



70 лет  
ИПУ РАН

## СЕМЬДЕСЯТ ЛЕТ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКИ УПРАВЛЕНИЯ: ИНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ – 70 ЛЕТ

В 1939 г. Совнарком СССР принимает решение об организации в составе Отделения технических наук АН СССР Института автоматики и телемеханики (на базе существовавшей с 1934 г. Комиссии по телемеханике и автоматике). Первым директором Института был назначен бывший военный лётчик, а к тому времени выдающийся учёный в области авиационной энергетики академик Виктор Сергеевич Кулебакин. Перед Институтом стояла задача развернуть фундаментальные исследования в области автоматики и управления, связав их с решением практических задач. С самого начала существования Института его деятельность связана с такими известными всему миру именами учёных, как В.С. Кулебакин, Н.Н. Лузин, А.А. Андронов, Б.Н. Петров, М.А. Айзерман, Я.З. Цыпкин, Б.С. Сотсков, М.А. Гаврилов, А.А. Фельдбаум и многие другие.

Ряд выдающихся учёных — теоретиков и прикладников науки об управлении — выросли или получили мировую известность в стенах Института. Наряду с этим, к работам Института всегда привлекались крупные учёные, которых интересовала новая область знаний. Они привносили в Институт собственный опыт постановки научных проблем и поиска путей их решения, способствовали созданию в Институте особой творческой атмосферы, оказывая важнейшее влияние на формирование этических принципов общения в научном коллективе. Именно выдающиеся учёные с мировыми именами оказали огромную помощь в установлении профессиональных контактов Института с международным научным сообществом. Как результат, наша страна стала одним из инициаторов создания Международной федерации по

автоматическому управлению — ИФАК и организатором I Всемирного конгресса ИФАК, который состоялся в Москве в 1960 году.

В момент создания Института в его составе было 22 сотрудника, и в том числе Б.Н. Петров (будущий академик и вице-президент АН СССР, руководивший Институтом позднее, в 1947—1951 гг.), М.А. Гаврилов (будущий член-корреспондент АН СССР), Н.Н. Шумиловский (будущий академик Киргизской академии наук), профессора В.А. Лоссиевский, Г.В. Щипанов и др. Вскоре в штат Института был принят выдающийся математик академик Н.Н. Лузин, который — как впоследствии и академик А.А. Андронов — стал воспитателем целой плеяды блестящих учёных-теоретиков в области управления.

Предвоенные годы жизни Института отмечены значительными продвижениями в области описания систем управления с помощью дифференциальных уравнений и дискуссией по «условиям компенсации» Г.В. Щипанова, при выполнении которых, как утверждал их автор, система автоматического регулирования перестаёт реагировать на приложенные к ней внешние возмущения. Эта дискуссия велась на страницах не только научных изданий, но и центральной партийной прессы. Фактически, условия Щипанова были предтечей того, что впоследствии стало теорией инвариантности, развитой В.С. Кулебакиным, Н.Н. Лузиным и Б.Н. Петровым. Г.В. Щипанов умер в 1953 г., а его научная «реабилитация» состоялась в 1960 г., когда комиссия в составе академиков А.А. Дородницына, А.Ю. Ишлинского и Б.Н. Петрова подтвердила научную значимость его открытия (формально «условия компенсации Г.В. Щипанова» были



признаны открытием в 1966 г. с приоритетом от апреля 1939 г.).

В годы войны Институт работает на интересы фронта, армии, а ряд его будущих научных корифеев (М.А. Айзерман, П.П. Пархоменко, Я.З. Цыпкин и др.) с оружием в руках защищают Родину. Среди важнейших результатов исследований ученых-исследователей, направленных на повышение боеспособности Советской Армии во время Великой Отечественной войны, нельзя не отметить работы по борьбе с неконтактным минно-торпедным оружием, проводившиеся под руководством будущего члена-корреспондента АН СССР Б.С. Сотскова, и работы по автоматизации контроля качества при производстве патронных гильз крупного калибра, которые велись тогда молодым инженером Б.Н. Петровым под руководством будущего академика В.А. Трапезникова, возглавлявшего Институт в 1951—1987 гг. Группа под руководством М.А. Гаврилова занималась на военном заводе наладкой релейной аппаратуры и разрабатывала способы борьбы с помехами в системах управления подвижными объектами.

После войны в Институт приходит академик А.А. Андронов и организует знаменитый Андроновский семинар, через который проходит почти всё послевоенное поколение научных лидеров Института автоматики и телемеханики (М.А. Айзерман, А.Я. Лернер, М.В. Мееров, В.В. Петров, В.В. Солодовников, Я.З. Цыпкин, А.А. Фельдбаум и многие другие). В 1969 г. Президиум Академии наук СССР учредил премию им. А.А. Андропова, одними из первых лауреатов которой стали А.Г. Бутковский и ученик Андропова М.В. Мееров.

Наиболее выдающимися достижениями Института в 1940 — 1950-е гг. становятся:

- разработка математического аппарата алгебры логики для описания, анализа и синтеза релейно-контактных схем (М.А. Гаврилов);
- разработка общей теории линейных систем регулирования (В.С. Кулебакин, Б.Н. Петров, В.В. Солодовников, Я.З. Цыпкин, М.А. Айзерман, М.В. Мееров и др.);
- развитие теории нелинейных систем управления, в том числе метода точечных преобразований, теории абсолютной устойчивости и теории релейных систем (В.В. Петров, Г.М. Уланов, А.А. Фельдбаум, М.А. Айзерман, Я.З. Цыпкин);
- теория аналитического конструирования регуляторов (А.М. Лётов);
- разработка общих методов исследования дискретных систем автоматического регулирования (Я.З. Цыпкин);
- разработка основ теории оптимального управления (А.А. Фельдбаум, А.Я. Лернер и, впоследствии, А.Г. Бутковский, В.Ф. Кротов);

- разработка теории дуального управления (А.А. Фельдбаум);
- создание первой отечественной серии аналоговых вычислительных машин (Б.Я. Коган, В.А. Трапезников и др.);
- создание принципиально новых чувствительных элементов, датчиков и приборов (Б.С. Сотсков, Д.И. Агейкин, М.А. Розенблат, Е.К. Круг и др.).

