

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Приводится обзор основных научных результатов в области теории управления, полученных в Институте автоматике и процессов управления ДВО РАН

Работы в области автоматического управления проводились на Дальнем Востоке задолго до организации Института автоматике и процессов управления. Носили они, в основном, прикладной характер и были направлены на решение важных задач, возникающих в процессе эксплуатации судовых и промышленных установок.

Первые теоретические работы и публикации дальневосточников появились в начале 60-х годов прошлого столетия. В 1962 г. в известиях АН СССР "Энергетика и автоматика" была опубликована работа И.Д. Кочубиевского "К рациональному выбору точности систем автоматического управления", а в следующем году в Докладах АН СССР вышла его статья "Информационные условия инвариантности линейных систем автоматического управления" (Совместно с Г.М. Улановым).

При инициативе И.Д. Кочубиевского в 1965 г. при Президиуме Дальневосточного отделения СО АН СССР была организована лаборатория автоматизации, которая в 1967 г. была преобразована в отдел технической кибернетики с двумя лабораториями: автоматизации и вычислительной техники.

Основными направлениями исследований лаборатории автоматизации стали:

- разработка теории и прикладных средств динамического моделирования и испытаний технических устройств и систем;
- выбор методов и средств автоматизации управления в промышленности и на транспорте;
- разработка комплексных систем управления технологическими процессами;
- разработка информационной теории управления.

Особую значимость имели работы по созданию основ информационной теории управления. Эти работы проводились под руководством одного из лидеров отечественной теории управления академика Б.Н. Петрова большим авторским коллективом, достойное место в котором занимали дальневосточники И.Д. Кочубиевский и В.П. Май.

Создание в 1971 г. на базе отдела технической кибернетики Института автоматике и процессов управления (ИАПУ) стало не только плодом усилий большой группы энтузиастов-кибернетиков, возглавляемых И.Д. Кочубиевским и В.В. Здравом, но и следствием признания научных результатов, полученных в рамках отдела.

Постановлением Президиума АН СССР № 383 от 20 мая 1971 г. Институту были определены следующие основные направления научных исследований:

- развитие теории управления;
- разработка научных основ и принципов построения автоматизированных систем управления предприятиями народного хозяйства Дальнего Востока, технологическими процессами, а также объектами новой техники;
- автоматизация научных исследований и обработка информации с применением средств вычислительной техники в научных учреждениях Дальневосточного научного центра;
- разработка методов и средств оптимального планирования и управления комплексными исследованиями океана в научном, народно- хозяйственном и оборонном аспектах.

Трудно перечислить и тем более достаточно полно охарактеризовать научные результаты в области теории управления, полученные за годы существования ИАПУ. Остановимся лишь на некоторых из них, отдавая себе отчет в том, что подобного рода обзоры всегда страдают от авторского субъективизма и степени его компетентности.

Безусловно, наиболее яркой фигурой в области теории управления за годы существования Института был академик Авенир Аркадьевич Воронов. Он возглавил Институт, будучи уже общепризнанным авторитетом в этой проблемной области, автором нескольких монографий и многочисленных научных статей.

Во Владивостоке А.А. Воронов продолжил свои исследования в области теории устойчивости, результатом которых стала монография "Устойчивость, управляемость, наблюдаемость" (1979). Пожалуй, это была одна из лучших книг по теории устойчивости не только в нашей стране, но и за рубежом, в которой автору удалось показать все многообразие задач теории устойчивости, дать анализ последних достижений в этой области теории управления и предложить свои оригинальные методы и подходы [1-3]. Можно заметить, что практически все работы в области теории управления были написаны А.А. Вороновым без соавторов, а об их научном уровне и значимости свидетельствует присуждение в 1988 г. академику Воронову А.А. Ленинской премии за цикл работ по теории управления.

Говоря об основных результатах в области теории управления, нельзя не вспомнить и о достижениях научной школы д.т.н. И.Д. Кочубиевского. Мы уже говорили об участии дальневосточников в широкомасштабных работах по созданию информационных основ теории управления, которые проводились под руководством академика Б.Н. Петрова [4].

