

В 2009 г. ЗАО «Трансас» осуществил поставку навигационно-тактического комплекса (НТК) «ТРИМС-22460» для пограничного сторожевого корабля пр. 22460 «Рубин», построенного на ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз».

Новый навигационно-тактический комплекс «ТРИМС-22460», позволяющий достичь уровень автоматизации корабля до класса АУТ1, содержит систему координированного управления SKU-22460 разработки ЗАО «Трансас», предназначенную для управления кораблем на малых ходах с помощью единой рукоятки комбинированного управления (РКУ), которую часто называют джойстиком. Эта система позволяет удерживать судно на курсе и в заданной точке, а также двигаться лагом с учетом ограниченной мощности подруливающего устройства и действующего ветра.

Разработанная система SKU-22460 может быть отнесена к классу систем динамического позиционирования (DP/СМ) по классификации Lloyds или к классу DYNPOS AUTS по классификации DNV.

В SKU-22460 реализованы следующие основные функции:

- ручное изменение направления движения и положения корабля в пространстве, включая движение лагом и разворот на месте;
- переход на новый курс и удержание судна на текущем курсе;
- удержание судна в текущей точке, в том числе на оптимальном курсе, при котором обеспечиваются минимальные значения упоров средств активного управления для удержания корабля;
- функции аварийно-предупредительной сигнализации, включая самоконтроль системы, контроль датчиков информации и систем дистанционного автоматизированного управления (ДАУ), а также контроль потребляемой электроэнергии.

SKU-22460 состоит из прибора вычислительного ПВ, каркаса соединительного КС-СКУ и панелей контроля и управления ПКУ-СКУ-АПС и ПКУ-СКУ-РКУ. Для настройки и проверки системы используется переносной компьютер и внешнее запоминающее устройство.

Структурная схема SKU-22460 приведена на рис.1.

Прибор вычислительный ПВ обеспечивает ввод сигналов с датчиков информации, обмен сигналами с ПКУ-СКУ-АПС, ПКУ-СКУ-РКУ и настольным компьютером, запись информации на внешнее запоминающее устройство; формирование сигналов управления в системы ДАУ, обмен сигналами с системами ДАУ и выдачу

## СИСТЕМА КОординированного УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОРАБЛЯ

**В.М. Амбросовский, канд. техн. наук, доцент, гл. конструктор,  
Ю.В. Баллов, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, технический директор,  
А.Н. Кодаев, начальник отдела,  
А.С. Корнеев, ст. инженер,  
ЗАО «Трансас»,  
контакт. тел. (812)325 31 31**

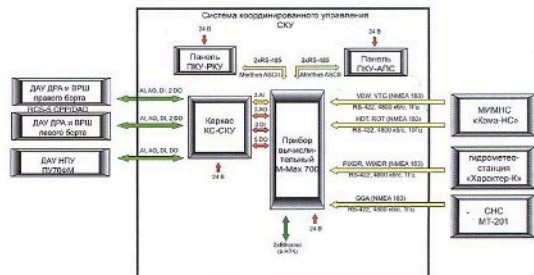


Рис.1. Структурная схема SKU-22460

информации по дублированной шине Ethernet в интегрированную мостиковую систему.

В качестве прибора ПВ в системе SKU-22460 используется защищенный компьютер морского исполнения M-MAH700 [1] компании «Микро МАХ».

Панель контроля и управления ПКУ-СКУ-АПС предназначена для включения/выключения SKU, задания режимов ее работы, индикации и сигнализации о неисправностях и систем ДАУ, управляемых от SKU, к которым относится ДАУ носового подруливающего устройства (НПУ), ДАУ оборотов главного двигателя (ГД) и ДАУ винта регулируемого шага (ВРШ). SKU-22460 управляет изменением оборотов НПУ и изменением шага ВРШ левого и правого борта.

Панель ПКУ-СКУ-РКУ предназначена для управления движением корабля путем формирования заданных управляющих сигналов, передаваемых в ПВ. Панель ПКУ-СКУ-РКУ должна обеспечивать выдачу трех сигналов управления (заданный момент поворота, заданный продольный упор и заданный поперечный упор) от РКУ.

Эта панель ПКУ-СКУ-РКУ устанавли-

вается в пульт управления в рулевой (ходовой) рубке.