В начале 1950-х гг. по просьбе С.П. Королева и В.П. Глушко в Институте были начаты работы по управлению жидкостными ракетными двигателями для первой в мире межконтинентальной ракеты Р-7. Руководил работами Б.Н. Петров. Уже к 1953 г. были получены первые результаты по решению задачи управления расходом топлива, проектированию системы опорожнения баков, системы регулирования кажущейся скорости, рассмотрены возможные типы исполнительных механизмов в системах управления ракетой (Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, В.В. Петров, Г.М. Уланов, С.В. Емельянов, В.Ю. Рутковский, И.Н. Крутова и др.). В дальнейшем эти результаты были развиты и предложены принципы построения и теория систем управления жидкостными ракетными двигателями (Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Н. Чацкий, В.Н. Марков и др.).

В связи с разработкой систем регулирования опорожнения баков и синхронизации расхода топлива была создана теория бортовых терминальных систем управления (Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов и др.).

В 1980-е гг. была завершена разработка общей концепции совершенствования энергетических характеристик ракет-носителей средствами управления (Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов и др.).

Системы управления, созданные на основе выполненных Институту работ, являются в настоящее время составной частью всех крупных жидкостных ракет разработки главных конструкторов С.П. Королева, М.К. Янгеля, В.Н. Челомея, В.Ф. Уткина.

Начиная с середины 1950-х гг., в Институте начала развиваться теория управления деформируемыми космическими аппаратами (спутники с большими панелями солнечных батарей, с выносными радиоантеннами и др.). Были предложены модально-физическая форма математической модели, амплитудный и фазовый принципы демпфирования упругих колебаний конструкций объекта, метод фазовой биплоскости для синтеза алгоритмов управления (В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов).

В последние годы решена проблема совместного оценивания координат «жесткого» и упругого движений деформируемого космического аппарата (В.А. Суханов, Т.В. Ермилова, А.С. Ермилов и др.). Предложены алгоритмы управления, использующие элементы интеллектуальной диагностики со-

стояния упругого объекта, алгоритмы адаптации с использованием нечеткой логики (В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов, И.Н. Крутова, В.М. Глумов и др.).

В конце 1950-х гг. были начаты работы по теории адаптивных систем с моделью (Б.Н. Петров, В.Ю. Рутковский, И.Н. Крутова, С.Д. Земляков, Б.В. Павлов, И.Б. Ядыкин и др.). Были предложены принципы построения таких систем, линеаризованные модели систем, «ляпуновские» алгоритмы адаптации, введено понятие «обобщенного» объекта и синтез его структуры на основе теории инвариантности.

В дальнейшем полученные результаты были обобщены и на их основе разработаны теория адаптивного координатно-параметрического управления, теория настраиваемой работоспособности, концепция восстанавливаемой функциональной работоспособности и настраиваемой стратегии управления, развивается теория оптимальных адаптивных регуляторов. На основе теории адаптивного координатно-параметрического управления впервые в СССР были разработаны адаптивные системы управления рядом важнейших типов летательных аппаратов.

В 1980 г. Академия наук СССР учредила Золотую медаль им. Б.Н. Петрова (с 1993 г. — Премия им. Б.Н. Петрова). Первую золотую медаль им. Б.Н. Петрова в 1983 г. получил В.Ю. Рутковский. В 2004 г. премии им. Б.Н. Петрова удостоены Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко и В.П. Иванов, в 2007 г. — В.В. Кульба, Б.В. Павлов и чл.-корр. РАН Е.А. Микрин (РКК «Энергия»).

Будущий академик Я.З. Цыпкин развил общую теорию адаптивных систем, которая стала естественным продолжением теории дуального управления А.А. Фельдбаума и впоследствии дала начало теории робастных систем, основы которой были заложены Я.З. Цыпкиным и развиваемой сегодня в лаборатории им. Я.З. Цыпкина под руководством Б.Т. Поляка. Дело в том, что в классической теории обычно предполагается, что модель системы известна или оценивается в процессе идентификации. Между тем, в реальных задачах все 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 изучаются и важные проблемы синтеза (робастное управление). Для решения трудных задач робастного управления оказались полезными понятие сверхустойчивости (достаточное условие устойчивости, формулируемое в терминах линейных условий на элементы системной матрицы), вероятностный подход, численные методы. Очень удобным аппаратом, приспособленным к реше-

нию современных задач анализа и синтеза робастных систем, явилась классическая теория D-разбиения, развитая на новом уровне в работах сотрудников лаборатории.

Академиком В.С. Пугачёвым и его учениками была создана общая теория управления стохастическими системами. Это связано с тем, что по мере развития теории автоматического управления был постепенно осознан тот факт, что классические методы этой теории недостаточны для расчета сложных автоматических систем, работающих в условиях случайных воздействий. Естественным шагом в развитии теории систем и процессов управления стало привлечение вероятностных методов, позволяющих учитывать влияние различного рода случайных возмущений и помех на работу автоматических систем и их элементов. В результате в рамках общей теории процессов управления оформилось важное направление — стохастическая теория процессов управления, широко использующая методы теории вероятностей и математической статистики. Работы Института в области стохастических проблем управления дали мощный толчок ее интенсивному развитию, существенно обогатили ее и привели к появлению и развитию новых разделов.

Важным направлением исследований в Институте стала теория статистически оптимальных систем, в рамках которой были разработаны методы синтеза оптимальных нестационарных и нелинейных систем (В.С. Пугачев, Л.П. Сысоев), новые эффективные методы нелинейной фильтрации и экстраполяции случайных процессов (Р.Ш. Липцер, А.Н. Ширяев, В.С. Пугачев), методы статистической оптимизации по различным критериям качества (Н.И. Андреев). В Институте были разработаны эффективные приближенные методы расчета и анализа точности многомерных нелинейных систем, подвергающихся случайным воздействиям (М.Л. Дашевский, Р.Ш. Липцер). Была создана статистическая теория обучения и самообучения автоматических систем, функционирующих в условиях неполной информации (В.С. Пугачев), заложены основы общей теории стохастических систем (В.С. Пугачев, И.Н. Сеницын). Для последнего периода развития стохастической теории управления характерен большой интерес к синтезу автоматических систем в условиях параметрической и непараметрической неопределенности. Были разработаны основы теории устойчивого непараметрического оценивания функционалов от неизвестных распределений и на ее основе создана теория непараметрического оценивания случайных процессов с неизвестными вероятностными характеристиками (А.В. Добровидов, Г.М. Кошкин, В.А. Васильев).