После создания Института эти работы были продолжены [5,6], кроме того, были получены существенные научные результаты в области теории динамического моделирования и испытаний технических систем [7,8], были разработаны методы оценки предельных возможностей систем управления при ограничениях на переменные состояния [9].

Важным направлением научных исследований, возникшим в ИАПУ и успешно развиваемым до настоящего времени, стала проблема учета производственных и эксплуатационных вариаций параметров при проектировании, производстве и эксплуатации систем управления.

Первые работы были связаны с исследованием причин и закономерностей отклонений параметров систем управления от расчетных значений, а также оценкой влияния вариаций параметров отдельных элементов на показатели качества системы. Их развитием стали работы, направленные на решение задачи назначения допусков и выбора номиналов параметров систем управления. Отличительной особенностью разрабатываемых методов была их ориентация, может быть в ущерб математической изящности решений, на алгоритмизацию и использование средств вычислительной техники. В предисловии к монографии [10], в которой впервые были систематизированы, рассмотрены вопросы синтеза систем управления с учетом параметрических возмущений академик А.А. Воронов писал: "Современный уровень проектирования и эксплуатации систем управления с помощью вычислительной техники оказывает очень сильное влияние на развитие теории управления. Теряют свое значение многие методы и приемы, которые появились на свет как паллиативные средства преодоления вычислительных трудностей, возникших при исследовании сложных динамических систем "ручным" способом и ставших ненужными при появлении ЭВМ". Необходимо заметить, что долгое время (около 15 лет) в названии института присутствовало "с вычислительным центром", что подразумевало (и так было на самом деле) широкое использование в проводимых исследованиях современных средств вычислительной техники.

Не случайно, что одним из наиболее важных направлений исследований в ИАПУ стала разработка теории и принципов построения автоматизированных систем управления объектами различного назначения. Основопологающими были здесь результаты, полученные А.А. Вороновым, Г.А. Кондратьевым и Ю.В. Чистяковым и опубликованные в виде монографий [11,12]. В дальнейшем исследования шли по двум направлениям: автоматизированное управление транспортными системами и управление непрерывными технологическими процессами.

По первому из них основными результатами стали методы и модели координированного управления транспортным процессом в регионах и транспортных узлах, модели взаимодействия разных видов транспорта, автоматизированные системы управления транспортом в регионах и транспортных узлах [13-16].

Итогом работы по второму направлению стали оригинальные методы идентификации и управления непрерывными технологическими процессами.

Бесспорными лидерами этого направления были Здор В.В. и Бернацкий Ф.И. Результатом работы возглавляемого ими научного коллектива стали не только методы и алгоритмы, монографии и статьи, авторские свидетельства и патенты, но и воплощенные "в железе" автоматизированные системы управления различными технологическими процессами (АСУ ТП), в числе которых АСУ ТП производства борной кислоты (ППО БОР в г. Дальнегорске) и точного стального литья (завод "Прогресс" в г. Арсеньеве и Ульяновское авиационное производственное объединение) [17-20].

Неслучайно, что проверявшая работу ИАПУ комиссия президиума АН СССР под руководством одного из самых известных ученых-управленцев академика Е.П. Попова, в числе наиболее интересных и значимых для региона научных результатов отмечала "Комплекс математических моделей ориентированных на решение задач управления транспортом в условиях АСУ" и "математические модели и методы управления технологическими процессами производства борной кислоты и точного стального литья".

На протяжении всех лет существования Института в числе ведущих научных направлений ИАПУ были диагностика и надежность технических систем.

Научная школа технической диагностики, созданная в ИАПУ под руководством Р.С. Гольдмана и В.П. Чипулиса, долгое время занимала в нашей стране лидирующие позиции в области автоматизации диагностирования дискретных устройств. К числу основных научных результатов этого направления можно отнести: методы построения контролирующих и диагностических тестов для проверки комбинационных устройств и поиска произвольных сочетаний неисправности. Методы поиска неисправностей дискретных устройств, заданных явной моделью в виде троичных функций неисправностей, учитывающих неопределенность начального состояния и возможные состязания сигналов. Метод кодирования информации и диагностирования с использованием таблиц минимальных кодов неисправностей. Методы построения проверяющих тестов больших интегральных схем и микропроцессоров [21, 22].

