

## Самоорганизующиеся системы управления судовыми техническими средствами

Выступая на парламентском часе в Госдуме в феврале текущего года, министр промышленности и энергетики В. Христенко сообщил, что в России разработана Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2030 года, направленная прежде всего на развитие гражданского судостроения. В рамках стратегии планируется создание восьми крупных интегрированных структур, три из которых будут специализироваться на проведении научных исследований и проектировании морской техники, еще три – на ее производстве и две – на судоремонте. Объемы финансирования стратегии из всех источников, включая государственные средства, предусматривают выделение средств в размере 219,2 млрд. рублей в период до 2015 года.

Это сообщение позволяет оптимистично смотреть на развитие судостроительной промышленности в ближайшей перспективе. В связи с этим целесообразно форсировать работы (НИР и ОКР), направленные на повышение эффективности и конкурентоспособности судов нового поколения отечественного флота. Настоящая статья посвящена опыту НПО "Автоматизация машин и технологий" по разработке нового поколения средств автоматизации судовых технических средств (СТС).

Возрождение российского судостроения после длительного застоя, выход производства на качественно новый уровень возможны только на базе внедрения новых инновационных технологий, в том числе в области автоматизации судовых технологических процессов. При этом проблемы оптимизации являются определяющими для всех сфер судостроения. Разработка автоматизированных СТС с оптимальными характеристиками означает повышение их конкурентоспособности, увеличение производительности оборудования, снижение топливных и энергетических затрат, экономию металла, сырья и других материальных ресурсов. Внедрение эффективных автоматизированных СТС позволит существенно повысить безопасность мореплавания, снизить эксплуатационные расходы, сократить численность судовых экипажей и повысить провозную способность судов.

Для современных СТС характерны непрерывные технологические процессы большой мощности со сложными комплексами энергетических и материальных потоков с жесткими требованиями к совокупности характеристик, вытекающими из общего целевого назначения судна,

удовлетворить которые, опираясь только на конструктивные, технологические, организационно-технические методы, почти невозможно. С началом применения в судовой энергетике ядерных реакторов, промежуточно-перегрева пара, газотурбинного наддува скорость протекающих в них процессов увеличилась более чем в три раза. Разработка математических моделей (ММ) для большинства СТС, включая указанные, как объектов управления обычно осуществляется с большими упрощениями, в частности, используются модели стационарные, линейные, низкой размерности. Фактически же эти объекты являются нестационарными, существенно нелинейными и должны описываться уравнениями высокой размерности. Для разработки систем управления этими объектами используются методы классической, а не современной теории управления. Эксплуатационные диапазоны изменения характеристик современных и особенно перспективных СТС настолько широки, что управление ими с помощью традиционных систем становится все более затруднительным. Проектирование и испытания таких систем управления затягиваются, и номенклатура их увеличивается. Таким образом, объекты управления неуклонно усложняются, а время, отводимое на разработку систем управления этими объектами, сокращается. Ужесточаются требования к обеспечению работоспособности систем управления в нештатных ситуациях, их универсальности, модульности построения, надежности, безопасности, снижению стоимости аппаратуры. Другими словами, эволюция СТС вступает в противоречие с применяемыми методами управления ими.

Повышение опасности техногенных и природных катастроф предъявляет к современным средствам автоматизации дополнительные требования. Судовой персонал, обслуживающий сложные управляющие комплексы, не сразу находит решение в нештатных, аварийных, катастрофических ситуациях, допускает роковые ошибки. В этих ситуациях необходима компьютерная поддержка и временная замена человеческого интеллекта искусственным.

В соответствии с положениями современной теории управления структурная схема системы управления нового поколения должна иметь следующий вид (рис.). Принятые обозначения:  $X$  – внутренние переменные состояния объекта управления,  $Z$  – контролируемые переменные состояния объекта управления,  $U$  – управление, индексы  $o, ш, а, м$  – соответственно "оптимальное управление",

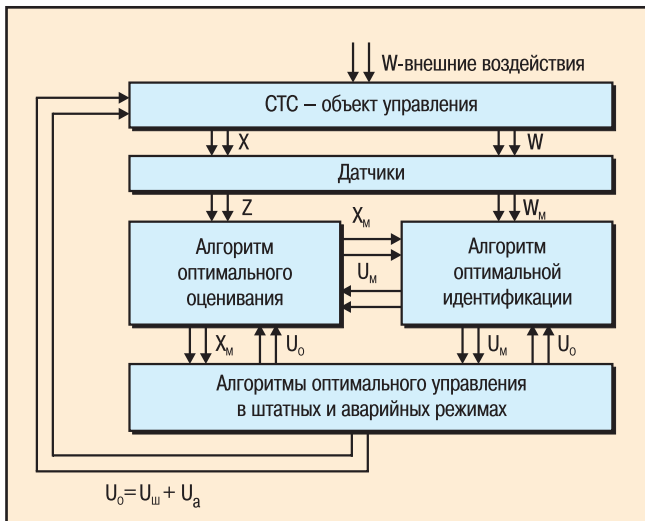


Схема перспективной оптимальной адаптивной системы управления СТС “оптимальное управление в штатном режиме”, “оптимальное управление в аварийном режиме”, “переменные модели”. Такие системы управления СТС, созданные с использованием алгоритмов оптимального оценивания, идентификации и управления объектом в штатных и аварийных режимах, являются более высококачественными по сравнению с традиционными, позволяют более обоснованно использовать программируемые контроллеры для реализации достаточно сложных алгоритмов.