Один из учеников В.С. Пугачёва, Н.С. Райбман, приложил немалые усилия, чтобы методы

построения математических моделей объектов управления по экспериментальным статистическим данным и теория идентификации стали эффективными инструментами разработчиков систем управления различными народно-хозяйственными объектами (С.А. Власов, В.А. Лотоцкий, А.С. Мандель, В.М. Чадеев).

Работы по стохастическому робастному управлению для линейных дискретных стационарных систем были начаты в Институте в 1992 г. как развитие идей  $H_\infty$ -теории управления, активно обсуждавшихся в период 1991—1992 гг. на семинаре под руководством А.С. Позняка. В соавторстве с И.Г. Владимировым (ИППИ РАН) и А.В. Семеновым (ГосНИИАС) А.П. Курдюковым была создана теория построения стохастических систем управления, робастных относительно характеристик случайного входного возмущения.

Построенная теория была названа авторами анизотропией теории управления (анизотропия — термин, характеризующий неоднородность свойств по направлениям), так как в основе этой теории лежит понятие анизотропии сигнала. Анизотропией сигнала является характеристика отклонения вероятностного распределения многомерного входного сигнала от многомерного сигнала, распределенного по нормальному закону с нулевым средним и скалярной ковариационной матрицей, в некотором смысле являющегося изотропным. Анизотропная теория управления занимает промежуточное место между теорией построения линейно-квадратичных гауссовских регуляторов и  $H_\infty$ -теорией управления. Более того, обе эти теории являются частными случаями анизотропной теории и получаются при стремлении анизотропии, соответственно, к нулю и к бесконечности.

Анизотропная теория сочетает преимущества упомянутых выше теорий, позволяет строить регуляторы, менее консервативные, чем  $H_\infty$ -регуляторы, и более робастные, чем квадратично-квадратично гауссовские регуляторы. Построенная теория показала свою состоятельность в приложении к построению регуляторов для посадки самолета в условиях неконтролируемых возмущений.

В 1957 г. будущий академик С.В. Емельянов впервые в мировой практике предложил использовать неустойчивые движения и неустойчивые структуры для улучшения качества переходных процессов в системах автоматического управления. В 1960-х гг. С.В. Емельяновым и его школой эта идея была развита, в результате чего была создана теория систем с переменной структурой. В классе систем с переменной структурой эффективно решались актуальные задачи теории управления, в том числе: стабилизация существенно неопределенных систем; построение системы слежения, обладающей высоким порядком астатизма; фильтра-

ция и дифференцирование при неизвестной интенсивности шума и др.

С начала 1960-х гг. по инициативе А.А. Фельдбаума и М.А. Айзермана в Институте начались интенсивные исследования по теории распознавания образов, автоматической классификации, самообучающимся системам, методам обработки сложноорганизованных данных. Здесь необходимо отметить фундаментальные работы, проводившиеся в ряде лабораторий: Я.З. Цыпкина и Г.К. Кельманса; М.А. Айзермана, Э.М. Бравермана, Л.И. Розоноэра и Б.М. Литвакова; В.Н. Вапника и А.Я. Червоненкиса; А.А. Дорофеюка, И.Б. Мучника и Е.В. Баумана.

Институт является пионером и основоположником признанного во всем мире широкого научного направления — «Оптимальное управление системами с распределенными параметрами (СРП)» (А.Г. Бутковский). Только перечисление важных научных, технических и технологических приложений этой дисциплины, в которых участвовал Институт, займет довольно много места: это металлургия, химия, машиностроение, космические объекты, экономика и др.

В теоретическом отношении проблемы оптимального управления СРП связаны с дифференциальными уравнениями с частными производными и с запаздыванием, интегральными и интегро-дифференциальными уравнениями, функциональными уравнениями и рядом других математических дисциплин, например, таких как теория чисел, фракталы и др. С физической точки зрения эти проблемы связаны с управлением полями и сплошными средами различной, в том числе, неклассической природы.

Сейчас в мире насчитывается много тысяч публикаций, посвященных этому научному и прикладному направлению. В Институте на эту тему написано более десяти монографий. Восемь из них переизданы в США, Великобритании, Голландии, Финляндии. Нужно отметить монографию «Управление квантово-механическими системами», написанную в Институте в 1984 г. на основе статей от 1979 г., которая переиздана на Западе и признана в мире как пионерская в этой области. Эта проблема представляется сейчас как ключевая в области современных нанотехнологий.

Математическая специфика направления исследований Института под руководством В.Ф. Кротова сводится к формулировке условий глобальной оптимальности управления динамическими системами и созданию основанного на них аппарата решения соответствующих задач. Всё начиналось с создания и изучения этого аппарата для детерминированных динамических систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями. Затем полученные первоначально результаты были обобщены, с одной сто-

роны, «вглубь» — в направлении их смыкания с необходимыми условиями минимума функционалов вариационного исчисления и теории оптимального управления — вплоть до получения единственных необходимых и достаточных условий, а с другой — «вширь» и распространены на новые классы задач с распределёнными параметрами, с неполной информацией и т. д.

Уравнения теории оптимального управления крайне сложны, и их решение сопряжено со многими вычислительными проблемами, составляющими предмет прикладной части теории оптимального управления — вычислительных методов синтеза допустимого и оптимального управлений. Были разработаны новые эффективные универсальные методы последовательного улучшения управления, опирающиеся на указанные идеи и подкреплённые вычислительным опытом и соответствующими программными средствами.

