптимального накопления и балансирования энергии в локальных электросетях (микросети) с распределённым управлением, а также методы повышения их устойчивости.
- Оценка решений и исследование свойств устойчивости периодических дифференциальных и разностных включений с использованием функций Ляпунова. Эти результаты находят применение при анализе устойчивости сервомеханизмов, элементы которых работают на переменном токе, систем управления с амплитудно-частотной модуляцией, систем, используемых для решения задач, связанных с исследованием больших электроэнергетических систем при наличии вынужденных колебаний.

Лаб. № 82 образована в результате объединения коллективов сотрудников лаб. № 19 многосвязных систем и лаб. № 24 структурного анализа и прогнозирования состояния объектов. Обе эти лаборатории имеют долгую и славную историю.

Лаб. № 19 следящих электромагнитных систем была создана в 1957 г. В 1962 г. она была переименована в Лабораторию теории многосвязных систем. С 1962 по 1991 гг. ею руководил доктор технических наук, профессор Михаил Владимирович Мееров. С 1991 по 2005 гг. лабораторию возглавлял доктор физико-математических наук, профессор Владимир Николаевич Кулибанов, а с 2005 по 2019 гг. – кандидат технических наук, Атлас Валиевич Ахметзянов.

В первые годы существования лаборатория под руководством М.В. Меерова занималась вопросами построения высокоточных систем регулирования. Для учёта статистических свойств помех и параметров объекта в системах регулирования И.И. Перельман разработал теорию операторов прогнозирования выходной реакции. С середины 60-х годов О.И. Ларичев активно развивал методы построения многосвязных оптимальных систем управления.



**Михаил Владимирович
Мееров**

В работах В.Н. Кулибанова получили развитие методы построения замкнутых оптимальных систем управления на основе уравнения Беллмана и теории гиперболических уравнений в частных производных первого порядка. Для задач с фазовыми ограничениями Я.М. Берщанский предложил итеративный метод построения оптимального управления.

В 70-е – 80-е годы активно развивались методы и вычислительные алгоритмы решения линейных задач оптимизации для уравнений в частных производных параболического и эллиптического типа (М.Л. Литвак, М.В. Мееров). В это же время было предложено семейство эффективных алгоритмов для решения задач оптимизации на конечных множествах (О.Ю. Першин, О.А. Бабич, А.Б. Боронин). А.В. Черепяхин исследовал приближённые модели многосвязных систем с неустойчивым соотношением между входом и выходом и выделил новые множества равномерной регуляризации задачи определения сигнала на выходе многосвязного линейного объекта по приближённо известному входному сигналу. Полученные алгоритмы были использованы на ряде объектов нефтегазовой промышленности. М.Ю. Левит сформулировал и исследовал достаточные условия локальной и глобальной управляемости многосвязных систем, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями.

В 90-е годы был 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. Лаборатория установила сотрудничество и выполняла ряд договоров с крупными российскими нефтегазодобывающими компаниями: «Татнефть», «Севернефтегазпром», «Сургутнефтегаз» и др.



**Атлас Валиевич
Ахметзянов**

С середины 2000-х годов под руководством А.В. Ахметзянова проводились исследования 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. Были разработаны принципы декомпозиции многосеточной конечно-разностной или конечно-элементной аппроксимации пространства состояний в сочетании с различными вариантами расщепления сеточных операторов по физическим процессам и пространственным координатам.

В 2010-х годах совместно с лаб. № 6 началось развитие дифференциально-геометрических методов решения сингулярных задач моделирования и управления нелинейными, нестационарными многосвязными системами с распределёнными параметрами. В частности, исследовались распределения потоков газа в магистральных сетях газопроводов, образующих Единую систему газоснабжения (ЕСГ) России, и их движение от месторождений к промышленным и административным потребителям, включая экспорт за рубеж. Предложенный иерархический подход к решению задачи управления распределением и перераспределением потоков предназначен для решения задач диспетчерского управления с про-

гнозированием на всех уровнях принятия решений по критерию минимизации затрат на сбалансированный транспорт газа между источниками и потребителями.