Возможны самые различные реализации систем управления СТС с приведенной структурной схемой в зависимости от используемых алгоритмов оптимальных процедур оценивания, идентификации и управления.

Однако целесообразно их формирование согласовывать как с современными общими требованиями к системам управления, так и со специфическими требованиями, изложенными выше.

К основным из этих требований относятся следующие:

- ▶ минимум необходимой априорной информации не только о параметрах, но и о структуре модели управляемого объекта и внешних воздействий;
- ▶ минимальное вмешательство в естественное течение процесса;
- ▶ наличие прогнозирования управляемого процесса;
- ▶ оптимальное управление в соответствии с изменяемым комплексным критерием и ограничениями, действующими на всех этапах и во всех режимах работы объекта управления;
- ▶ наличие возможности поддержки судовых операторов в принятии решений и их временной замены контуром автоматического управления для предотвращения аварий и катастроф;
- ▶ возможность реализации на базе программируемых промышленных контроллеров.

Сравнительный анализ этих требований и требований к объектам управления в наиболее развитых областях, таких как космонавтика, авиация, ядерная энергетика, показывает их практическую идентичность.

Выполнение этих требований оказалось непростой проблемой даже для наиболее совершенного класса систем управления – адаптивных и оптимальных. Несмотря на полувековую историю их развития, поисковые и

беспоисковые адаптивные системы эвристического происхождения появились почти сразу после Второй мировой войны, огромное число публикаций и научных форумов, проблема адаптивных систем управления, по мнению инженеров и ученых, имеющих отношение к практике, до последнего времени не была решена на уровне современных требований к системам управления.

Этим требованиям, как показала практика последних лет, принципиально могут удовлетворять не все, а только адаптивные оптимальные системы управления с высоким уровнем искусственного интеллекта – самоорганизующиеся системы управления. Заметим, что термин “самоорганизующаяся система управления” был введен профессором Дж. Саридисом (США) в 1978 году. По классификации Дж. Саридиса адаптивные системы с высоким уровнем искусственного интеллекта именуются самоорганизующимися системами с функциональной (структурной) адаптацией.

Разрабатываемый вариант самоорганизующейся системы управления СТС в НПО “Автоматизация машин и технологий” по принципу действия относится к системам с дискретным временем (цифровым или импульсным). Свойства объекта управления, включая математическую модель, неизвестны. Непрерывное время разбивается на циклы, самым коротким интервалом времени является шаг. Входной величиной является сигнал рассогласования  $Z$  между задающим воздействием и выходной величиной управляемого объекта. Сигнал рассогласования с помощью алгоритмов оценивания на основе фильтров Калмана обрабатывается на каждом шаге. В блоке оптимальной идентификации по выбранному показателю, измеряемому и вычисляемому в ходе самого процесса управления, связанного с качеством, точностью регулирования на каждом цикле или на протяжении ряда циклов, осуществляется автоматический выбор порядка модели оцениваемого процесса. Исполнительная часть оптимальной системы имеет алгоритм, синтезированный на основе интегрального квадратичного критерия с учетом выбранного порядка модели. На выходе системы устанавливается экстраполятор нулевого порядка, обеспечивающий кусочно-постоянную экстраполяцию и обновление сигнала управления на каждом цикле. В течение цикла положение органа управления остается неизменным. Самоорганизация системы управления, следовательно, осуществляется с помощью взаимосвязанных принятых алгоритмов оценки состояния системы, фильтрации входной информации, структурной и параметрической адаптации автоматически формируемой модели, и наконец, автоматически определяемых оптимальных управляющих воздействий.

Проведенные исследования показали соответствие этой системы предъявляемым современным требованиям. Самоорганизующаяся оптимальная система удовлетворяет требованию минимальной необходимой априорной информации о структуре, параметрах регулируемого объекта, возмущениях и окружающей среде. Сам принцип действия системы способствует быстрой адаптации к изменению режима и структуры регулируемого объекта. Проектирование системы, ее настройка при эксплуатации не требуют наличия математической модели объекта. Другое из основных современных требований, предъявляемых к большинству систем автоматического и автомати-

зированной управления (САУ) технологическими процессами и подвижными объектами, заключается в минимальном вмешательстве в естественное свободное движение объекта, по крайней мере, в штатных режимах последнего. Это обеспечивается использованием алгоритма формирования оптимального управления в соответствии с интегральным квадратичным критерием. Минимизация интегрального квадратичного критерия неразрывно связана с прогнозированием, экстраполяцией. Как показывают многочисленные примеры управления в живой природе, прогнозирование, экстраполяция есть необходимое условие робастности. Система имеет возможность быстрой самоорганизации контуров управления в условиях аварийных нештатных ситуаций. Эта возможность и поддержка операторов при принятии решений и их временная замена контуром автоматического управления системы могут играть очень важную роль в предотвращении аварий и катастроф. Используемые алгоритмы способствуют относительной простоте программного обеспечения системы и предоставляют возможность его микропроцессорной реализации на промышленных контроллерах.