Это направление математической теории оптимального управления разрабатывается в сотрудничестве с рядом научных коллективов РАН и университетов России, стран СНГ и дальнего зарубежья (Германия, США, Израиль и др.). В комплексе выполняемых исследований в рамках этого интересующего весь мир научного направления Институт играет ведущую роль. Интерес к этим работам отражён в многочисленных монографиях, учебниках, обзорах и статьях, в которых развиваются и излагаются соответствующие результаты. Подробный анализ результатов исследований по данному направлению и его приложениям содержится в монографии В.Ф. Кротова «Global Methods in Optimal Control Theory», Marcel Dekker Inc., 1996, New-York, Basel.

Полученные математические результаты применялись для исследования следующих прикладных научно-технических проблем:

- (1) оптимизация траекторий движущихся объектов, анализ и синтез их систем управления;
- (2) моделирование и анализ развития многоотраслевой экономики;
- (3) синтез и оптимизация управления квантовым состоянием вещества.

Из проблем класса (1) выделим задачи оптимального управления манёврами летательного аппарата в атмосфере Земли при помощи программного изменения тяги двигателя и угла атаки. Расчёты этих манёвров постоянно воспроизводятся в инженерной практике применительно к различным классам летательных аппаратов — от космических аппаратов до самолётов. Имеется большое число публикаций по решению этих задач с помощью уравнений принципа максимума и других способов локальной оптимизации. Предлагаемые подходы отличаются от других известных в литературе тем, что решают проблему отыскания абсолютного оптимума, а также продвинутостью ана-

литической части решения, алгоритмической простотой и, в частности, отсутствием краевых задач.

В рамках прикладного направления (2) проведено исследование нелинейных оптимизационных моделей развития многоотраслевой экономики.

Особый интерес представляет прикладное направление (3). В настоящее время существует обширная и бурно развивающаяся область новых физических технологий, базирующихся на управлении квантовым состоянием вещества путём воздействия на него электромагнитного поля. Среди них — синтез новых материалов при помощи физических средств (вместо химических), разделение изотопов, фотохимия и др. Математический алгоритм синтеза подобного управления является важнейшей частью проектирования этих нанотехнологий.

По общему мнению физиков, адекватным аппаратом для осуществления подобного синтеза являются методы теории оптимального управления. Соответствующие задачи описываются системами нелинейных дифференциальных уравнений, имеющими порядки в несколько тысяч. Были проведены исследования решений таких задач с помощью разработанных под руководством В.Ф. Кротова методов последовательного улучшения. Публикация этих методов породила в 1990-е гг. волну исследований специалистов-физиков и соответствующих публикаций в ведущих мировых физических и физико-химических журналах. Во всех этих публикациях делался вывод о том, что методы, разработанные в Институте, являются наилучшим способом решения соответствующих задач. Последняя такая статья опубликована в 2008 г. в журнале «Physical Review».

В конце 1960-х гг., под руководством М.В. Мерова в Институте были начаты фундаментальные исследования, связанные с проблемами построения оптимальных многосвязных систем управления (будущий академик О.И. Ларичев, В.Н. Кулибанов, Я.М. Берщанский, Р.Т. Янушевский), в частности, с использованием условий А.А. Милютина и А.Я. Дубовицкого, принципов оптимальности Р. Беллмана и принципа максимума Л.С. Понтрягина. Полученные результаты послужили основой для разработки методов и алгоритмов построения систем оптимального динамического управления гидродинамическими процессами фильтрации при разработке нефтяных месторождений.

В 2000-е гг. были начаты фундаментальные исследования проблем моделирования и управления нелинейными динамическими многосвязными системами большой размерности (А.В. Ахметзянов, В.Н. Кулибанов). В результате были получены результаты, подтверждающие необходимость разработки новых принципов моделирования и оптимального управления процессами, учитывающих

структурные и физические особенности пространства состояний, свойства движущихся субстанций, характер допустимых управляющих воздействий.

Огромную роль в формировании у коллектива сотрудников Института вкуса к решению сложных и комплексных проблем управления важнейшими народно-хозяйственными объектами сыграли работы по Проекту 705 — созданию первой в мире комплексно автоматизированной атомной подводной лодки (АПЛ). Все работы по новой АПЛ возглавил академик А.П. Александров, по автоматизации — академик В.А. Трапезников. Впоследствии эти работы нашли продолжение при создании и совершенствовании систем управления атомными ледоколами («Арктика», «Сибирь»), а также новой серии крупнотоннажных танкеров и контейнеровозов и на порядок изменили представления моряков о требованиях к надёжности комплектующих элементов. В процессе реализации Проекта 705 было понято, что важнейшую роль в повышении эффективности решения боевых задач, особенно в экстремальных ситуациях, играет человеческий фактор (в то время до 70 % аварийных ситуаций возникали по вине человека-оператора). Была создана специальная группа во главе с Д.И. Агейкиным, разработкой которой, в том числе полунатурных стендов-тренажёров, методик профессионального отбора операторов, выбора технических средств визуализации и характера представления информации, позволили на порядок поднять эффективность и надёжность работы человека-оператора и групп операторов (боевых расчётов) при одновременном резком (втрое) сокращении численности личного состава АПЛ. И ещё многие другие идеи, программы и целые направления были разработаны впервые, а некоторые из них не потеряли актуальности и активно используются до сих пор.

Другой пример комплексной работы такого рода — Проект «Запчасть», направленный на решение проблемы обеспечения народного хозяйства СССР запасными частями к разнообразной технике и оборудованию, в том числе двойного назначения. Работа выполнялась группой сотрудников Института под руководством А.А. Дорофеюка в 1971—1975 гг. Огромную роль в её успешном выполнении сыграл В.А. Трапезников, который как первый заместитель Председателя ГКНТ сумел привлечь внимание к этой работе А.Н. Косыгина, Д.С. Полянского (в то время первый зам. Председателя Совета министров СССР), первых руководителей нескольких союзных республик и крупных регионов РСФСР.

В 1960-е гг. начались и продолжают и поныне работы в области создания автоматизированных информационно-управляющих систем (А.Ф. Волков, А.Г. Мамиконов, В.В. Кульба, А.Д. Цвиркун, О.И. Авен, В.Л. Эпштейн и др.). Первыми приме-

рами таких систем стали АСУ «Металл» (автоматизированная система управления поставками металлопродукции в стране), АСУ «Морфлот», АСУ «Обмен» и др.