Лаб. № 24 была организована в Институте в 1962 г. как Лаборатория магнитных и магнитно-полупроводниковых устройств систем автоматического управления и вычислительной техники. Её основателем и руководителем со дня создания до 1991 г. был доктор технических наук, профессор Моисей Аронович Розенблат. За время работы в Институте проблем управления им заложены фундаментальные принципы технической реализации магнитных усилителей и магнитно-полупроводниковых средств сбора, преобразования, обработки и хранения информации для информационных, автоматических управляющих и вычислительных систем. В этой области М.А. Розенблат создал отечественную научную школу. Его монографии стали настольными книгами специалистов, работающих в области технических средств информационных, управляющих и вычислительных систем.



**Моисей Аронович
Розенблат**

В 1991 г. заведующим лабораторией стал доктор технических наук, профессор Алексей Антонович Ромашёв. В лаборатории решались задачи, связанные с разработкой принципов проектирования унифицированных программируемых преобразователей для создания разнообразных типов интеллектуальных измерительных устройств нижнего уровня. Были предложены и исследованы алгоритмы и схмотехнические решения для измерения и преобразования сигналов, основанные на принципах инвариантности и обеспечивающие автоматический выбор диапазона измерения, учёт факторов влияния и индивидуальных характеристик канала измерения. П.П. Вороничев создал опытные образцы унифицированного малогабаритного микроконтроллера, предназначенного для встраивания в конструкции интеллектуальных датчиков. Под руководством Н.Э. Менгазетдинова разработаны принципы построения и методы технической реализации средств автоматики нижнего уровня, обеспечивающих измерение, преобразование, первичную обработку и передачу информации на верхние уровни систем контроля и управления. На основе результатов этих работ сотрудники лаборатории принимали участие в разработке верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС, которая была внедрена на АЭС «Бушер» в Иране и на отечественных АЭС нового поколения.

В период 1993–2000 гг. сотрудники лаборатории выполняли разработку, инжиниринг и внедрение АСУ ТП и АСКУЭ в химической, сахарной промышленности и энергетике, в том числе АСУ ТП продуктового цеха Каменского сахарного завода (1993–1994), АСУ ТП цеха по производству акриловых сополимеров АО «Пигмент», Тамбов (1994–1995) АСКУЭ крупного химического завода – АО «Сода», Стерлитамак (1996–1999), АСУ Центральной заводской лаборатории, АО «Машиностроительный завод», г. Электросталь (1997–2000).

В 2000-х годах были разработаны робастные H_2 -оптимальные алгоритмы настройки регуляторов заданной структуры, основанные на использовании робастной эталонной модели. Была решена проблема робастной оптимизации сложных ПИД-регуляторов на основе решения задач условной минимизации H_2 -нормы раз-

ности передаточных функций замкнутых настраиваемой и эталонной систем при ограничениях на H_∞ -норму передаточной функции настраиваемой системы в форме линейных матричных неравенств (И.Б. Ядыкин, М.М. Чайковский).



**Игорь Борисович
Ядыкин**

С 2006 по 2019 гг. лабораторией руководил доктор технических наук, профессор Игорь Борисович Ядыкин. В 2010 г. она стала называться Лабораторией структурного анализа и прогнозирования состояния объектов. В это время были начаты работы по исследованию спектральных свойств грамианов управляемости и наблюдаемости, которые привели к созданию нового научного направления в мониторинге и управлении устойчивостью сложных слабоустойчивых динамических систем. К таким системам относятся большие космические конструкции, современные гидравлические системы управления высотных зданий и крупные электроэнергетические системы. Были получены спектральные разложения для решений алгебраического и дискретного уравнений Ляпунова, а также для двучленного уравнения Сильвестра. Эти разложения были успешно применены для анализа устойчивости нормальных и предаварийных электро-

энергетических режимов. Спектральные разложения для решений непрерывного и дискретного уравнений Ляпунова были обобщены на более широкий класс решений матричных уравнений М.Г. Крейна. М.В. Морозовым 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.

С 2010 по 2012 гг. лаборатория принимала участие в разработке Концепции интеллектуальных энергетических систем с активно-адаптивной сетью по заказу ОАО «ФСК ЕЭС». В период 2008–2012 гг. лаборатория проводила исследования и выполняла координацию нескольких задач международного проекта Евросоюза и России «Интеллектуальная координация оперативного и противоаварийного управления электрическими сетями ЕС и России» в рамках Программы FP7 ICOEUR.

Совместно с лаб. № 17 был разработан действующий образец беспилотного летательного аппарата с функцией запуска из-под воды и создана опытная система управления и навигации для такого БПЛА.

