

УДК 658.512.011.56:004.42

# АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

М.Х. Дорри

Рассмотрены этапы развития автоматизированных систем управления кораблями, отражена роль Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН в решении общих проблем автоматизации морских подвижных объектов. Указаны перспективные направления исследований.

**Ключевые слова:** автоматизация, системы управления, морские подвижные объекты.

## ВВЕДЕНИЕ

Трудно переоценить ту роль, которую играет автоматизация управления морскими подвижными объектами (МПО) для обеспечения эффективного функционирования кораблей в нормальных и аварийных ситуациях. Управляющие системы фактически являются мозговым центром корабля. Именно в них формируются нужные сигналы, посылаемые в различные подсистемы, благодаря которым удается достичь поставленных целей путем выполнения определенной последовательности операций. В процессе управления, как правило, включается человек-оператор. Он обладает многими полезными качествами: способностью оценить ситуацию по многим косвенным признакам, возможностью накапливать опыт управления, способностью изменять цели управления и принимать нетривиальные решения благодаря имеющимся знаниям. Однако человек не всегда способен быстро и оперативно принимать решения в стрессовых ситуациях. Операторы могут совершать ошибки, порой приводящие к трагическим последствиям, и тогда говорят о человеческом факторе как о причине катастрофы. Но в ошибках виноваты не только операторы и не только командиры, принимающие неверные решения. Во многих случаях ответственность лежит и на проектировщиках управляющих систем, которые не смогли должным образом организовать взаимодействие человека с аппаратуно-программными средствами МПО.

С появлением современных вычислительных средств многие функции, ранее осуществляемые человеком, стало возможно передавать интеллектуальным системам управления. Информацию стали структурировать и подавать в наглядном и

удобном виде, облегчающем принятие рациональных решений. Сокращается численность персонала, обслуживающего МПО. Однако на пути автоматизации МПО предстоит сделать еще немало, ее история пока еще совсем недолгая, и ее стремительное развитие еще впереди.

В статье рассмотрены в историческом плане этапы развития автоматизированных систем управления (СУ) кораблями и роль Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН в решении общих проблем автоматизации морских подвижных объектов. Указаны важные нерешенные проблемы и перспективные направления исследований.

## 1. ПОЯВЛЕНИЕ АВТОРУЛЕВЫХ НА РАННИХ СТАДИЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ КОРАБЛЕЙ

Автоматизацией управления кораблями начали заниматься в начале XX в. На первых порах она ассоциировалась с управлением движением, которое требовало от судоводителя не только подготовленности, но и большого искусства. Многие суда неустойчивы на курсе, математические модели движения кораблей сильно отличаются и меняются в процессе плавания, а реакция корабля на воздействия исполнительных органов замедлена. Управляющие воздействия на порядок слабее возмущений от развитого морского волнения, а для военных кораблей от сил, возникающих при выполнении боевых задач. Все это затрудняет управление кораблем, особенно в специфических режимах, таких как швартовка, расхождение с препятствиями и др.

Первые успехи были достигнуты на пути создания авторулевых транспортных судов. В авторуле-





вом, предложенном А.И. Мускаром в 1921 г. [1], источником информации о направлении движения судна служил магнитный компас, подвижная магнитная система которого была дополнена зеркальцем угла поворота. Световой луч, отражаясь от него, поступал на блок светочувствительных элементов и формировал сигнал отклонения руля на угол, пропорциональный уходу судна от заданного курса. Аналогичные устройства были предложены и в изобретениях других авторов. Фактически в подобных авторегуляторах управление осуществлялось пропорциональным П-регулятором (терминология появилась позже). Эти устройства могли использоваться только для легких судов, устойчивых на курсе. В СССР были разработаны авторулевые подобного типа («Янтарь», «Зубатка» и др.) для управления торпедными катерами и малыми судами.

Вскоре после второй мировой войны фирмы «Sperry» (США) [2] и «Anschutz» (Германия) [3] начали серийный выпуск авторулевых с П-законом управления, дополненным нелинейным звеном. С развитием теории регулирования стало ясно, что введенный в цепь обратной связи люфт по углу перекладки руля — это грубый аналог сигнала угловой скорости судна.

Заметим, что судоводители воспринимали авторулевые с осторожностью и настаивали на сохранении, параллельно с ними, чисто ручного управления.

Широкое распространение авторулевых стало возможным только с развитием теории регулирования, в частности, методов проектирования ПИ- и ПИД-регуляторов. Очень важным обстоятельством стало также появление новой технической и технологической базы — надежных аналоговых счетно-решающих элементов.

