

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В настоящее время практически все промышленно развитые страны интенсивно работают по созданию новых, более эффективных систем автоматического управления движением судна, обладающих повышенной эксплуатационной надежностью. Объясняется это в первую очередь необходимостью безопасности мореплавания в условиях интенсивного судоходства, резким ростом цен на топливо для судовых силовых установок, а также требованиями экологических аспектов эксплуатации морского и речного флота, строительством крупнотоннажных и скоростных судов, автоматическое управление которыми при использовании обычных авторулевых не обеспечивается или обеспечивается неудовлетворительно. Автоматизация процессов и операций на судах приводит к уменьшению потерь ходового времени, снижению себестоимости перевозок, сокращения численности экипажей, повышению надежности оборудования, снижению аварийности.

Применение традиционных методов теории автоматического управления для решения поставленной задачи на сегодняшний день представляется довольно затруднительным в силу следующих особенностей морского судна как управляемого объекта: судно представляет собой сложный, существенно нелинейный динамический объект, построение адекватной математической модели которого представляет серьезные трудности. Вместе с тем современный флот оснащается системами, построенными на старой элементной базе с использованием традиционных принципов управления (ПИД регулирование) требующих перенастройки коэффициентов при изменении параметров системы.

В тоже время, одним из весьма перспективных методов создания систем управления движением судна (СУДС), обладающих требуемыми показателями робастности, качества и адаптивности, является применение нечеткой логики, а также комбинированных подходов, сочетающих «четкие» и нечеткие компоненты. Если в традиционной системе управления реализуется конкретный вычислительный алгоритм, то в нечетких и комбинированных системах возможна реализация множества алгоритмов в реальном масштабе времени. Если вопросы применения инженерных методов теории регулирования и оптимального управления в синтезе СУДС исследуются достаточно давно [1, 2], адаптивного управления только в последние десятилетие [3, 2], то применение интеллектуальных систем стали обсуждаться лишь в последние годы [4, 5, 6].

В докладе рассматривается задача стабилизации судна по курсу и траектории. Движение судна [7] под влиянием ветро-волновых возмущений, вследствие несимметрии корпуса, неравномерности работы главных механизмов и т.п. сопровождается постоянным уходом с заданного курса. Математическая модель возмущенного движения рыскания судна (без учета динамики рулевого привода) имеет вид:  $\dot{x} = Ax + B\delta + CW$ ,

Здесь

$$x = \begin{bmatrix} \omega_y \\ \beta \\ \varphi \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad W = \begin{bmatrix} w \\ \theta_\gamma \end{bmatrix},$$

где  $\varphi$  - значение истинного курса;

$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$  - угловая скорость рыскания;

$\beta, \delta$  - углы дрейфа и перекадки вертикального руля;

$\theta_\gamma(t)$  - поперечная составляющая приведенного угла волнового склона;

$W$  - вектор ветровых возмущений ;

$a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, b_{11}, b_{21}, c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$  - параметры модели судна.

Для решения проблем качества, робастности и адаптивности, указанных выше, в докладе рассмотрен подход построения СУДС с применением нечеткой логики. Последующий синтез СУДС и ее исследования проводились для судна, имеющего следующие измерения: объемное водоизмещение 5315 м<sup>3</sup>; длина по ватерлинии 99.6 м; ширина по ватерлинии 16 м. В качестве среды моделирования использовался инженерный пакет Matlab 7.0. Система управления курсом судна с нечетким регулятором представлена на рисунке 1.

В качестве входного сигнала нечеткого регулятора была выбрана угловая скорость рыскания. Параметры заключений нечеткой системы определялись из решения уравнения Риккати при увеличении постоянных времени, характеризующих загрузку судна, в 2, 4 и 8 раз. При построении функций принадлежности (ФП) сначала анализируемый сигнал представляется в виде эмпирической ФП с использованием статистических методов, затем методами оптимизации находились параметры типовых ФП. Оптимизируемым параметром при этом является мощностью (кардинальное число) нечеткого множества [8]. Для дефазификации в нечеткой системе используется метод центра тяжести.

