

Интегрированные системы управления движением судна

Широкое внедрение современных методов и средств комплексной автоматизации на судах обеспечивает рост их провозной способности, сокращение эксплуатационных расходов, снижение уровня аварийности за счет исключения субъективных факторов из процесса управления судном в целом.

К числу судовых систем управления ответственного назначения относятся системы управления (СУ) движением судов (ДС). Параметры движения судна, характеризующегося прежде всего значениями его скорости и курса, определяются режимами работы трех комплексов – энергетической установки, винта регулируемого шага (ВРШ) и рулевого устройства. Система управления главным двигателем (ГД) энергетической установки обеспечивают требуемую частоту вращения гребного вала, а ВРШ – угол разворота его лопастей и, следовательно, упор винта. Для управления движением судна по курсу используются авторулевые.

От качества и надежности систем управления ГД, ВРШ и авторулевых в значительной степени зависит безопасность мореплавания, а также технико-экономические показатели эффективности эксплуатации судов. Однако качество этих систем управления не всегда удовлетворяет требованиям эксплуатации, а вопросы проектирования этих систем пока еще недо-

статочно разработаны. Одной из задач СУ ДС является разработка комплексных алгоритмов управления указанными комплексами на основе использования новых принципов согласования их взаимодействия. Такие СУ ДС целесообразно считать интегрированными системами автоматического управления движением судна (ИСУ ДС), так как их назначением является управление вектором движения судна, а не его отдельными составляющими.

Для отработки алгоритмов автоматизированного управления движением судна и средств их реализации необходимо проведение предпроектных исследований как самих судов, так и алгоритмов автоматизированного управления. Объединение алгоритмического обеспечения, программно-аппаратных средств отдельных систем управления ГД, ВРШ и рулевыми устройствами в единую системотехническую среду представляет собой отдельную проблему, решение которой лежит в области совершенствования методов комплексной отладки.

Как правило, этапы проектирования и комплексной отладки функционирования судовых систем управления должны предусматривать применение специализированных испытательных стендов с множеством дорогостоящих натурных имитаторов, которые после их изготовления должны проходить собственные испытания и метрологическую аттестацию.



Натурные имитаторы должны моделировать управляющие воздействия со стороны оператора, статические и динамические свойства судна и его оборудования, внешние дестабилизирующие воздействия на судно, внутренние неисправности и отказы самого оборудования.

Но даже использование стендов на базе натурных имитаторов, моделирующих такой сложный объект, как судно, не предоставляет возможности в полной мере охватить все виды многофакторных воздействий, свойственных реальным процессам его эксплуатации.

Объем проектной и расчетной документации на современные суда непрерывно увеличивается. Возрастает количество параметров с вводимыми константами и анализируемыми переменными. Становится все труднее принимать управленческие решения, связанные с оптимизацией функционирования проектируемых объектов управления при минимальных затратах на их разработку и эксплуатацию.

Современные информационные технологии предоставляют новые возможности эффективного проектирования и анализа систем взаимодействия, отражающих реальные процессы управления поведением объектов локальной или сетевой структуры, подвергаемых внешним и внутренним дестабилизирующим воздействиям. Ввиду возрастающей сложности интегрированных систем управления, контроля, защиты и диагностирования требуются качественно новые подходы к их проектированию, при которых трудозатраты и сроки выполнения комплекса проектно-конструкторских работ были бы сведены к минимуму.

Одним из перспективных подходов при разработке сложных систем управления, к которым относятся системы автоматического управления движением судна, является переход на компьютерные технологии, реализуемые на виртуальном уровне. Эти технологии в конечном итоге позволяют в значительной мере отказаться от дорогостоящих имитационных стендовых испытаний, что существенно снижает затраты на разработку программируемых средств автоматизации и сокращает сроки сдачи продукции заказчику.

Компьютерные модели сложных систем должны строиться на модульных принципах многоуровневой иерархии. Уровень сложности разрабатываемой модели зависит от факторов, которые на выбранном уровне абстракции рассматриваются как наиболее существенные.

Структурные элементы моделей описываются взаимосвязанными передаточными математическими и логическими операторами. В зависимости от выбранного уровня сложности структурные элементы объектов и алгоритмов управления могут иметь вид простейших операторов с минимальным набором элементарных звеньев или более сложных операторов, входящих в операторы еще более высоких уровней.