Вклад ИПУ РАН в развитие общей теории автоматического управления огромен. В Институте работали многие известные ученые, исследования которых легли в основу теории управления (среди них М.А. Айзерман, М.А. Гаврилов, С.В. Емельянов, А.М. Летов, Б.Н. Петров, В.С. Пугачев, А.А. Фельдбаум, Я.З. Цыпкин).

Во второй половине XX в. в СССР была разработана большая серия авторулевых под шифрами «Самшит» и «Альбатрос» для сторожевых кораблей и эсминцев, для транспортных судов — авторулевые АБР, АР и АТР, а позднее авторулевые «Аист» и «Печора» для морских и речных судов [4]. В дальнейшем во всем мире стали разрабатываться адаптивные системы управления движением с использованием значений прогнозируемых фазовых координат и результатов диагностики состояния МПО.

## **2. ПЕРЕХОД К КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Масштабное проникновение автоматизации во все сферы управления морскими подвижными объектами и попытки организовать взаимодействие различных по функциям подсистем приходится на период Второй мировой войны и послевоенное время. Ряд стран (СССР, США, Япония, Норвегия) приступили к разработке комплексных систем управления. Такие системы были особенно востребованы для стабилизации буровых судов и платформ в заданной точке океана, поскольку для управления ими надо было учитывать данные о воздействии силы ветра, течений и т. п.

На этапе развития комплексной автоматизации МПО Институт проблем управления сыграл существенную роль в формулировке целей и задач автоматизации и выборе методов их реализации.

Бурное развитие направления в конце 1950-х гг. в Институте было обусловлено работами по автоматизации атомных подводных лодок (АПЛ) проекта 705 (получивших в печати наименование «Голубой кит»). Этот период заслуживает отдельного рассмотрения. Тогда по предложению президента АН СССР А.П. Александрова была поставлена задача создания кораблей и подводных лодок, тактико-технические характеристики которых значительно превосходили бы характеристики существующих. Достаточно упомянуть требование сокращения численности операторов АПЛ, управляющих оборудованием и системами, более чем в три раза.

В области автоматизации систем управления подводными лодками решение поставленной задачи было поручено директору Института проблем управления академику В.А. Трапезникову. Выполненные Институтом под его руководством работы положили начало новому этапу автоматизации кораблей. Совокупность принятых и осуществленных решений изменила отношение проектировщиков кораблей к автоматизации и роли систем управления в обеспечении маневренности, отказоустойчивости и живучести морских подвижных объектов. Была продемонстрирована важность автоматизации для повышения боевой мощи подводных лодок.

Выработанные в те годы принципы автоматизированного управления охватывали такие разделы как:

- управление движением;
- управление атомными энергетическими установками;
- управление техническими средствами;
- создание системы диагностирования неисправностей и методов их устранения;



## УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

- разработка противоаварийных систем и управления в нештатных режимах функционирования;
- автоматизация проектирования и испытания систем с помощью аналоговых и дискретных средств;
- создание электронных стендов комплексной отладки подсистем;
- использование тренажеров и прототипов для подготовки личного состава.

Были сформулированы общие проблемы построения управляющих систем многоагрегатными техническими комплексами, актуальные и для современной практики автоматизации (см. статью Б.Г. Волика [5], который был в то время заместителем В.А. Трапезникова по научному руководству работами, связанными с комплексной автоматизацией АПЛ).

Строительство АПЛ велось под наблюдением ЦНИИ МО, и в нем участвовали ведущие институты и КБ страны, в том числе ФГУП НПО «Аврора», СПМБМ «Малахит», ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, ФЭИ, Горьковское ОКБМ, ВНИИЭМ, МНИИ1 и многие другие предприятия.

Между организациями и предприятиями установились тесные творческие научные связи, благодаря чему проект АПЛ 705 был успешно завершен к 1971 г. и получил очень высокую оценку не только в нашей стране, но и за рубежом, где появление АПЛ вызвало шок в военно-морских кругах Запада [6, 7]. Основную роль в реализации комплексной автоматизированной системы управления сыграло ФГУП НПО «Аврора».