В настоящее время объединённая лаб. № 82 сохраняет преемственность исследований, проводившихся ранее в лаб. №№ 19 и 24, и развивает их с учётом современных вычислительных методов и технологий моделирования.

Основные результаты сотрудников лаборатории за 5 лет

- Полученные ранее спектральные разложения грамианов управляемости и наблюдаемости для линейных систем были обобщены на случаи непрерывных и дискретных билинейных динамических систем в частотной и временной областях.
- Разработана новая концепция модального анализа по Ляпунову, объединяющая селективный модальный анализ и спектральные разложения функций Ля-

пунова, которые представляют квадрат L_2 -нормы возмущений в состояниях или сигналах. Этот подход позволяет анализировать устойчивость динамической системы «в малом» с точки зрения энергии возмущений, накапливаемой в переменных состояния во времени. Предложены модальные показатели, которые характеризуют устойчивость отдельных мод и резонансные модальные взаимодействия в линейных системах с меняющимися параметрами.

- Предложена методология объединения спектральных разложений грамианов дискретных моделей электроэнергетических систем с методами искусственного интеллекта и вейвлет-анализа с целью создания прогнозных моделей для оценки устойчивости систем электроснабжения. В рамках единого подхода объединены ассоциативный поиск, дискретное вейвлет-преобразование, обработка больших массивов данных технологических архивов, дискретные прогнозирующие модели и спектральные разложения их грамианов управляемости и наблюдаемости (совместно с Н.Н. Бахтадзе, лаб. № 41).
- Получены оценки экспоненциального вида для решений периодических однородных дифференциальных включений с асимптотически устойчивым множеством. Исследованы фундаментальные свойства решений и получен критерий устойчивости периодических разностных включений. Результаты могут найти применение при изучении следящих систем, которые работают на переменном токе, систем с амплитудно-частотной модуляцией, больших электроэнергетических систем при наличии вынужденных колебаний.
- Разработаны методы моделирования и управления фильтрационными потоками флюидов в неоднородных пористых средах резервуаров месторождений нефти и газа с учётом фазовых переходов, влияния капиллярных и гравитационных сил. В качестве управляющих воздействий для фильтрационного вытеснения нефти и газа из пор предложены различные варианты закачки физико-химических, тепловых и других активных реагентов в резервуары месторождений. Для идентификации параметров модели предложены методы итеративной регуляризации решений обратных задач во вложенных подпространствах пространства решений.
- Разработаны ударно-волновые способы воздействия на призабойные зоны скважин для ликвидации и предотвращения отложений ретроградного конденсата, газовых гидратов, а также других отложений, связанных с разрушением скелета породы и образованием твёрдых и высоковязких фракций углеводородов. Описаны и исследованы нелинейные математические модели пилообразных волн с периодическими ударными фронтами в неоднородной среде пласта. Исследованы эффекты самофокусировки волновых пучков, определяемые уравнением Хохлова-Заболоцкой.
- Предложены схемы оптимального размещения добывающих скважин и кустовых площадок, учитывающие экспертную информацию, эвристические правила расстановки скважин, геологическое строение пласта и результаты расчётов гидродинамических моделей. Решение задачи направлено на увеличение коэффициента извлечения углеводородов из продуктивных пластов. Разработаны схемы оптимального размещения скважин на подземном хранилище газа и эффективные алгоритмы их решения.

За 5 лет существования лаборатории её сотрудники участвовали в 5 грантах РФФИ и РФФИ, опубликовали более 40 статей в изданиях квартилей Q1/Q2 в базах данных *Web of Science* и *SJR*, в том числе в ведущих мировых и отечественных журналах по теории и практике управления (*Automatica*, *IEEE Transactions on Automatic Control*, *Systems Science and Control Engineering*, «Автоматика и телемеханика»), по прикладной математике (*Journal of Geometry and Physics*, *Analysis and Mathematical Physics*, *Mathematics*, *Inverse Problems in Science and Engineering*, *Journal of Imaging*, «Доклады РАН». «Математика»), по прикладным проблемам энергетики и геологии (*Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *Journal of Geophysical Research: Planets*, «Нефтяное хозяйство», «Физика Земли», «Доклады РАН. Науки о Земле»).

Сотрудники лаборатории участвуют в международных научных мероприятиях. И.Б. Ядыкин и А.Б. Исаков входят в Технический комитет Международной федерации автоматического управления (IFAC) по системам электроэнергетики, причём И.Б. Ядыкин является заместителем председателя этого комитета. А.В. Батов участвует в рабочей группе Миссии *NASA InSight* на Марс, которая является первой миссией в истории космонавтики, посвященной изучению глубин Марса.