Проблема формирования моделей заключается в том, что для этого, как правило, требуется при-

влечение программистов, которые сами не владеют предметом разработки. Поэтому оценить адекватность модели поставленной задаче может только предметный специалист. Однако он, в свою очередь, не имеет требуемой подготовки в программировании и не может непосредственно влиять на разработку моделей и их отладку.

Возрастающая сложность проектов, связанных с разработкой интегрированных систем управления, контроля, защиты и диагностирования автоматизируемых объектов, поставила перед НПО "АМТ" задачу создания собственных инструментально-методологических средств, позволяющих предметному специалисту ускорить процесс разработки алгоритмической части программного обеспечения программируемых контроллеров систем управления.

Предприятием разработана универсальная объектно-ориентированная программно-инструментальная оболочка OURCAD (The Object Universal Resolver-CAD), работающая в среде Windows и предназначенная для разработки моделей, предпроектных исследований, компьютерного моделирования и комплексной отладки сложных дискретных и непрерывных динамических систем управления.

Модульный принцип структурирования моделей, большой объем математических и логических функций предоставляют широкие возможности оперативного ввода данных как при разработке простейших алгоритмов управления моделируемыми процессами, так и при создании сложных систем интегрированного взаимодействия локальной и сетевой структуры.

Моделирование основано на принципах логического и математического преобразования структурных передаточных операторов и выполняется как в расчетном режиме с заданным шагом дискретизации, так и в выбранном масштабе реального времени.

В процессе расчета имеется возможность управлять поведением модели, имитируя управляющие и возмущающие воздействия на автоматизируемые объекты управления по любым сформированным законам. Значения оцениваемых параметров в цифровом, сигнальном и графическом виде выводятся на дисплей ПК, с которого ведется управление.

После отладки интегрированного взаимодействия моделей автоматизируемых объектов выполняется разработка алгоритмической части прикладного программного обеспечения для программируемых контроллеров и последующая комплексная отладка системы управления в целом.

Указанный подход к разработке алгоритмического обеспечения ИСУ ДС включает основные этапы – формирование математической модели судовых комплексов как объектов управления, обеспечивающих движение судна по курсу и значения его скорости; обоснование и формализацию критериев оптимальности (эффективности) функционирования СУ; разработку совокупности алгоритмов управления, обеспечивающих требуемое значение (максимальное или минимальное) принятых критериев оптимальности.

Математическая модель судна как объекта интегрированного управления его движением

Структура ИСУ ДС, оснащенного ГД, ВРШ и рулевым устройством, показана на рис. 1. Традиционным является рассмотрение судна как объекта управления движением по курсу и значениями скорости в виде совокупности трех автономных объектов: судна как объекта управления; главного двигателя, гребного вала как объекта управления его частотой вращения; ВРШ как объекта управления углом разворота его лопастей. Взаимосвязи между указанными объектами при таком рассмотрении, как правило, рассматриваются как внешние воздействия.

Математические модели (ММ) объектов разрабатываются на базе рабочей документации судна конкретного проекта, исходя из данных, предоставляемых заказчиком. При разработке виртуальной модели судна учитываются его размерения, центры парусности надводной и подводной частей судна, расположение судового оборудования по отношению

к центру тяжести судна, в том числе главного двигателя, ВРШ и рулевого устройства, а также другие статические и динамические характеристики судна и его оборудования. Учитываются ограничения, связанные с условиями плавания судна и другими его особенностями.

Требования к выбору конкретных пакетов ММ определяются целевым назначением судна, особенностями его конструкции, судовых технических средств, влияющих на параметры движения судна, и другими факторами.

Фактически, с точки зрения теории управления, судно как объект управления его курсом и скоростью является многомерным. Особенностью многомерных объектов управления, как известно, является наличие перекрестных связей передачи сигналов от входов к выходам. Внутренняя структура многомерных объектов оказывает существенное влияние на методы формирования алгоритмов управления этими объектами. В связи с этим формирование ММ судна как многомерного объекта управления вектором его движения имеет принципиальное значение.

Критерии оптимальности

Для оценки качества работы каждого из трех упомянутых автоматизированных комплексов – энергетической установки, ВРШ и рулевого устройства – используются, как известно, специфические показатели.