Надо сказать, что многие принятые тогда решения определили на многие годы тенденции развития систем управления морскими подвижными объектами. После принятия подводной лодки проекта 705 на вооружение сотрудники Института проблем управления были отмечены правительственные премиями и государственными наградами. Среди них: Ленинская премия (В.А. Трапезникова), Государственная премия (Д.И. Агейкин, А.Ф. Волков), орден Октябрьской Революции (Д.И. Агейкин), орден Трудового Красного Знамени (С.И. Бернштейн, Б.Г. Волик), орден «Знак Почета» (В.А. Ведешенков, И.Е. Декабрун, Г.Э. Острецов), медаль «За трудовую доблесть» (Ф.Б. Гулько, Г.Г. Молчанов), медаль «За трудовое отличие» (М.Х. Дорри, М.Г. Тахтамышев).

В результате выполненных работ по автоматизации АПЛ проекта 705 Институт завоевал себе высокий авторитет.

По инициативе академика В.А. Трапезникова в 1969 г. был организован Межведомственный совет по управлению движением морских судов и специальных аппаратов. Основная задача, которая была поставлена перед Межведомственным сове-

том — это координация научно-производственной деятельности в СССР по автоматизации управления подвижными объектами. Бессменным секретарем совета по сей день является заслуженный изобретатель России Г.Э. Острецов. В ежегодных конференциях (в 2008 г. прошла 35-я конференция) принимают участие специалисты от многих ведущих организаций и предприятий России. На них обсуждаются насущные проблемы автоматизации управления МПО.

В 1970—1980-е гг. по постановлениям Правительства СССР был выполнен цикл работ по развитию идей автоматизации кораблей новых проектов. Была разработана концепция иерархического построения и функционального взаимодействия подсистем управления (Б.Г. Волик, Б.Б. Буянов, Н.В. Лубков). Был выполнен цикл работ по теоретическому обоснованию возможности повышения скрытности АПЛ благодаря коррекции законов управления механизмами (Г.Г. Гребенюк, С.М. Никишов, И.М. Рудько, А.И. Шахорин). Теоретические результаты были подтверждены математическим моделированием и на расширенных акустических испытаниях действующих АПЛ на полигонах в Белом море. Ряд сотрудников были привлечены для научного руководства автоматизацией новой серии атомных ледоколов («Арктика», «Сибирь»), а также новых серий супертанкеров и контейнеровозов (Б.Г. Волик, Г.Г. Гребенюк, М.Х. Дорри, А.С. Степанянц). Институт принимал участие в разработке системы автоматического управления движением экраноплана «Смена» [8]. Был выполнен ряд исследований по улучшению маневренных характеристик надводных кораблей и подводных лодок.

### 3. НОВЫЕ ВРЕМЕНА — ПЕРЕХОД К МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ

Вторая половина двадцатого века ознаменовалась стремительным развитием цифровой вычислительной и микропроцессорной техники. Управляющие машины, программируемые контроллеры и компьютеры совершили революцию в автоматизации систем управления и в корне изменили характер разработок. Это изменение возникло, в основном, вследствие отделения вычислительно-го процесса, осуществляющегося, как правило, программными средствами, от аппаратных средств, реализуемых на различных семействах микропроцессоров. Благодаря ЭВМ появилась возможность реализации широкого класса алгоритмов без изменения технических средств, а также возможность тестирования и диагностирования аппаратуры независимо от алгоритмов их функционирования. Другими словами, стало возможным комплекси-



ровать аппаратные средства независимо от организации вычислительного процесса.

Другая важная особенность проникновения микропроцессорной техники в технологию создания систем управления заключалась в том, что появились колоссальные возможности по совершенствованию законов управления, созданию интегрированных автоматизированных систем, резервированию, оптимизации, представления информации операторам и др.

К концу XX в. наметились следующие тенденции в автоматизации МПО:

- переход к распределенным и децентрализованным архитектурам систем управления на базе микропроцессорной техники;
- интеллектуализация приборов, средств и систем контроля и управления;
- применение в управлении методов искусственного интеллекта;
- использование для отображения информации мониторов и графических станций;
- управление с помощью визуального интерфейса;
- применение спутниковых навигационных систем.

Новая техника требовала иной технологии разработки систем, базирующейся на широком применении средств автоматизированного проектирования и моделирования, позволяющих создавать рабочие программы для микропроцессоров и управляющих ЭВМ. Был необходим тщательный анализ переходных процессов на стадиях разработки алгоритмов и программ функционирования регуляторов и дискретных элементов с учетом таких факторов, как квантование по времени и уровню, частота опроса датчиков, а также решение вопросов, связанных с резервированием, загруженностью магистралей и др.