Огромную роль в автоматизации процессов массового обслуживания сыграла разработанная для Аэрофлота в конце 1960-х—начале 1970-х гг. АСУ «Сирена» бронирования мест и продажи билетов (Генеральным конструктором «Сирены» решением Совета Министров СССР был назначен В.А. Жожикашвили). Немалую роль во внедрении разрабатывавшихся методов автоматизации сыграл В.А. Кучерук.

В середине 1980-х гг. было положено начало работам по исследованию вопросов управления безопасностью сложных систем (В.В. Кульба, А.Я. Андриенко, В.Н. Бурков, Б.Г. Волик, В.Г. Лебедев, Ю.С. Легович и др.). Работы эти продолжаются и поныне. Из полученных результатов наиболее серьезные связаны с решением проблем информационной безопасности и управлением безопасностью в условиях чрезвычайных ситуаций.

Хорошо известны фундаментальные достижения Института и в области теории надёжности (Б.С. Сотсков, Б.Г. Волик, С.М. Доманицкий, И.Е. Декабрун, Б.П. Петрухин) и технической диагностики (П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, М.Ф. Каравай и др.).

Широким фронтом велись и продолжают сегодня разработки новых технических средств и систем автоматизации, активным участником которых был академик Академии наук Грузии И.В. Прангишвили, возглавлявший Институт в 1987—2006 гг. В начале 1960-х гг. в микроэлектронике была выдвинута концепция однородных микроэлектронных логических и вычислительных структур. Концепция создавалась под руководством И.В. Прангишвили. На базе этой концепции в Институте были разработаны многопроцессорные вычислительные системы серии ПС (ПС-2000 и ПС-3000). По производительности комплексы ПС были соизмеримы с самыми мощными отечественными вычислительными системами соответствующих классов. Эти комплексы обладали наилучшими значениями соотношения производительность/стоимость.

Выдвинутая ещё в 1950-е гг. Б.С. Сотсковым идея унификации средств автоматизации технологических процессов с помощью блочно-модульного принципа их построения легла в основу агрегатной унифицированной системы приборов. В последующие годы развитием этой идеи стали Государственные системы промышленных приборов и средств автоматизации ГСП-1 (1960—1970-е гг.) и ГСП-2 (1980—1990-е гг.).

Огромные продвижения были достигнуты в части создания новых принципов построения датчиков и измерительных приборов (Д.И. Агейкин,

В.Ю. Кнеллер и др.), магнитных и полупроводниковых элементов (М.А. Розенблат, Н.П. Васильева и др.), средств автоматического анализа (система БАРС) и релейных устройств (М.А. Гаврилов, П.П. Пархоменко и др.), элементов пневмоавтоматики (М.А. Айзерман, А.А. Таль, А.А. Тагаевская, Т.К. Берендс и Т.К. Ефремова). Сегодня многие из этих работ находят свои продолжения в форме создания: современных магнитных элементов с применением нанотехнологий (С.И. Касаткин), средств струйной техники (А.М. Касимов), радиоволновых датчиков (Б.В. Лункин).

Под руководством А.М. Касимова разработана агрегатно-интегральная струйная техника (АИСТ), предназначенная для управления параметрами авиационных двигателей на воздухе от воздушной турбины с температурой до 500 °С (в отдельных случаях до 950 °С) при вибрациях, ударах и широком спектре источников радиации. На основе разработок Института ОАО «Омское МКБ» и Московское ОАО «ЭГА» выпускают струйные регуляторы направляющего аппарата, компрессора и др. (более 20 регуляторов), которые эксплуатируются на самолетах ЯК-42, ИЛ-86, ИЛ-96, «Руслан», АН-70, Ту-204 и др. За последние 20 лет струйные регуляторы наработали в полете без отказов более 20 млн. ч.

В лаборатории волновых методов и средств получения информации под руководством Б.В. Лункина разрабатываются теория построения радиоволновых датчиков и ее приложения для решения задач измерения параметров и распознавания состояния объектов контроля и управления. Датчик включает в себя электродинамическую систему, служащую чувствительным элементом, и электронные средства формирования и преобразования первичной информации. Структура чувствительного элемента определяется контролируемым объектом, измеряемой величиной, условиями окружающей среды. Разработаны принципы построения датчиков различных параметров, созданы основы теории инвариантных измерений и теории построения датчиков запасов топлив в условиях невесомости, которые, в частности, нашли при непосредственном участии лаборатории применение в серийном освоении ряда информационно-измерительных систем для ракетно-космических комплексов.

В 1970-е гг. были созданы новые поколения средств аналого-цифровой техники — гибридные вычислительные системы ГВС-100 и ГВС «Русалка» (Б.Я. Коган).

Ещё одним достижением Института стала система средств программируемой автоматики с параллельной структурой (СПА-ПС), разработанная в связи с делегированием в 1986 г. Институту научного руководства программой работ по созданию АСУТП для АЭС будущего. Авторами концепции

СПА-ПС стали ученики М.А. Гаврилова (А.А. Амбарцумян и др.). Еще один проект, осуществлённый учениками М.А. Гаврилова (О.П. Кузнецов, А.К. Григорян и др.) и основанный на разработанной ими концепции языков программирования логических устройств, завершился созданием системы автоматизации программирования станков с ЧПУ, серийно выпускавшейся промышленностью в 1980-е гг.

Работы Института по исследованию свойств полупроводниковых структур со специфическими вольтамперными характеристиками (В.Д. Зотов) привели к созданию принципиально новых полупроводниковых многофункциональных сенсоров (Z-сенсоров).

Начиная с 1970-х гг., важным направлением стало исследование роли и участия человека в контуре управления и в работе по анализу и совершенствованию административных и социально-экономических систем. Здесь следует отметить пионерские работы Д.И. Агейкина и нынешние А.Д. Цвиркуна и В.К. Акинфиева, Ф.Ф. Пашенко, В.Б. Гусева, В.В. Павельева, А.С. Манделя, Э.А. Трахтенгерца и В.Г. Лебедева, А.А. Дорофеюка и А.Л. Чернявского, В.Н. Буркова, Д.А. Новикова и А.Г. Чхартишвили.