Наиболее важным технико-экономическим показателем работы судна при его движении прямым заданным курсом является эксплуатационная скорость, то есть сред-

няя скорость движения судна по линии заданного пути при постоянной мощности судовой пропульсивной установки. Однако этот показатель не может быть принят для непосредственной оценки качества работы системы автоматического управления движением судна по курсу, поскольку величина эксплуатационной скорости зависит не только от качества работы системы управления курсом, но и от других факторов (стабильности работы судовой пропульсивной установки, влияния ветра и течения на корпус судна, обрастания корпуса и других причин). Непосредственное влияние на величину эксплуатационной скорости оказывают такие факторы, связанные с качеством работы авторулевого, как точность удержания судна на курсе, величина и период рысканья, а также амплитуда и частота

углов перекаладки руля.

В случае рассмотрения судна как многомерного объекта управления более целесообразным является применение не одного, а ряда комплексных критериев, характеризующих одновременно как эффективность работы каждого комплекса, так и судна как автоматизированного объекта управления вектором его движения.

Таковыми критериями могут быть критерии эффективности часового расхода топлива пропульсивной установки, путевого расхода, скорости движения судна (эксплуатационной скорости), в том числе и при движении на мелководье. Наряду с ними оценка качества работы ИСУ ДС может осуществляться по критериям быстродействия (обеспечение максимально возможной скорости судна при надежной работе всех комплексов, его маневренности и т. д.), долговечности оборудования, безопасности, экологическим критериям.

Алгоритмы управления

Анализ показывает, что совершенствование алгоритмического обеспечения автономных систем управления ГД и ВРШ осуществляется путем реализации оптимальных и адаптивных принципов управления. Развитие систем управления движением судов по курсу связано в основном с двумя направлениями:

- ▶ созданием автоматизированных навигационно-управляющих комплексов, обеспечивающих заданные критерии качества при различных режимах работы. Эти комплексы используются на крупнотоннажных и скоростных судах;
 - ▶ применением в автономных авторулевых адаптивных и оптимальных алгоритмов управления.
- Применение навигационно-управляющих комплексов позволяет решать задачи динамической стабилизации судов по курсу, в том числе и при движении по траектории, в част-

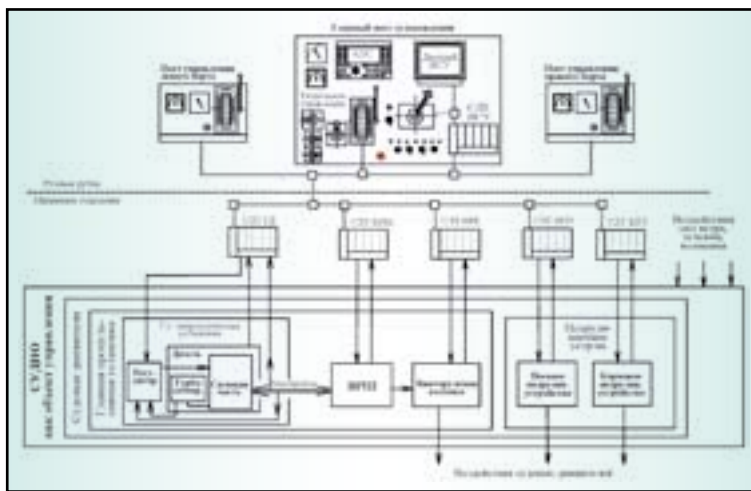


Рис. 1. Структурная схема интегрированной системы управления движением судна

ности задачи проводки судов по фарватерам, плавания по заданной траектории движения, оптимизации систем управления движением судна путем адаптации их параметров к изменению внешних условий плавания, а также учета динамических характеристик объекта. Адаптивные алгоритмы автономных авторулевых обеспечивают настройку параметров системы при изменении состояния объекта управления и внешних условий плавания (скорости хода, осадки судна, состояния погоды, глубины под килем).

Алгоритмы управления рассматриваемой ИСУ ДС принципиально отличаются от традиционных, применяемых в автономных системах управления ГД, ВРШ и авторулевыми. Это отличие заключается в обеспечении согласованного комплексного управления ГД, ВРШ и рулевым устройством исходя из конкретных критериев оптимальности. Возможность разработки таких алгоритмов появляется только при принятии ММ судна как многомерного объекта управления вектором его движения, наличии комплексов критериев оптимальности и использовании методов аналитического конструирования алгоритмов связного управления.

Реализация моделей ИСУ ДС с различными алгоритмами управления осуществляется с помощью программно-инструментальной оболочки OURCAD.