К сожалению, технология построения крупных цифровых систем управления не была в достаточной степени развита. Без специально создаваемых инструментальных средств процесс разработки крупных взаимосвязанных систем управления затягивался, страдало качество проектов, возрастила вероятность принятия недостаточно обоснованных решений. Окончательную доводку алгоритмов подчас приходилось производить на борту действующего корабля в авральном режиме.

Современные средства вычислительной техники позволяют создавать очень надежные, отказоустойчивые системы управления со встроенными подсистемами интеллектуального управления, однако до сих пор эти ресурсы используются крайне слабо. Алгоритмы управления, как правило, имитируют работу аналоговых систем управления, не позволяющих реализовывать сложные алгоритмы, сжимать информацию и наглядно отображать си-

туацию на основе методик выбора достоверной информации и анализа поступающих сигналов.

Проблема создания комплексных интегрированных систем управления до сих пор решается крайне медленно, несмотря на то, что на предприятиях есть полное понимание ее важности. Причина заключается в разнородности программного обеспечения, создаваемого различными предприятиями, отсутствии достаточно адекватных инструментальных средств и методов, позволяющих комплексно исследовать взаимодействие подсистем еще на стадии их разработки. Фактически отсутствуют или недостаточно эффективны методы и программные инструментальные средства разработки сложных многоцелевых объектов управления. Разработка комплексных автоматизированных систем управления встречает на своем пути большие трудности.

Представляется, что за рубежом технологии построения современных автоматизированных систем уделяется гораздо больше внимания, чем на наших предприятиях, занимающихся автоматизацией управления МПО.

В конце XX в. произошел технологический прорыв в области спутниковой навигации, изменивший во многом подход к вопросам управления движением МПО. Наличие приемника спутниковой связи позволяет с достаточной точностью определять фазовые координаты кораблей и меняет подход к комплексной автоматизации. Появились новые источники информации, которые должны учитываться при выборе алгоритмов и структуры автоматизированной системы управления. Однако имеются и опасения при ориентации систем управления движением только на данные от спутниковой навигации, вызванные возможностями сбоев в получении информации. В настоящее время преобладает мнение о целесообразности для повышения отказоустойчивости сохранять традиционную систему управления наравне с использованием новых источников информации от приемников спутниковой навигации.

В 1990-х гг. направление автоматизации управления морскими подвижными объектами в Институте проблем управления испытывало период спада. Причиной спада явились политические события, вызвавшие ослабление контактов с ведущими предприятиями страны, разрабатывающими системы управления. Были упущены возможности взаимодействия по ключевым вопросам перехода на микропроцессорную технику. Тем не менее, работы не прекращались. Институт принял участие в создании международной Академии навигации и управления движением. Ее действительными членами стали, в частности, сотрудники, занимающиеся проблемами управления МПО (Б.В. Павлов,



М.Х. Дорри, Г.Э. Острецов). В Институте сохранился научный потенциал, и в настоящее время получены новые интересные результаты, о которых речь пойдет далее.

#### **4. НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

Несмотря на крупные успехи в области автоматизации МПО, нельзя признать состояние решения проблемы удовлетворительным. Имеются, на наш взгляд, резервы улучшения характеристик МПО, которые могут материализоваться в результате построения более эффективных автоматизированных систем управления.

В настоящее время при создании систем управления МПО все больше стали обращать внимание на обеспечение отказоустойчивости и живучести объектов, а не на управление в штатных режимах, которое было неплохо отработано. Вопросы надежности функционирования движущихся объектов важны всегда, но особенно актуальны в военной обстановке, где нештатные и аварийные режимы могут возникать в самых неожиданных ситуациях. К характеристикам, которые во многом зависят от правильного построения системы управления и определяют важные тактико-технические показатели МПО, относятся маневренность, надежность и живучесть. Эти характеристики должны отвечать современным требованиям не только в штатных режимах функционирования, но и в экстремальных условиях.

Достичь нужного уровня тактико-технических свойств объектов МПО возможно только при комплексном рассмотрении всех подсистем как единого целого и использовании информации от них для выбора оптимального решения.