Основным направлением исследований в области проблемы надежности управляемых систем было решение задач анализа и синтеза технических систем с учетом постепенных (параметрических) отказов. Полученные в ИАПУ научные результаты позволили сформировать и развить оригинальный подход к проблеме обеспечения надежности технических систем, который получил название функционально-параметрического (ФП-подхода). В рамках этого подхода были разработаны основы теории параметрического синтеза стохастических систем с учетом требований надежности [23, 24]. Разработаны методы параметрического синтеза настраиваемых технических систем [25], предложены и исследованы оригинальные методы индивидуального прогнозирования состояния и надежности контролируемых систем, разработаны методы синтеза стратегии технического обслуживания сложных систем с учетом их фактического состояния [26, 27]. Полученные результаты легли в основу создания нескольких поколений систем автоматизированного надежного проектирования аналоговых схем радиоэлектронной аппаратуры ("Надежность", "Надежность-М", СПОРА) и программно-алгоритмического комплекса индивидуального прогнозирования состояния и надежности систем ответственного назначения "Прогноз".

Нельзя не отметить и еще одно научное направление, возникновение, становление и развитие которого связано с именем блестящего математика А.П. Шапиро. Это направление связано с проблемой оптимального управления биологическими системами, задачами оптимальной эксплуатации популяций и более общей задачей управления антропогенными факторами. В рамках этого направления был предложен и реализован новый подход к построению теории динамики численности взаимодействующих популяций, основанный на теории дискретных динамических систем. Впервые была применена к задачам управления такими объектами теория бифуркаций динамическими системами, получены условия существования первой серии бифуркаций.

В моделях взаимодействий получены условия структурной устойчивости (стабильности) и асимптотической устойчивости. Построены области устойчивости в пространстве параметров. Разработаны методы оптимального управления промыслом совокупности риккеровских популяций, пространственно-распределенного вида, риккеровских популяций при случайном пополнении. Доказано существование и стационарность оптимальной стратегии эксплуатации произвольного биоценоза [28-32].

Наш обзор был бы не полным без упоминания о работах в области подводной робототехники. Научные исследования, начатые в 1972 г. в лаборатории управления и навигации и продолженные в отделе подводных технических средств ИАПУ под руководством М.Д. Агеева, имели своей целью создание автономных автоматических аппаратов для изучения и освоения океана.

В стенах ИАПУ в 1974 г. был создан первый в стране автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА) "Скат". Аппарат был рассчитан на рабочие глубины до 300 м, имел катамаранную конструкцию, в контейнерах которой размещались блоки аппаратуры управления, источники питания и информационно-измерительные устройства. В последующие годы в ИАПУ были созданы более совершенные типы АНПА "Скат - Гео", "Л -1" и "Л - 2". Последние два аппарата были рассчитаны на большие глубины, соответственно 2000 м. и 6000 м.

Понятно, что создание подводных робототехнических средств потребовало усилий коллектива специалистов самого различного профиля. Вместе с тем, управленческая составляющая этих работ занимала далеко не последнее место. Синтез систем управления и методов организации пространственного движения АНПА относились к числу проблем, от решения которых во многом зависело общее направление развития функциональных свойств аппаратов.

К числу важных научных результатов подводной робототехники, полученных научным коллективом под руководством М.Д. Агеева можно отнести методы и алгоритмы управления движением АНПА при осуществлении широкого класса пространственных траекторий с автономной коррекцией координат и заданной целью движения. Впервые были синтезированы и исследованы алгоритмы управления движением АНПА при траекторном обследовании областей, физических полей и аномалий, предложен метод квазилинейной и адаптивной коррекции параметров управления при переменных условиях функционирования [33-36].

В 1988 г. на базе отдела был организован Институт проблем морских технологий (ИПМТ) ДВО РАН, который по праву занимает лидирующие позиции в области подводной робототехники не только в нашей стране, но и за ее пределами.