Анализ моделей ИСУ ДС

Разработанное алгоритмическое обеспечение ИСУ ДС – блок алгоритмов оптимального управления для различных критериев оптимальности и сценариев работы взаимосвязанных автоматизированных судовых комплексов – позволяет оценить их влияние на показатели эффективности движения и эксплуатации судна. В частности, имеется возможность выполнить анализ и прогнозирование следующих показателей:

- ▶ характеристик движения судна как многомерного объекта управления, обусловленного работой главного двигателя, ВРШ и рулевого устройства при отсутствии природных воздействий на судно, линейных и угловых отклонений судна от его центра тяжести, координат центра вращения судна при его движении;
- ▶ характеристик движения судна при задании различных режимов работы главного двигателя, ВРШ и рулевого устройства с учетом управляющих и природных дестабилизирующих воздействий;
- ▶ показателей, характеризующих точность удержания судна на курсе, величину и период рысканья, а также амплитуду и частоту углов перекаладки руля при выбранных алгоритмах управления;
- ▶ эффективности конкретных согласованных алгоритмов автоматизированного управления курсом и скоростью движения судна.

На рис. 2 представлено отображение на дисплее органов управления ГД, ВРШ и рулевым устройством с контролем параметров и показателей эффективности движения судна при конкретных комплексных алгоритмах оптимального управления. В качестве критериев оптимальности приняты критерии эффективности ча-

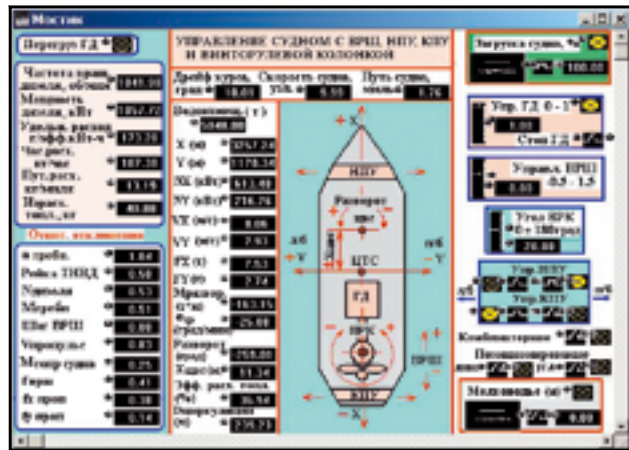


Рис. 2. Пример отображения на дисплее органов управления ГД, ВРШ и рулевым устройством с контролем параметров и показателей движения судна

сового расхода топлива пропульсивной установки, путевого расхода топлива, скорости движения судна.

Помимо своего основного назначения, направленного на разработку алгоритмической части программного обеспечения контроллеров ИСУ ДС, разработанные модели могут иметь самостоятельное применение.

После разработки моделей ИСУ ДС для судна конкретного проекта и проверки адекватности их поведения в сопоставлении с реальными данными они записываются на диск и могут являться приложением к судовой эксплуатационной документации.

С целью более глубокого изучения конструктивных особенностей судна и его безопасной эксплуатации судовой экипаж может использовать разработанные модели в качестве специальной тренажерной программы, в том числе для приобретения навыков при судовождении и моделировании непредвиденных аварийных ситуаций.

Таким образом, применение интегрированных систем управления движением судна позволяет осуществлять оптимизацию статических и динамических режимов работы автоматизированных комплексов ГД, ВРШ и рулевого устройства исходя из критериев, характеризующих эффективность как каждого из указанных комплексов, так и их совокупности при обеспечении движения судна. При традиционном подходе автоматизированные комплексы ГД, ВРШ и рулевого устройства рассматриваются как автономные. Использование средств отображения информации для контроля параметров и показателей эффективности движения судна с применением конкретных комплексных алгоритмов оптимального управления подсистемами ИСУ ДС приводит к возможности оперативного принятия решений по изменению режимов, а также алгоритмов их работы. Для реализации алгоритмов интегрированного управления движением судна используются программируемые контроллеры. При этом заказчик должен требовать обеспечения аппаратурной унификации подсистем ИСУ ДС.

Э. Б. Быков, к.т.н., А. В. Козлов, д.т.н.,
И. И. Туркин, д.т.н., проф., НПО "АМТ"



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ

www.amtnpo.ru



**Комплексные поставки
унифицированных систем
управления нового поколения
и электрооборудования
для судостроения, портов
и предприятий
нефтехимической
промышленности**

Адрес: Россия, 196128 Санкт-Петербург, ул. Благодатная, д. 6, лит. Б
Тел/факс: +7(812) 369-88-05; 369-01-79; 363-25-18(19); 369-00-87
E-mail: info@amtnpo.ru Web-сайт: www.amtnpo.ru