Например, сохранение жизнедеятельности АПЛ в критических ситуациях требует достаточной маневренности (особенно важна скорость движения), которая зависит от обеспечения энергией всех агрегатов АПЛ. С другой стороны, известно, что температурные напряжения отрицательно влияют на работу тепловыделяющих элементов ядерного реактора и других элементов конструкции. Скорость изменения температуры является основной причиной появления температурных напряжений, ускоряющих износ материалов. Имеются и другие факторы, из-за которых разработчики и проектировщики атомных реакторов прилагают все усилия к ограничению скоростей изменения нейтронной мощности реактора. Необходимо найти нужный баланс между скоростью изменения мощности ядерной энергетической установки и маневренными характеристиками АПЛ с учетом обстановки, которая может быть настолько серь-

езной, что будет грозить потерей живучести корабля. Линейное задание на изменение нейтронной мощности реактора и расхода теплоносителя, принятое в настоящее время для управления процессом изменения мощности, может быть улучшено. Путем анализа данных нескольких подсистем можно обеспечить быстрый и более плавный температурный режим перехода энергетической установки на другие мощности.

В условиях традиционного разделения функциональных комплексов технических средств часто не только не прослеживается их взаимодействие, но наблюдается неоправданное дублирование одних и тех же функций в разных подсистемах и в автономно действующих процессорах, что приводит к завышению потребной вычислительной мощности. Это ведет к увеличению массогабаритных показателей и, как следствие, к дополнительной стоимости системы управления.

Очень важно обратить внимание на необходимость предвидеть возможность отказа наиболее существенных для работы объекта элементов, поиска отказавшего оборудования и синтеза в реальном времени новой работоспособной конфигурации системы управления.

Построение современных систем управления, учитывающих указанные обстоятельства, требует разработки и усовершенствования методов сбора, хранения и сжатия информации, а также разработки новых алгоритмов и инструментальных средств, позволяющих определять границы изменения параметров, при которых следует реконфигурировать систему управления. Новые подходы к построению СУ существенно повысят надежность и живучесть МПО.

Имеются несколько проблем, решение которых лежит в русле основных направлений развития автоматизации управления МПО и которыми занимаются в Институте проблем управления. О них пойдет речь в данном разделе. По нашему мнению, было бы полезно использовать научный потенциал Института и имеющиеся полезные разработки при проектировании новых и модернизации действующих кораблей. Рассмотрим кратко указанные направления.

**1. Переход на архитектуру сетевых решений** (работы ведутся под руководством А.И. Иванова). В современных средствах вычислительной техники наблюдается революционный переход на архитектуру сетевых решений.

С повышением быстродействия в параллельных шинах возникают серьезные проблемы, связанные с помехоустойчивостью, появлением наводок, возникновением сбоев и потерями данных, что ограничивает дальнейший рост производительности.



## УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ



Этим объясняется интенсивная конвергенция сетевых решений и средств вычислительной техники. Использование сетевой архитектуры вместо магистрально-модульной организации позволяет существенно повысить быстродействие, упростить внутренние связи между компонентами.

Поэтому при разработке корабельных систем управления новых поколений встаёт очень серьёзная проблема отхода от традиционных решений и перехода на современную сетевую архитектуру.

В теоретических работах сформулированы основные принципы функционально-топологического анализа и синтеза распределённых систем управления, разработаны математические модели оптимизации топологии средств вычислительной техники и информационных трактов; разработаны типовые структурные решения мультипроцессорных реконфигурируемых комплексных СУ на перспективных функциональных элементах.

Для повышения эффективности системы мониторинга средств вычислительной техники были предложены: мультисетевой метод, метод альтернативных каналов, метод асимметричного дублирования, метод репликации данных в реальном времени.

Совместно с предприятиями кораблестроительной отрасли были изготовлены и испытаны опытные образцы системы, внедряемой в настоящее время на корабли.

В развитие этого направления ведутся работы по созданию СУ малых автономных необитаемых подвижных аппаратов, расширяющих возможности сил спасения и одновременно обеспечивающих решение задач экологии, гидрографии, а также разведки и защиты от потенциального противника.

Цель ряда исследований, проводимых в Институте, состоит в разработке новых принципов построения корабельных информационно-управляющих систем на базе беспроводных сетей.

**2. Создание перспективных систем управления морскими подвижными объектами и тренажерных систем** (см. статью [9] в настоящем выпуске журнала).

**3. Создание полномасштабного стенда для разработки и отладки алгоритмического и программного обеспечения бортовых управляющих комплексов**, (работы ведутся под руководством М.Х. Дорри и А.А. Рошина). Еще в 1980-х гг. в рамках темы «Корсар» были разработаны основные принципы построения стендов для полунатурного моделирования процессов управления. Несколько лет назад Институт ставил задачу создания центра для разработки достаточно универсальных моделей подводной лодки (ПЛ) объектов в ее составе и гибкого программного обеспечения, помогающего не только оперативно изменять параметры, но и

видоизменять сами модели объектов, сравнивать эффективность тех или иных структурных схем и алгоритмов управления и давать экспертные оценки по вопросам целесообразности их доработки и улучшения. Такая работа не получила тогда должной поддержки вследствие межведомственных преград.