Актуальная информация о научной деятельности лаборатории представлена на сайте <https://www.ipu.ru/structure/laboratories/lab82>



Лаборатория №82 в почти полном составе

ЛАБОРАТОРИЯ № 90

ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Лаборатория создана в 2021 г. Заведующим лабораторией был назначен доктор физико-математических наук Александр Владимирович Кузнецов. В составе лаборатории 21 сотрудник, из которых 8 – студенты старших курсов ВУЗов. В целом коллектив лаборатории достаточно молодой: 13 сотрудников моложе 39 лет.

Актуальность создания лаборатории связана с потребностью в поддержании конкурентоспособности агропромышленного комплекса России на мировом уровне, что требует постоянного внедрения в практику сельскохозяйственной деятельности инноваций, повышающих эффективность всех этапов процесса производства агропромышленной продукции.

Учитывая данную потребность, работа лаборатории направлена на фундаментальные и поисковые научные исследования в части разработки и применения: методов искусственного интеллекта, машинного зрения, анализа больших данных, теории управления, методов навигации и телемеханики для решения актуальных задач агропромышленного комплекса с целью повышения эффективности как крупных сельскохозяйственных холдингов, так и фермерских хозяйств.

Зарубежный и отечественный опыт последних лет показывает, что современные технологии распознавания образов, регрессионного анализа, поиска закономерностей в сочетании со средствами автоматизации на базе интеллектуальных робототехнических комплексов позволяют решать ряд актуальных задач контроля и прогнозирования состояния сельскохозяйственных культур, выявления аномалий поведения скота, автоматизации



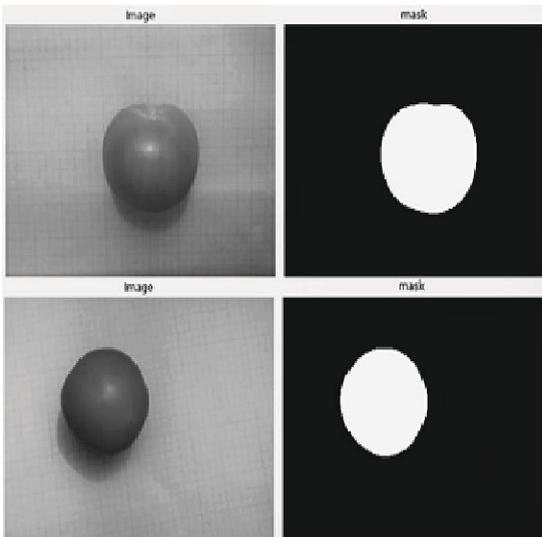
Зав. лаб. № 90
Александр Владимирович
Кузнецов



отдельных операций в растениеводстве. Адаптация этих технологий к нуждам отрасли и является целью лаборатории.

К приоритетным фундаментальным научным исследованиям, проводимыми в лаборатории, можно отнести следующие:

1. Разработка концепции цифровой платформы российского сельского хозяйства (ответственный исполнитель А.В. Кузнецов).
2. Разработка фундаментальных основ перспективных интеллектуальных систем управления и обработки информации в агропромышленном комплексе на основе адаптации актуальных теоретических и прикладных результатов современной науки (ответственный исполнитель С.И. Антипин).
3. Развитие и исследование технологий сетевидного управления группами гетерогенных мобильных роботов для мониторинга протяжённых объектов (ответственные исполнители А.В. Кузнецов, С.А.К. Диане).
4. Разработка технологий обучения и настройки нейронных сетей для визуального анализа информации, в том числе с применением средств виртуального моделирования в задачах мониторинга протяжённых объектов (ответственные исполнители А.В. Макаренко, С.А.К. Диане, Е.А. Лесив).
5. Разработка алгоритмов формирования полётных заданий БПЛА и визуального анализа аэрофотоснимков в задачах экологического мониторинга (ответственные исполнители С.А.К. Диане, Е.А. Лесив).



**Обработка технологий
визуального анализа изображений
в задачах сбора урожая**

По многим из перечисленных направлений ведется активное сотрудничество с лаб. №№ 17, 69, 77, 80 Института.