Для сложных технологических объектов замена традиционных систем автоматического управления постоянной настройкой с ПИД-законами системами нового класса приведет, как минимум, к двум важным последствиям:

- 1) влияние факторов, нарушающих заданные технологические процессы, будет парироваться этой системой регуляторов до пределов, отведенных управляющим воздействием;
- 2) текущие и экстраполируемые нарушения регулируемых технологических процессов могут практически мгновенно передаваться на информационное поле оператора или (и) автоматы защиты. Блоки оценивания (наблюдатели) данных систем могут выпускаться и применяться отдельно в качестве прогнозаторов опасных режимов, выдающих сигналы на соответствующие дисплеи или устройства для дальнейшего использования. Это обстоятельство позволяет создавать помимо систем регулирования системы контроля, диагностирования, автоматической сигнализации и аварийной защиты СТС принципиально нового типа и отличающиеся от существующих повышенной эффективностью.

В завершение изложения преимуществ самоорганизующихся систем управления следует отметить, что они могут поставляться в виде устройств, ориентированных как на конкретные новые объекты управления, так и как блоки самонастройки на объекты управления с традиционными регуляторами.

Такие самонастраивающиеся системы целесообразно использовать на судах в первую очередь в наиболее ответственных системах управления, обеспечивающих управление движением судна, пропульсивными установками, вспомогательными механизмами, электростанциями.

Обратимся, например, к особенностям систем автоматического управления движением судна по курсу – авторулевым. От их качества и надежности в значительной степени зависит безопасность мореплавания, а также технико-экономические показатели эффективности эксплуатации судов. Судно как объект системы автоматического управления движением по курсу является сложным гидро-

динамическим звеном, состоящим из корпуса судна, руля и окружающей их среды. Точное математическое описание такого звена встречает большие трудности, а получаемые при этом нелинейные уравнения чрезвычайно сложны. При этом гидродинамические коэффициенты уравнений значительно изменяются с изменением скорости хода судна и его загрузки, т.е. судно является нелинейным нестационарным объектом. Поэтому на практике для синтеза систем автоматического управления движением судна по курсу используют упрощенные линейные стационарные математические модели объекта, коэффициенты которых при различных вариантах нагрузки и скоростях хода различаются на порядок и выше. Традиционным законом управления в авторулевых является ПИД-закон. Однако уже в начале 70-х годов начались интенсивные работы по созданию новых, более эффективных систем автоматического управления движением судна. Это было связано с резким ростом цен на топливо для судовых силовых установок, необходимостью повышения безопасности мореплавания в условиях интенсивного судоходства, а также строительством крупнотоннажных и скоростных судов, автоматическое управление которыми при использовании авторулевых с традиционным законом управления не обеспечивается или обеспечивается неудовлетворительно.

Одним из основных направлений решения этой проблемы являлось создание автономных адаптивных авторулевых, обеспечивающих в большинстве случаев автоматическую настройку параметров (параметрическую адаптацию) системы при изменении состояния объекта управления и внешних условий плавания (скорости хода, осадки судна, состояния погоды, глубины под килем). Опыт эксплуатации таких адаптивных авторулевых подтвердил повышение их технико-экономической эффективности по сравнению с традиционными авторулевыми. Однако применение адаптивных авторулевых позволило лишь частично решить проблему, так как потенциальные возможности параметрической адаптации ограничены. В данном случае, в связи с указанными особенностями судна как объекта управления движением его по курсу, для полного решения проблемы требуется использование структурной и параметрической адаптации, которая не связана с математической моделью объекта и реализуется алгоритмами самоорганизующейся системы управления. Проведенные исследования подтвердили такие возможности самоорганизующейся системы управления. Приведенный пример является типовым. Такое же положение характерно для систем управления судовыми энергетическими установками (ядерными, котлотурбинными, газотурбинными, дизельными), ВРШ и другими судовыми объектами.

Комплексное рассмотрение возможностей и преимуществ самоорганизующихся систем управления СТС дает основание для утверждения, что предлагаемый подход к совершенствованию средств автоматизации различного назначения (регулирования, контроля, сигнализации, защиты и др.) судовыми техническими средствами является перспективным.

**Э. Б. Быков, к.т.н., генеральный директор,  
И. И. Туркин, д.т.н., проф., зам. генерального директора,  
НПО "АМТ"**

# Научно–производственное объединение "АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ"



## 15 лет

судостроение

нефтехимия

порты

энергетика

Системы  
управления

Распред-  
устройства

Пульты управления

НПО "АМТ"

196128, Санкт-Петербург, Благодатная ул., 6

Тел./факс: (812) 389-88-05, 389-01-79, 389-00-87

[www.amtnpo.ru](http://www.amtnpo.ru)

e-mail: [info@amtnpo.ru](mailto:info@amtnpo.ru)