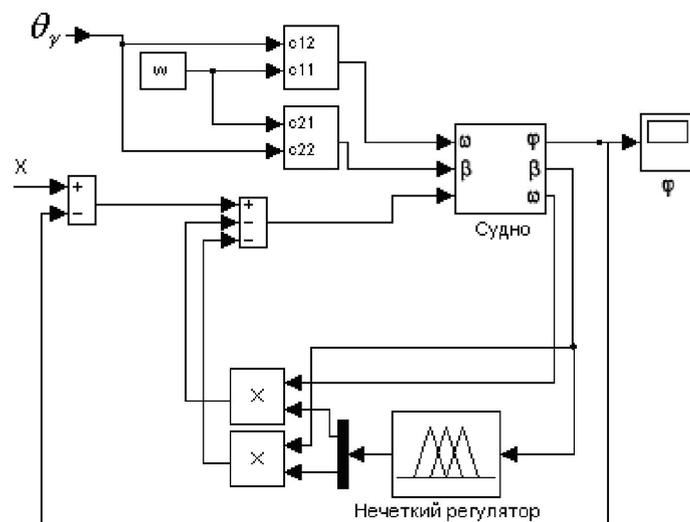


Рис. 1. Система управления курсом судна с нечетким регулятором

Эффективность работы регуляторов оценивалась при изменении влияния внешней среды и загрузки судна посредством изменения значений постоянных времени модели судна. Кривые переходных процессов при одновременном увеличении (в 6 раз) значений постоянных времени модели судна и с учетом аддитивного возмущения (случайный процесс со спектром типового волнения с ветром 4 балла) показаны на рис. 2.

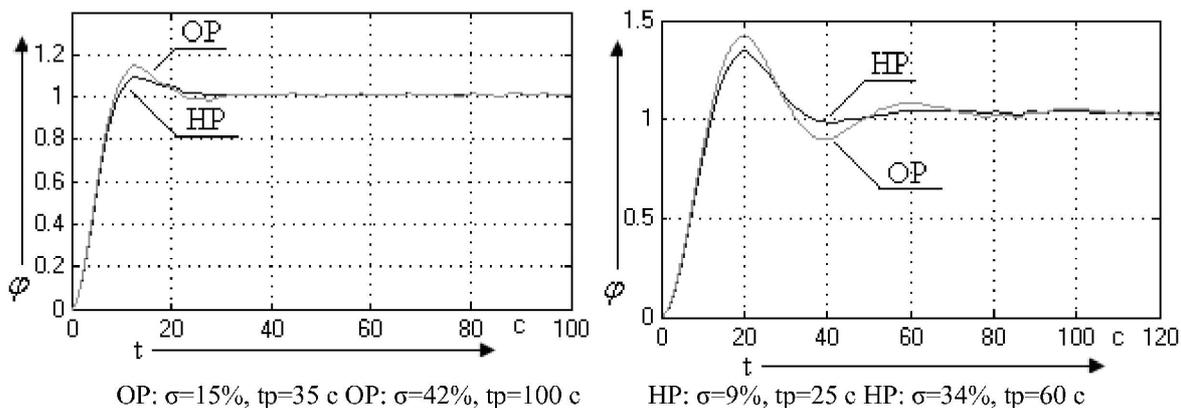


Рис. 2. Сравнительный анализ систем управления движением с оптимальным и нечетким регулятором.

Т.о. при решении задач управления динамикой судном по сравнению с оптимальными регуляторами нечеткий подход показал существенное преимущество в эффективности, а именно: расширение запаса устойчивости и грубости нечетких систем управления динамикой судна по курсу и траектории в условиях изменения скорости хода, вариаций параметров (до 5 раз) и действия типовых ветро-волновых возмущений. При увеличении постоянных времени в 6 раз для систем управления динамикой судна по курсу перерегулирование уменьшается в более 100, а время регулирования в более 8 раз.

#### Литература:

1. Лукомский, Ю.А. Управление морскими подвижными объектами / Ю.А. Лукомский, В.М. Корчанов. - СПб.: Элмор, 1996. - 320 с.
2. Острецов, Г.Э. Основные этапы автоматизации управления движением морского судна / Г.Э. Острецов, Л.М. Клячко // Судостроение. -2005. - №4. - С.55-59.
3. Березин, С.Я. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С.Я. Березин, Б.А. Тетюев. - Л.: Судостроение, 1990. - 256 с.
4. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 344 с.
5. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. - М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. - 452 с.
6. Скороходов, Д. А. Системы управления движением кораблей с динамическими принципами поддержания / Д. А. Скороходов.- СПб: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2000.- 282 с.
7. Компьютерное моделирование систем управления движением морских подвижных объектов/ Е.И. Веремей, В.М. Корчанов, М.В.Каровский, С.В.Погожев. - СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2002. - 370 с
8. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн– Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. - 320 с.