В целях проверки достоверности развиваемых научных методов в лаборатории осуществляется разработка тестового аппаратного обеспечения телеуправляемых и интеллектуальных автономных мобильных роботов для мониторинга протяжённых объектов. При этом особое внимание уделяется организации сетевидного взаимодействия между агентами гетерогенной робототехнической группировки.

В своей работе сотрудники лаборатории опираются на инфраструктуру ИПУ РАН и, в частности, на деятельность двух центров компетенций

Института: Центра интеллектуального цифрового сельского хозяйства и Центра технологий искусственного интеллекта.



**Отработка технологий управления
группами гетерогенных роботов**

В то же время прикладные научные исследования, проводимые в лаборатории, во многом соответствуют целям и задачам Белгородского Научно-образовательного центра (НОЦ) мирового уровня «Инновационные решения для АПК», так как поисковая часть базируется на проектах НОЦ, в которых ИПУ РАН участвует в качестве научного партнёра. В том числе по текущим и реализованным проектам:

1. Внедрение программно-аппаратного комплекса по мониторингу состояния животных на основе использования машинного обучения на пилотном участке ООО «Белгородский свинокомплекс».
2. Создание интеллектуального сервиса распознавания заболеваний зерновых культур на основе технологий машинного обучения и междисциплинарных знаний в составе цифровой платформы для сельскохозяйственных товаропроизводителей.
3. Создание системы обнаружения и анализа аномалий поведения КРС по видеоизображению на основе технологий машинного обучения и междисциплинарных знаний в составе цифровой платформы для сельскохозяйственных товаропроизводителей.
4. Модернизация системы машинного зрения для свинокомплекса за счёт создания тепловизионного канала наблюдения за животными и интеграции температурных данных с видеоданными.
5. Создание сервиса автоматизированного распознавания патологий копыт крупного рогатого скота.
6. Разработка и создание прототипа роботизированного мобильного комплекса мониторинга состояний кур-несушек для птицефабрики промышленного типа.

В рамках проводимых исследований по построению концептуальных основ методологии создания национальной цифровой платформы для российского АПК

предложен гибридный подход с интеграцией различных методов проектирования, зарекомендовавших себя в мировой практике.

Основная идея в разработке архитектуры цифровой платформы, опирается на ключевые положения стратегического планирования и системного анализа. При интеграции использовался специальная конвергентная методология, разработанная д.т.н., проф. А.Н. Райковым, обеспечивающая необходимые условия для сходимости процесса проектирования и дальнейшего применения цифровой платформы в интересах развития сельского хозяйства страны.

Следует отметить, что наряду с научно-исследовательской деятельностью сотрудники лаборатории ведут активную научно-организационную и научно-образовательную работу, являясь руководителями бакалавров, магистров и аспирантов технических направлений подготовки по технологической практике и выпускным квалификационным работам.

Летопись становления и развития 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: д.т.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».
2020 г.	Руководитель: д.т.н. А.В. Балабанов.

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 № 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.
2021 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 18.

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.
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
2019 г.	В лабораторию перешла часть сотрудников лаб. № 19
2023 г.	Переименована в лабораторию «Управления сплошными средами» 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 нанoeлектронных 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.
2019 г.	Руководитель – д.ф.-м.н. Л.Ю. Жиликова.
2022 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 70.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Сетевых моделей в нейроинформатике и многоагентных системах».

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.
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.
2023 г.	Руководитель д.т.н., проф. В.А. Уткин.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Нелинейных систем 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.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Эргатических систем».

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. Толоч.

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.
2023 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники, в основном, переведены в лабораторию № 82.

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.
2019 г.	Руководитель: к.т.н. И.В. Чернов.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Сценарного управления».

Лаборатория № 21

1955 г.	Образована лаборатория «Автоматического регулирования». Руководитель: д.т.н. М.А. Айзерман.
–	Выведена из структуры Института.
1961 г.	Образована лаборатория «Теории самонастраивающихся и самообучающихся систем». Руководитель: –д.т.н., проф. А.А. Фельдбаум.

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».
2019 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 38.

Лаборатория № 22

1964 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория «Систем с переменной структурой» Руководитель: д.т.н. (позднее академик АН СССР) С.В. Емельянов.
1974 г.	Переименована в лабораторию «Систем управления с переменной структурой».
1974 г.	Руководитель: д.т.н. В.И. Уткин.
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».
2022 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 46.