Сюда же примыкают работы по теории выбора — М.А. Айзермана, А.В. Малишевского и Ф.Т. Алескерова — и методам поддержки принятия управленческих решений — А.С. Манделя; А.А. Дорофеюка и А.Л. Чернявского; В.Н. Буркова, А.В. Щепкина и А.Ю. Заложнева.

Существенные результаты получены в области управления в задачах биологии, медицины и здравоохранения. С 1960-х гг. этими проблемами начали заниматься в лабораториях М.А. Айзермана, Н.В. Позина, А.М. Петровского и А.А. Фельдбаума. Затем фронт работ расширился. В настоящее время задачами, связанными с исследованием различных аспектов управления в биомедицинских системах, активно занимается ряд лабораторий Института. Интересные результаты в разные годы получены: А.А. Десовой; группой сотрудников под руководством Е.А. Андреевой и О.Е. Хуторской; В.Н. Новосельцевым, А.И. Яшиным и А.И. Михальским, А.А. Дорофеюком, И.Б. Мучником и С.М. Бородкиным.

С середины 1990-х гг. под руководством В.А. Уткина ведутся исследования по декомпозиционному синтезу систем управления в рамках блочного подхода. Данный подход, опирающийся на структурные свойства оператора объекта управления, является конструктивной методологической основой для анализа и синтеза систем управления линейными и нелинейными многомерными многоканальными объектами автоматического управления, функционирующими в условиях действия внешних неконтролируемых возмущений, пара-

метрической неопределенности и при неполных измерениях. К настоящему времени разработаны декомпозиционные алгоритмы синтеза обратной связи для решения ряда фундаментальных задач теории управления (стабилизации, инвариантности, наблюдения, идентификации в реальном времени, слежения и их комплексе), которые позволяют разделить задачи синтеза большой размерности на независимо решаемые элементарные подзадачи меньшей размерности. Дополнительное применение методов теории систем с разрывными управлениями, функционирующими в скользящем режиме, как в задачах управления, так и в задачах наблюдения, позволяет обеспечить робастные свойства и инвариантность замкнутых систем. Предлагаемые алгоритмы, достаточно простые в реализации, позволяют снизить объем априорной информации об объекте управления и среде его функционирования. Разработанные в теории методы и алгоритмы для общего вида математических моделей динамических систем применяются для решения ряда прикладных задач, в которых объектами управления являются роботы-манипуляторы, двигатели внутреннего сгорания, электроприводы различных типов и различные технические процессы.

В конце 2006 г., после кончины Ивери Варламовича Прангишвили, директором Института избран академик Станислав Николаевич Васильев. Институт развивается, активизировав фундаментальные исследования в различных областях теории управления и её приложений, в том числе по его основным направлениям научной деятельности, утверждённым Президиумом Российской академии наук 18 марта 2008 г.:

- теория систем и общая теория управления;
- методы управления сложными техническими и человеко-машинными системами;
- теория управления в междисциплинарных моделях организационных, социальных, экономических, медико-биологических и экологических систем;
- научные основы технологий управления подвижными объектами и навигации;
- теория и методы разработки программно-аппаратных и технических средств управления и сложных информационно-управляющих систем;
- научные основы интегрированных систем управления и автоматизации технологических процессов и управления производством.

Под руководством Б.Т. Поляка продолжает развиваться теория линейных систем автоматического управления. Здесь 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. Удалось разработать несколько эффективных подходов к их решению. Во-первых, на основе понятия сверхустойчивости можно получать решения упомянутых трудных задач с помощью линейного программирования. Во-вторых, предложен вероятностный подход к решению данных детерминированных задач. Рандомизированные алгоритмы оказались очень эффективными для многих задач управления и оптимизации.

Под руководством В.Ф. Кротова ведутся исследования по теории оптимальных систем управления и, в частности, развиваются методы вариационного исчисления и теории оптимального управления, разрабатываются алгоритмы синтеза и оптимизации управления с применением к объектам самой различной природы — техническим, физическим, экономическим.

Из актуальных теоретических и прикладных направлений, интенсивно разрабатываемых сейчас в Институте, следует отметить также единую геометрическую теорию управления, теорию неклассических фрактальных управлений, существенно расширяющую класс конкретных приложений, теорию подвижного управления, породившую широкий класс приложений и вместе с этим целый класс новых трудных математических и вычислительных задач, например, нелинейную проблему моментов (А.Г. Бутковский).

В настоящее время в Институте проводятся фундаментальные исследования, связанные с разработкой принципов иерархической многоуровневой декомпозиции и расщепления нелинейных операторов в функциональных пространствах с распараллеливанием вычислений на многопроцессорных вычислительных системах в различных программных средах (А.В. Ахметзянов). Результаты исследований ориентированы на создание универсальных принципов моделирования и оптимального управления нелинейными многосвязными системами большой размерности, в частности, процессами фильтрации флюидов (жидких и газобразных углеводородов) в пористых средах резервуаров месторождений углеводородов с геологическими и геометрическими условиями залегания любой сложности. При этом вытесняющие реагенты выступают в роли управляющих воздействий.

Анизотропная теория распространена на системы с параметрическими возмущениями (А.П. Курдюков). Процедура синтеза анизотропных регуляторов требует решения системы уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и алгебраического уравнения специального вида, для чего была разработана процедура решения такого рода уравнений методом гомотопий и создан пакет прикладных программ. В настоящее время ведутся работы по построению теории субоптимального анизотропного управления, анизотропной



теории управления для алгебро-разностных систем, проводятся исследования по построению анизотропных регуляторов пониженного порядка.

Ведутся фундаментальные исследования решения NP-трудных проблем дискретной и комбинаторной оптимизации (А.А. Лазарев). Полученные результаты применяются для решения практических задач теории расписаний и календарного планирования. Для минимаксных задач теории расписаний впервые введена метрика, и для решения этих задач применяются методы изменения параметров, динамического программирования и другие современные методы исследования. В настоящее время ведутся работы по изучению природы сложности классических комбинаторных проблем и разрабатываются алгоритмы решения практических задач большой размерности за приемлемое время с гарантированной погрешностью целевой функции. Установлены тесные научные связи с ведущими научными школами из Германии, Франции, Великобритании.