Прошедшее столетие было очень продуктивно для теории управления: обилие новых идей, множество полезных теоретических результатов, интересные практические приложения и, наконец, плеяда блестящих ученых, с именами которых связаны достижения в этой проблемной области: Н. Винер, К. Шеннон, Р. Калман, А.А. Андронов, В.С. Кулебакин, Л.С. Понтрягин, Б.Н. Петров, В.С. Пугачев, Е.П. Попов, В.А. Трапезников, Я.З. Цыпкин и многие другие.

К сожалению, в последние годы в нашей стране все чаще раздаются голоса, что наступил чуть ли не кризис в теории управления и ее приложениях. А ведь именно наша страна была инициатором создания Международной федерации по автоматическому управлению (ИФАК) и местом проведения 1-го ее конгресса (Москва, 1960 г.), который собрал весь цвет мировой науки об управлении, достаточно назвать такие имена как Н.Винер, Р. Калман, А.Н. Колмогоров, Л.С. Понтрягин.

Лучший ответ на такие сомнения дает, на наш взгляд, следующая цитата из лекции Давида Гильберта "Математические проблемы": "История учит нас, что наука развивается непрерывно. Мы знаем, что каждое поколение имеет свои собственные задачи, которые последующие поколения или решают или вовсе о них забывают, как о не имеющих ценности, заменяя их новыми задачами". Гильберт говорил о "чистой" математике, однако те же слова остаются справедливыми для прикладной математики, в том числе такой ее ветви как теория управления.

Необходимо заметить, что отношение мирового сообщества к теории управления несколько не ухудшилось. ИФАК является одной из процветающих и динамично развивающихся международных федераций. Раз в три года проводятся Всемирные конгрессы ИФАК, очередной из которых пройдет 6-11 июля 2008 г. в Сеуле, проводится огромное количество симпозиумов, конференций и совещаний по отдельным направлениям теории управления, в том числе и региональные - Азиатская, Американская, Европейская научные конференции, издаются имеющие высокий рейтинг научные журналы, число стран, входящих в ИФАК постоянно растет.

К сожалению, сейчас в руководящих органах ИФАК нет представителей России, очень редко отечественные ученые участвуют в программных комитетах конференций, а число докладчиков от России обычно невелико. Так, на последней 5-й Азиатской конференции по проблемам

управления (ASCC2004) от России было сделано лишь 2 доклада (оба сотрудниками ИАПУ ДВО РАН), что не только значительно меньше, чем сделали представители Китая, Кореи, Японии или США, но и меньше Индии, Малайзии или Индонезии.

Каковы же перспективы и тенденции развития теории управления? Сошлемся на выводы международной комиссии по определению будущих направлений развития теории управления, работавшей в течение 2000-2002 гг. при поддержке Управления научных исследований и Национального научного фонда США под председательством Р. Мюррея (R. Murray) из Калифорнийского технологического института и включавшей ведущих специалистов, лидеров мировой науки [37]. Основным можно считать вывод об интеграции теории управления, теории вычислений и теории информации. Высказано мнение о том, что это приведет к возрождению кибернетики на новом уровне.

Проблематика научных исследований, проводимых в ИАПУ ДВО РАН, за последние годы существенно расширилась. Появились новые научные направления и научные школы. Вместе с тем теория управления по-прежнему является важной составляющей научной деятельности института.

Новые веяния, идеи и технологии наложили свой отпечаток на традиционные для института направления научных исследований. Так, появление суперкомпьютеров, вычислительных сетей и технологии параллельных и распределенных вычислений существенно расширили возможности решения задач высокой вычислительной сложности. К их числу следует отнести проблему параметрического синтеза стохастических систем, проблему принятия решений в условиях неопределенности, решение задач обеспечения надежности, возникающих при реализации функционально-параметрического подхода и ряд других.

После более чем десятилетнего забвения стали вновь востребованными и актуальными задачи оптимального управления технологическими процессами и производствами, для решения которых привлекаются идеи управления с прогнозом (predictive control), теории нечетких множеств, генетические и нейросетевые алгоритмы.