Лаборатория № 23

1964 г.	Образована лаборатория «Ядерных и квантовых информационных устройств». Руководитель: д.т.н. Г.П. Катус.
1972 г.	Выведена из структуры Института.

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. Ромащёв.
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».
2023 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники, в основном, переведены в лабораторию № 82.

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 многоагентных систем». Руководитель: д.ф.-м.н. П.Ю. Чеботарёв.
2017 г.	Присоединены лаборатории №№ 44 и 55.
2024 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. Д.А. Губанов.

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. Анушвили.
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: к.т.н., а впоследствии 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.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Надёжности, диагностики и отказоустойчивости».
2023 г.	Руководитель: д.т.н. Л.Ю. Филимонюк.

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.
2022 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники, в основном, переведены в лаборатории №№ 11, 46 и 90.

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».
2020 г.	Выведена из структуры Института. Сотрудники переведены в лабораторию № 41.

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.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Распределённых информационных, 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 тех-

	нологий 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».
2020 г.	Руководитель: д.т.н. О.И. Дранко.
2023 г.	Переименована в лабораторию «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

1973 г.	Образована лаборатория «Средств и методов оптимизации технических средств». 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 и 40.

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. (с 2019 г. – д.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.
2019 г.	Присоединена лаб. № 21.

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. Пащенко.
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

1968 г.	Образована лаборатория «Идентификации объектов управления». Руководитель: д.т.н. Н.С. Райбман.
1977 г.	Группа сотрудников из лаборатории № 18 во главе с к.т.н. Я.С. Масальским переведена в лабораторию № 41.
1980 г.	Руководитель: д.т.н. В.А. Лотоцкий.
2007 г.	Руководитель: 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.
2020 г..	Присоединена лаборатория № 30.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Идентификации систем управления» им. Н.С. Райбмана.

Лаборатория № 42

1968 г.	Из группы сотрудников лаборатории № 1 образована лаборатория «Самонастраивающихся управляющих систем». Руководитель: д.т.н. В.Ю. Рутковский.
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.
2019 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. А.В. Арутюнов.

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.
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».
2021 г.	Руководитель: д.т.н. Г.С. Вересников.
2022 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 22.

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.
2021 г.	Руководитель: к.т.н. А.А. Рошин.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Инфраструктурных систем».

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 лаборатории №№ 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 лаборатории №№ 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 нанoeлектронных 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. Алескеров.

2004 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 52.
2017 г.	Присоединена группа сотрудников из лаборатории № 51.
2020 г.	Руководитель: д.ф.-м.н. А.Г. Чхартишвили.

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. Бугковский.
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
2023 г.	Переименована в лабораторию «Телекоммуникационных систем».

Лаборатория № 70

2015 г.	Из группы сотрудников из лаборатории № 25 образована лаборатория «Математических методов анализа многоагентных систем». Руководитель: д.ф.-м.н. П.Ю. Чеботарёв.
2022 г.	Выведена из структуры Института. Группа сотрудников переведена в лабораторию № 11.

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.
2018 г.	Руководитель: д.т.н. А.О. Калашников.
2023 г.	Переименована в лабораторию «Безопасности сложных систем».

Лаборатория № 80

2018 г.	Образована лаборатория «Киберфизических систем». Руководитель: д.т.н. Р.В. Мещеряков.
---------	---

Лаборатория № 81

2019 г.	Образована лаборатория «Управления общественным здоровьем». Руководитель: д.м.н. Д.О. Мешков.
---------	---

Лаборатория № 82

2019 г.	Образована лаборатория «Моделирования и управления большими системами». Руководитель: к.ф.-м.н. А.Б. Исаков.
---------	--

Лаборатория № 90

2018 г.	Образована лаборатория «Цифровых систем управления в агропромышленном комплексе». Руководитель: д.ф.-м.н. А.В. Кузнецов.
---------	--

Информационное издание

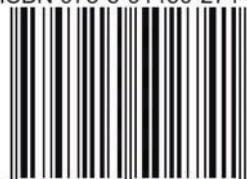
**Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук: лаборатории**

Под редакцией академика РАН Д.А. Новикова

Подписано в печать 01.04.2024
Формат 70×100/16. Усл. печ. л. 17,74
Тираж 300 экз. Заказ 56

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук
117997, Россия, Москва,
ул. Профсоюзная, д. 65
www.ipu.ru

ISBN 978-5-91450-274-1



9 785914 502741