Проводятся исследования по изучению математических моделей инфраструктурных систем управления. Предложены новые принципы построения систем автоматического регулирования частоты и мощности для крупных энергообъединений, базирующиеся на применении новых высокоточных устройств измерения с привязкой к астрономическому времени и новых методов синтеза регуляторов на основе решения оптимизационных задач с ограничениями (И.Б. Ядыкин).

Под руководством члена-корреспондента РАН Д.А. Новикова активно развиваются теоретические основы разработки и исследования теоретико-игровых и оптимизационных моделей управления системами междисциплинарной природы (организационно-технической, социально-экономической, эколого-экономической и др.). Предложены оригинальные методы анализа, синтеза и оптимизации управления иерархическими, многокомпонентными, динамическими и распределёнными организационными системами, в том числе функционирующими в условиях неопределённости, кооперативного или конкурентного взаимодействия элементов, с учётом коммуникативной поддержки и информационного противодействия (Д.А. Новиков, В.Н. Бурков, М.В. Губко, Н.А. Коргин, С.П. Мишин, А.Г. Чхартишвили). На их основе разработаны комплексы прикладных механизмов управления, эффективность которых подтверждена при разработке и практическом внедрении механизмов управления проектами федерального, регионального и корпоративного уровней (В.А. Ириков, А.В. Щепкин).

Под руководством Л.Б. Рапопорта исследуются неголономные и другие механические системы. Решена известная задача управления неголономной системой с качением — стабилизация движе-

ния колесной системы (КС) вдоль заданной траектории. Построен закон управления, стабилизирующий движение КС вдоль плоской гладкой кривой. По основным переменным обеспечивается устойчивость в большом. Обоснована устойчивость КС при учете погрешностей измерения переменных состояния. Разработаны методы оценки области устойчивости КС в условиях ограничений на управление. Построены численные методы построения оценок областей устойчивости и достижимости. Построены законы управления с учетом фазовых ограничений, наложенных на состояния КС. Например, синтезированы управления в классе кусочно-линейных функций с насыщением для учета ограниченности угла поворота ведущих колес. Разрабатываются грубые законы управления прикладного характера — для КС типа автономных мобильных роботов.

По направлению устойчивости, резонансов и управления движением механических систем, в частности, исследуются: достаточные условия рождения изолированного колебания и его устойчивости в обыкновенной точке семейства в системе общего вида; сценарии рождения колебаний для критической точки семейства; конструктивные условия рождения и устойчивости колебаний как в нерезонансном, так и в резонансном случаях в системе общего вида; условия стабилизации колебания системы, состоящей из слабосвязанных подсистем (В.Н. Тхай).

Под руководством С.К. Даниловой ведутся работы по разработке метода определения экстремальных свойств оптимального управления морскими подвижными объектами (МПО) для построения эффективных алгоритмов реализации принципа максимума. Разрабатывается методика синтеза субоптимального управления движением МПО с использованием оценок экстремальных свойств оптимального управления объектом и заданных оценок текущих и прогнозируемых ситуаций по состоянию технических средств и систем управления объекта, воздействию внешней среды и гипотез о возможных вариантах развития ситуаций в нештатных и аварийных режимах. Разрабатываются алгоритмы синтеза альтернативных безопасных траекторий движения МПО с применением методов субоптимального управления и динамических оценок текущих и прогнозируемых ситуаций, построенных с помощью динамических экспертных систем производственного типа.

Осуществляются разработка и исследование методов построения и особенностей функционирования сложных программно-технических комплексов для АСУТП. Проводятся теоретические исследования методов построения баз знаний для создания нового поколения систем управления на базе аппарата нечетких множеств, моделирование объектов управления в качественных шкалах и

автоматическая генерация баз знаний на основе накопленных опытных данных. Разрабатываются программные системы, позволяющие создавать «под ключ» системы автоматического управления с встроенными базами знаний для задач ранней диагностики и др. Практическая значимость результатов состоит в возможности применения данной методологии для создания макета сложной программно-технической системы управления объектами повышенной опасности, отвечающей современным требованиям открытых систем (АСУТП АЭС в РФ, Иране, Индии — Н.Э. Менгазетдинов, А.Г. Полетыкин).

Под руководством М.Х. Дорри ведётся разработка теоретических основ создания исследовательских комплексов и стендов для анализа, синтеза и отладки алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальных систем управления сложными техническими комплексами с использованием интегрированных систем обработки данных на основе:

- блочно-иерархического структурирования задачи;
- объединения расчета непрерывных и логических процессов;
- образного представления объектов;
- организации многоуровневого взаимодействия блоков между собой и с системой;
- взаимодействия инструментальной системы с базами данных и модулями, имитирующими исследуемые объекты и помогающими легко реконструировать решаемые задачи.

Ведутся инициативные работы по новому направлению нанодатчиков, не имеющего аналогов в мире: по туннельным датчикам на основе магнитных квантовых точек (совместно с ФИ РАН и ТЦ МИЭТ), магниторезистивные (МР) свойства которых обнаружены сотрудниками ФИАН. Ведутся работы в целях получения и исследования наноэлементов на основе магнитополупроводниковых МР наноструктур. Разрабатываемые нанодатчики составят конкуренцию существующим анизотропным и спин-вентильным МР датчикам магнитного поля и тока (С.И. Касаткин).

Разработаны концепция новой Интернет-службы и принципы построения специализированных средств и технологий для поддержки удаленных взаимодействий в гетерогенной информационной и сетевой среде, ориентированных на решение следующих системных задач (В.Н. Лебедев):

- создание простого, интуитивно понятного средства сетевой поддержки распределенных приложений и многоагентных систем;
- обеспечение защиты от потери данных в условиях некачественных каналов связи (надежность и устойчивость к сетевым сбоям);

- создание средств межсерверной маршрутизации данных, одинаково применимых как для on-line, так и для off-line взаимодействий.