Новыми объектами приложения методов технической диагностики стали системы теплоэнергетики и электроэнергетики, выбор которых был обусловлен актуальностью проблемы энергоресурсосбережения и безопасности в тепло- и электроэнергетике. Теоретические исследования направлены здесь на разработку комплекса моделей таких систем, методов диагностики, оценки, прогнозирования технического состояния и оптимизации режимов их обслуживания, а также выявления и предупреждения нештатных, критических и аварийных ситуаций. Одно из центральных мест отводится структурно-аналитическим моделям, учитывающим функциональную сторону объектов в части распределения транспортных потоков и отражающим структурные характеристики - топологию объектов и установленную на них регулируемую аппаратуру, позволяющую реализовать специальные (в том числе тестовые) режимы.

В последние годы одним из интенсивно развивающихся в институте стало робототехническое направления, возглавляемое В.Ф. Филаретовым.

Целью исследований, проводимых в рамках этого направления, является создание и исследование новых подходов и методов синтеза адаптивных и робастных систем управления сложными динамическими системами с неизвестными и переменными параметрами, разработка методов синтеза и алгоритмов высокоточного управления подводными роботами [38-41].

Подводя итог, можно утверждать, что научное направление, ставшее фундаментом создания первого на Дальнем Востоке академического учреждения кибернетического профиля, продолжает жить и успешно развиваться. Залогом дальнейших успехов является не только плодотворная работа в институте коллектива высококвалифицированных ученых-управленцев, аспирантуры и диссертационного докторского совета, но и успехи молодых ученых кандидатов наук, победителей конкурсов на получение грантов Президента РФ, РФФИ, Дальневосточного отделения РАН, конкурсов молодых ученых.

Литература

1. Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. - М.: Наука, 1979.
2. Воронов А.А. О приближенном решении уравнений амплитудно- импульсных систем, близких к непрерывным. - М.: Докл. АН СССР, 1975. - Т. 233, № 5.
3. Воронов А.А. Системы с дифференцируемой неубывающей нелинейностью, абсолютно устойчивые в гурвицевом угле. - Докл. АН СССР, 1977. - Т. 234, № 1.
4. Петров Б.Н., Петров В.В., Уланов Г.М., Агеев В.М., Запорожец А.В., Кочубиевский И.Д., Май В.П., Усков А.С. Начала информационной теории управления // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. - М.: ВИНТИ. 1970. С. 221-352.
5. Петров Б.Н., Петров В.В., Уланов Г.М., Агеев В.М., Запорожец А.В., Кочубиевский И.Д., Май В.П., Усков А.С. Начала информационной теории управления // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. - М.: ВИНТИ. 1971. С. 5-88.
6. Петров Б.Н., Петров В.В., Уланов Г.М., Агеев В.М., Запорожец А.В., Кочубиевский И.Д., Козмин А.Г., Усков А.С. Начала информационной теории управления // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. - М.: ВИНТИ. 1972. С. 5-128.
7. Кочубиевский И.Д., Стражмейстер В.А. Динамическое моделирование нагрузок при испытаниях автоматических систем. - М.: Энергия, 1965.
8. Кочубиевский И.Д., Калиновская Л.В., Стражмейстер В.А., Матвеев П.А. Динамическое моделирование и испытание технических систем. - М.: Энергия, 1978.
9. Кочубиевский И.Д., Король Е.В. Предельные возможности систем управления при ограничениях на переменные состояния. - М.: Наука, 1979.
10. Абрамов О.В., Здор В.В., Супоня А.А. Допуски номиналы систем управления. - М.: Наука. 1975.
11. Воронов А.А., Кондратьев Г.А., Чистяков Ю.В. Теоретические основы построения автоматизированных систем управления. - Разработка технического задания. - М.: Наука, 1977.
12. Воронов А.А., Кондратьев Г.А., Чистяков Ю.В. Теоретические основы построения автоматизированных систем управления. - Разработка технического проекта. - М.: Наука, 1978.
13. Артынов А.П., Скалецкий В.В. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами. - М.: Наука, 1981.
14. Артынов А.П., Кондратьев Г.А. Управление взаимодействием транспортных систем. - М.: Наука, 1986.
15. Васильченко А.И., Пупышев А.В. Скалецкий В.В. Согласование решений в транспортных системах. - М.: Наука, 1988.
16. Артынов А.П. Управление взаимодействием региональных транспортных систем // Итоги и техники. Организация управления транспортом. - М.: ВИНТИ. 1987.
17. Горелова Г.В., Здор В.В., Свечарник Д.В. Метод оптимума номинала и его применение. - М.: Энергия. 1970.
18. Бернацкий Ф.И., Борщ А.Н., Глотов Е.Б., Яцык С.И. Применение математико-статистических методов и ЭВМ для математического описания технологических процессов литейного производства. - М.: Машиностроение. 1979.
19. Автоматизированное управление процессами химической технологии / Под ред. Здора В.В., Мартынюка Ю.Л. - М.: Наука. 1981.
20. Абрамов О.В., Бернацкий Ф.И., Здор В.В. Параметрическая коррекция систем управления. - М.: Энергоиздат. 1982.
21. Гольдман Р.С., Чипулис В.П. Техническая диагностика цифровых устройств. - М.: Энергия. 1976.
22. Чипулис В.П., Малышенко Ю.В., Шаршунов С.Г., Автоматизация диагностирования электронных устройств. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
23. Абрамов О.В. Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности. / Под ред. А.А. Воронова - М.: Наука. 1992.
24. Антушев Г.С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем. - М.: Наука. 1989.
25. Абрамов О.В., Инберг С.П. Параметрический синтез настраиваемых технических систем. - М.: Наука. 1986.
26. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Прогнозирование состояния технических систем. - М.: Наука. 1990.
27. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Управление эксплуатацией систем ответственного назначения. - Владивосток: Дальнаука. 2000.
28. Шапиро А.П. Дискретная модель конкуренции двух популяций // ДАН СССР. Т. 218, № 3. 1975. С. 699-701.