В Институте предложены основы новой технологии разработки сложных систем управления, позволяющей на ранних стадиях проектирования создавать алгоритмы управления и анализировать взаимодействие подсистем. Созданы теоретические основы построения специализированных инструментальных программных средств визуально-логического интерфейса на основе блочно-иерархического структурирования задачи, объединения расчета непрерывных и логических процессов, наглядного 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.

Конечно, в арсенале организаций судостроительной промышленности существуют исследовательские стенды для разработки и моделирования корабельных СУ, но они являются уникальными программными продуктами и, по нашему мнению, обладают рядом недостатков. Основные из них, помимо высокой стоимости, состоят в недостаточной универсальности, невозможности использования на аналогичных объектах без серьезных доработок, для осуществления которых необходимо привлекать высококвалифицированных программистов, и недостаточной информационной поддержке проектировщиков при создании алгоритмов управления.

Институт проблем управления подготовил фундамент в виде специальных программных инструментальных средств, свободных от указанных недостатков. Они дают возможность строить полномасштабные стенды, на которых можно анализировать и разрабатывать алгоритмы управления в различных режимах работы МПО и возникающих аварийных ситуациях, а также осуществлять подготовку операторов.

Созданный в Институте программный комплекс РДС (Расчет Динамических Систем) [10, 11] позволяет:

- создавать универсальные и гибкие стенды, легко перстраиваемые под различные типы кораблей и различные пульты управления;
- предоставлять исследователям и операторам виртуальную среду разработки, наглядно демонстрирующую последствия воздействия тех или иных возмущений и сбоев в аппаратуре;



- упростить процесс подготовки программных модулей для введения их в комплексный стенд;
- строить модели стендов для обучения операторов с имитацией различных аварийных ситуаций и использовать его в качестве тренажера-прототипа;
- существенно сократить время проектирования автоматизированных систем управления;
- разрабатывать и проверять алгоритмическое и программное обеспечение для современных СУ морскими подвижными объектами, работая с реальными устройствами в режиме полунатурного моделирования;
- применять современные методы теории управления к разработке и совершенствованию систем управления движением кораблей.

Некоторые фрагменты визуального отображения пультов операторов ПЛ, выполненные на комплексе РДС, представлены на рис. 1 и 2 (см. вклейку к с. 102).

Как показали выполненные исследования в области построения СУ движением и результаты использования комплекса для отображения процессов на пультах операторов, РДС существенно упрощает процесс проектирования и формирования новых законов управления движением, а также позволяет решать задачи взаимосвязанного управления с энергетической системой, общей корабельной системой и другими подсистемами корабля.

**4. Работы по обеспечению информационной поддержки операторов центрального пульта управления движением как в режимах эксплуатационного, так и противоаварийного управления.** В рамках этого направления, тесно связанного с первым, должны быть модернизированы пульты управления и построены обучающие программы для решения различных ситуационных задач. В том числе должны быть выработаны эталонные способы управления с оценкой их качества. Командира ПЛ необходимо обеспечить полной информацией для принятия правильных решений при маневрировании, в режимах малошумного хода, при залповой ракетной стрельбе и др.

**5. «Интеллектуализация» управления, повышающая безопасность и увеличивающая маневренность надводных кораблей и ПЛ** (работы ведутся под руководством М.Х. Дорри и М.Г. Тахтамышева). В Институте рассматривалась группа задач, в которых оператору приходится брать управление объектом на себя. К ним относятся некоторые задачи противоаварийного управления, а также ряд задач управления объектом в условиях действия внешних возмущений. Для этих режимов особенно актуальна задача информационного обеспечения оператора в процессе управления МПО, вклю-

чая оценку текущего состояния объекта и прогноз движения МПО при различных наборах используемых технических средств.

Особенность рассматриваемой группы задач заключается в том, что часть координат, характеризующих состояние объекта, не поддается количественной оценке.

Для оценки состояния объектов в том случае, когда часть информации поступает в «четкой», а часть в «нечеткой» форме, применяется метод нечеткого описания текущей ситуации, на основании которого и формируется в дальнейшем управление объектом. В подходе к разработке ситуационных управляющих систем широко используется опыт квалифицированного оператора при построении модели процесса управления.