В последние годы разработаны многоканальные радиочастотные датчики: запасов топлива в баках переменной конфигурации; положения границ раздела и инвариантных измерений уровня; толщины покрытий и насыпных материалов; объемного содержания в многокомпонентных эмульсионных и слоистых потоках (Б.В. Лункин). Важной составляющей в этих датчиках являются алгоритмы: от простых (линейная комбинация двух частот) — для температурной компенсации, до сложных (системы уравнений) — для определения положения размытых границ раздела слоистых сред. Ведутся новые разработки, направленные на создание комбинированных датчиков на основе возбуждения в них электромагнитных и акустических колебаний в режиме резонанса. Они особенно важны для решения задач измерений параметров многокомпонентных нестационарных потоков.

Разработано математическое и алгоритмическое обеспечение подсистем АСУ оперативной диспетчерской службы Департамента жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства Москвы с формализацией технологических процессов уборки снега в крупных городах, начиная от задач планирования объемов работ по поступающему метеопрогнозу и заканчивая задачами оперативного управления вывозом снега (Г.Г. Гребенюк). Разработана и сдана в эксплуатацию первая очередь информационной системы обеспечения градостроительной деятельности для муниципальных образований. Система предназначена для Комитета архитектуры и градостроительства Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа и является одной из первых в РФ. Подготовлены предложения по комплексной инновационной программе развития Московского мегаполиса «Комплекс приоритетных инновационных проектов повышения эффективности управления и жизнеобеспечения мегаполиса». Данная программа ориентирована на разработку прорывных инновационных проектов, охватывает с системных и управленческих позиций основы жизнедеятельности г. Москвы с учётом современных тенденций глобализации и мирового развития для социальной защищенности населения и обеспечения более высокого уровня устойчивого развития города.

Сформированы совместные научные проекты с Национальной академией наук Украины (соруководитель от НАНУ — академик НАНУ В.М. Кунцевич) и Национальной академией наук Беларуси (соруководитель от НАНБ — чл.-корр. НАНБ Ф.М. Кириллова). В сотрудничестве с Институтом динамики систем и теории управления СО РАН, ранее возглавлявшимся С.Н. Васильевым, а ныне чл.-корр. РАН И.В. Бычковым, развивается веду-

щая научная школа по устойчивости и управлению в гетерогенных и некоторых других моделях динамических и интеллектуальных систем. Тридцать пять научных докладов сотрудников Института было включено в программу 17-го Конгресса ИФАК (июль 2008 г., Сеул, Корея). Обновлены и расширены составы Научного совета РАН по теории управляемых процессов и автоматизации и редколлегии журнала «Автоматика и телемеханика» — первого в мире журнала по автоматическому управлению, созданного ещё в 1936 г. (главный редактор — С.Н. Васильев).

С 2009 г. началась работа сотрудников Института по трём Программам Президиума РАН:

- «Математическая теория управления», координатор — академик Н.Н. Красовский.
- «Научные основы эффективного природопользования, развития минерально-сырьевых ресурсов, освоения новых источников природного и техногенного сырья», координатор — академик Д.В. Рундквист.
- «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов», координатор — академик Ж.И. Алфёров.

Сотрудники Института участвуют также в двух Программах Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН:

- «Управление движением, теория сложных информационно-управляющих систем», сокоординаторы — академики С.Н. Васильев и А.Б. Куржанский;
- «Проблемы управления и безопасности энергетики и технических систем», сокоординаторы — академик Ф.Л. Черноушко и чл.-корр. РАН Н.А. Махутов.

Фундаментальные и прикладные исследования проводятся в Институте также в рамках трёх региональных программ, в рамках 7-й рамочной Программы сотрудничества ЕС и России, по заказам Министерства обороны, Министерства внутренних дел, Федерального агентства по атомной энергии, Федерального космического агентства, Национального бюро Интерпола и многих других организаций и ведомств. Сотрудники Института участвуют в работах по 35-ти грантам Российского фонда фундаментальных исследований, пяти международным договорам.

В рамках Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации»:

— на основе принципов современного комплексного контроля и анализа экологической ситуации в зоне техногенного воздействия объекта хранения и уничтожения химического оружия разработана, обоснована и реализована на трёх объектах методология построения систем производственного экологического мониторинга для объектов повышенного риска; с помощью оперативного и интеллектуального анализа данных разработаны методы, позволяющие решать задачи классификации, идентификации и прогнозирования экологических ситуаций;

— разработана и реализована методология построения компьютерных тренажёрных комплексов для выработки у оперативного персонала навыков безопасного и эффективного управления технологическими процессами путём воссоздания и анализа ситуаций, которые могут возникнуть как в штатном режиме, так и при неполадках и аварийных ситуациях (В.Г. Лебедев, Ю.С. Легович).

Институт имеет крупные контракты с отечественными и зарубежными фирмами, в том числе, связанными с инвестиционной деятельностью.

В 2007 г. в Институте созданы школы молодых учёных, развиваются другие формы интенсификации финансовой поддержки научных исследований молодых ученых. Воссоздан Совет молодых ученых и специалистов, который активно включился в организацию и проведение различных конкурсов работ молодых ученых и молодежных научных конференций по проблематике Института. В Институте действуют четыре диссертационных совета по восьми специальностям.

Ежегодно в Институте проводится ряд международных и всероссийских научных и научно-практических конференций и семинаров по различным направлениям теории управления. В их работе принимают участие сотни ведущих специалистов российской и мировой науки об управлении. В частности, в январе 2009 г. состоялась международная мультikonференция «Теория и системы управления», организованная на базе трех институтов РАН: ИПУ, ИПМех и ИСА.

Сегодня, как и на протяжении всей своей славной истории, Институт остается лидером российской науки управления. Редколлегия, редакция и читатели журнала поздравляют Институт проблем управления и его сотрудников с юбилеем!

---

*Настоящий специальный выпуск журнала посвящён 70-летию Института проблем управления. Статьи отражают основные направления исследований коллектива Института и представлены к публикации председателями секций Учёного совета.*