29. Скалецкая Е.И., Шапиро А.П. Оптимизация режима эксплуатации популяций при случайном пополнении // ДАН СССР. Т. 227, № 2. 1976. С. 312-314.
30. Фрисман Е.Я., Шапиро А.П. Избранные модели дивергентной эволюции популяций. - М.: Наука. 1977.
31. Скалецкая Е.И., Фрисман Е.Я., Шапиро А.П. Дискретные модели динамики численности и оптимизация промысла. - М.: Наука. 1979.
32. Шапиро А.П., Луппов С.П. Рекуррентные уравнения в теории популяционной биологии. - М.: Наука. 1983.
33. Агеев М.Д., Касаткин Б.А., Киселев Л.В., Молоков Ю.Г., Никифоров В.В., Рылов Н.И. и др. Автоматические подводные аппараты. - Л.: Судостроение, 1981.
34. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Щербатюк А.Ф. Комплексирование и коррекция в навигационных системах подводных роботов. Владивосток: ИАПУ, 1981.
35. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Кобаидзе В.В. Информационно- управляющий комплекс АПР // Подводные роботы и их системы. 1987. С. 58-80.
36. Киселев Л.В. Установившиеся движения и управляемость подводного аппарата // Подводные аппараты с программным управлением и их системы. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 56-71.
37. Murray R., Astrom K., Boyd S., Brockett R., Stein G. Control in an Information Rich World // IEEE Control Syst. Magazine. Apr. 2003. P.20-33.
38. Филаретов В.Ф. Самонастраивающиеся системы управления приводами манипуляторов. - Владивосток: ДВГТУ, 2000.
39. Дыда А.А., Лебедев А.В., Филаретов В.Ф. Синтез системы с переменной структурой для управления движением подводного робота // Известия РАН. Теория и системы управления. - №1. - 2000. - С.155-162.
40. Филаретов В.Ф., Алексеев Ю.К., Лебедев А.В. Системы управления подводными роботами. - М.: Круглый стол. 2001.
41. Филаретов В.Ф., Лебедев А.В., Юхимец Д.А. Устройства и системы управления подводных роботов. - М.: Наука. 2005.

Abramov O.V.
Control Theory: Problems and Solutions

In this paper, a brief review of basic and applied research of control theory derived at Institute of automation and control processes Far Eastern Division RAS is given