Важное место при синтезе современных СУ занимает задача фильтрации и восстановления не измеряемых непосредственно координат. В результате проведенных исследований была определена структура фильтра, включающая в себя подстраиваемую (по сигналу рассогласования) модель внешних возмущений, и позволяющая получить высокое качество восстанавливаемых координат, в том числе действующих на МПО внешних сил и моментов.

Наличие в структуре фильтра подстраиваемой модели внешних возмущений позволяет достаточно эффективно решать задачу прогнозирования изменения состояния МПО. Решение задачи прогнозирования особенно актуально как для режимов противоаварийного управления, так и для режима стабилизации МПО при действии волновых возмущений, когда интенсивность изменения уровня волновых воздействий существенно выше компенсирующих воздействий руля. Для обеспечения хорошего качества процесса стабилизации на заданном интервале времени необходимо иметь суммарные прогнозируемые уровни волновых воздействий на этом интервале.

**6. Комплексный подход к управлению, включающий в себя навигацию, энергетику и управление движением** (работы ведутся под руководством М.Х. Дорри). Развиваются методы сжатия информации и наглядного отображения ситуаций на основе выбора достоверной информации по анализу поступающих сигналов от нескольких подсистем и декомпозиции системы управления. При этом с допущением ухудшения качества процессов достигается выполнение основной задачи управления при сохранении живучести объектов.

В ходе проведенных исследований рассматривалась задача выбора оптимального сочетания используемых технических средств с учетом ограничений по мощности и быстродействию для обеспечения требуемой точности стабилизации при

действии различных возмущений, а также задача формирования алгоритмов управления выбранными средствами. Эти алгоритмы относятся как к нормальному режимам, включая режимы движения ПЛ без хода, так и к аварийным ситуациям. Для переходов ПЛ по глубине без хода предложены новые оригинальные алгоритмы управления.

На основе полученных результатов по решению задачи фильтрации и выработке прогноза состояния МПО разработано программное обеспечение для выдачи оператору рекомендаций по управлению объектом.

**7. Теоретические исследования по обнаружению и классификации МПО в условиях помех** (работы ведутся под руководством А.В. Добровидова). Наряду с задачами автоматизации в Институте интенсивно развивалось направление, связанное с обнаружением МПО в условиях помех по различным физическим полям сигналов. Акустические поля МПО в водной среде порождали задачи гидролокации, а аномалии на водной поверхности, генерируемые подвижными МПО, приводили к задачам обнаружения по следам подводных лодок в радиолокационном и оптическом диапазонах электромагнитных волн. Совместно с Институтом космических исследований РАН на полигоне в Тихом океане были записаны на фотопленку отраженные от морской поверхности радиолокационные сигналы, генерируемые боковой антенной самолета. Цель обработки фотопленки состояла в выделении аномальных областей водной поверхности, вызванных движением МПО. Впервые в СССР был разработан метод записи отраженного радиолокационного сигнала на бытовой видеомагнитофон. Удалось построить алгоритм сегментации, позволивший достаточно надежно различать слабые аномалии на фоне взволнованной морской поверхности. Проверка этого алгоритма на результатах натурных испытаний оказалась обнадеживающей.

Вопросы обнаружения МПО по акустическим полям решались в конце 1980-х начале 1990-х гг. На основе теории оптимальных статистических решений был построен алгоритм обнаружения, который должен был работать в режиме «on-line», обрабатывая многомерную информацию от больших акустических антенных решеток. Серьезная работа по разработке языка параллельных вычислений и программированию на нем алгоритмов обнаружения была поручена И.И. Паишеву, который в 1992 г. выполнил задание и успешно сдал работу государственной комиссии. Многие из соавторов, участвовавших в этой теме, до сих пор сохранили опыт работы с большими массивами данных для решения такого рода важных государственных задач.

В настоящее время в Институте продолжаются теоретические исследования по обнаружению и классификации МПО. В отличие от прежних работ в этом направлении рассматриваются более реалистичные ситуации, когда характеристики внешних случайных воздействий и параметры модели объекта неизвестны и должны быть восстановлены в режиме нормальной эксплуатации. Интенсивно развивается непараметрический подход к задачам оценивания и управления, когда функциональная форма модели объекта вообще неизвестна. Такой подход порождает класс адаптивных стохастических систем управления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ состояния автоматизации морских подвижных объектов по материалам отечественных и зарубежных публикаций позволяет выделить следующие тенденции и направления развития автоматизированных систем управления:

- применение в управлении методов искусственного интеллекта;
- управление с помощью визуального интерфейса; использование для отображения информации мониторов и графических станций;
- развитие технологии разработки и отладки алгоритмического и программного обеспечения бортовых управляющих комплексов;
- включение в управление информации от спутниковых навигационных систем;
- развитие методов сжатия информации и наглядного отображения ситуаций на основе методики выбора достоверной информации по анализу всех поступающих сигналов;
- существенное развитие информационной поддержки операторов центрального пульта управления движением;
- комплексный подход к управлению, включающий в себя навигацию, энергетику и управление движением;
- совершенствование алгоритмов маневрирования ПЛ без хода, а также маневров по скрытности и уходу в безопасные зоны;
- совершенствование программ автоматического противоаварийного управления;
- переход на архитектуру сетевых решений.

Автоматизация систем управления МПО стала неотъемлемой частью проектов современных кораблей, несмотря на то, что она сама иногда порождает ряд проблем, вытекающих из недостаточной продуманности и надежности системы.

В настоящее время вопросам безотказности существующих систем управления и надежности элементной базы уделяется очень большое внимание. Однако остается ряд нерешенных проблем.



## УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Опираясь на успехи науки и техники в таких областях, как интеллектуализация, визуализация процессов, роботизация и многих других, можно ожидать наступления существенного прогресса в совершенствовании автоматизированных систем управления МПО.

Развитие автоматизации невозможно остановить — она проникает во все сферы человеческой деятельности. Что касается морских подвижных объектов, то для них всегда будет актуален лозунг: «Быстрее, сильнее, глубже», и в достижении этих целей автоматизация управления будет играть ключевую роль.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Пат. № 991 СССР / А.И. Мускар. — 1921 г.
2. Информационный проспект фирмы «Sperry» (США), 1956 г.
3. Информационный проспект фирмы «Anschutz» (ФРГ), 1953 г.
4. Шлейер Г.Э., Борисов В.Г. Автоматическое управление движением морских и речных судов. — М: ИПУ РАН, 1981.

5. Волик Б.Г. Автоматизация управления подводными лодками (Опыт создания автоматизированных управляющих систем многоагрегатными техническими комплексами) // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 6.
6. Прусаков В.Т. и др. Подводная лодка, устремленная в будущее // ВПК — военно-промышленный курьер. — 2006. — № 19 (135).
7. Григорьев Б.В. Корабль, опередивший время. История проектирования, создания и эксплуатации атомных подводных лодок проекта 705 (705К). — СПб.: Тайфун, 2003. — 208 с.
8. Диомидов В.Б. Автоматическое управление движением экранопланов. — СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 1996.
9. Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О. Исследования по созданию перспективных систем управления морскими подвижными объектами и тренажерных систем // Настоящий выпуск. — С. 103—106.
10. А. с. 2004611323 РФ. Расчет динамических систем (РДС) / М.Х. Дорри, А.А. Роцин / Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 28 мая 2004.
11. Дорри М.Х., Роцин А.А. Инструментальная программно-алгоритмическая система для разработки исследовательских комплексов // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2008. — № 12. — С. 12—17.



**Дорри Манучер Хабибуллаевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией автоматизации проектирования и управления многоцелевыми объектами ИПУ, действ. член Международной академии навигации и управления движением, автор более 100 публикаций по управлению ядерными энергетическими установками, морскими подвижными объектами, теории расчета динамических процессов и разработке инструментальных программных комплексов для анализа и синтеза систем управления. ☎(495) 334-86-29, ✉ dorrimax@ipu.ru.

(Окончание. Начало см. стр. 63)

- Международная конференция «Проблемы регионального и муниципального управления»;
- Международная конференция «Управление безопасностью сложных систем»;
- Международная конференция «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM»;
- Международная научно-практическая конференция «Теория активных систем»;
- Международная научно-практическая конференция «Управление инновациями»;
- Международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем»;
- Международная конференция и выставка «Цифровая обработка сигналов»;
- Международный семинар им. Е.С. Пятницкого «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления» (STAB);
- Международный семинар-презентация и выставка по ПТК, промышленным контролерам, техническим и программным средствам АСУТП, SCADA системам, приборам и средствам автоматизации;
- Общероссийский семинар «Современные методы навигации и управления движением»;
- Российская конференция с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ).

*Более подробную информацию можно найти на сайте Института <http://www.ipu.ru>.*