Каркас соединительный КС-СКУ предназначен для обеспечения гальванической развязки и преобразования аналоговых сигналов системы ДАУ и системы SKU.

Информационное обеспечение системы SKU-22460 включает:

- морскую интегрированную малогабаритную навигационную систему (ММННС) «Кама-НС»;
- корабельную гидрометеостанцию «Характер-К»;
- приемник спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС МТ-201 РИВР.

Управление рулями направления не осуществляется вследствие их малой эффективности на малых ходах, поскольку эти рули стоят вне струи ВРШ.

Важнейшей составляющей системы SKU является программное обеспечение (ПО), которое включает общее ПО, системное ПО и специальное ПО. Основой специального ПО является алгоритмическое обеспечение SKU-22460, включающее алгоритмы обработки навигационных данных (алгоритмы фильтрации и оценивания), алгоритмы управления и алгоритмы обеспечения отказоустойчивости. Структура алгоритмического обеспечения представлена на рис.2.



Рис. 2. Структура алгоритмического обеспечения SKU-22460

Основными алгоритмами управления SKU-22460 являются: алгоритм распределения заданных упоров по средствам активного управления; алгоритм формирования заданных сил и моментов средств активного управления при движении с заданным ветром скорости; алгоритмы управления кораблем по курсу (алгоритмы маневрирования (разворот, переход на новый курс) и стабилизации), алгоритм удержания судна в точке (алгоритм стабилизации) и алгоритмы выхода корабля в заданную точку (алгоритм маневрирования по местоположению).

В качестве примера рассмотрим алгоритм распределения заданных упоров НПУ и ВРШ, схематическое изображение которых показано на рис. 3.

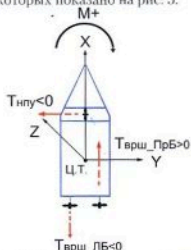


Рис. 3. Структура упоров НПУ и ВРШ

Этот алгоритм для корабля, оборудованного НПУ и двумя ВРШ, имеет вид

$$\begin{aligned} X &= T_{\text{НПУ}} \cdot \text{ЛБ} + T_{\text{ВРШ}} \cdot \text{ПРБ} + X_{\text{век}} + X_{\text{ветр}}, \\ Y &= T_{\text{НПУ}} \cdot \text{ЛП} + Y_{\text{век}} + Y_{\text{ветр}}, \\ M &= T_{\text{НПУ}} \cdot L_{x, \text{НПУ}} + L_{x, \text{ВРШ}} \cdot \text{ПРБ} - \\ &\quad - T_{\text{ВРШ}} \cdot \text{ЛБ} + M_{\text{век}} + M_{\text{ветр}}, \end{aligned}$$

где  $X, Y, M$  – заданные продольная и поперечные силы и заданный разворачивающий момент, а  $T_{\text{ВРШ}} \cdot \text{ЛБ}$ ,  $T_{\text{ВРШ}} \cdot \text{ПРБ}$  и  $T_{\text{НПУ}}$  – силы, создаваемые ВРШ

и НПУ, которые в общем случае являются функциями с неизвестными параметрами.

Решение задачи распределения упоров сводится к решению системы уравнений при наличии ограничений следующих ограничений:

$$\begin{aligned} |T_{\text{НПУ}}| &< T_{\text{max(НПУ)}}; |T_{\text{ВРШ}}| > T_{\text{min(ВРШ)}}; \\ T_{\text{ВРШЛ}} &< T_{\text{ВРШП}} < T_{\text{max(ВРШ)}} \end{aligned} \quad (\text{для ВРШ каждого борта}).$$

Рассматриваемая задача может иметь решение, в том числе – единственное, но может и не иметь решения. Наличие или отсутствие решения зависит в первую очередь от вышеприведенных ограничений.

Сила и момент от ветра ( $X_{\text{ветр}}, Y_{\text{ветр}}, M_{\text{ветр}}$ ) оценивается с помощью известных зависимостей:

$$X_{\text{ветр}} = 0.5 C_{ax}(\gamma) \cdot \rho_a \cdot S_{\text{СЛР}} \cdot V_a^2;$$

$$Y_{\text{ветр}} = 0.5 C_{ay}(\gamma) \cdot \rho_a \cdot S_{\text{СЛР}} \cdot V_a^2;$$

$$M_{\text{ветр}} = 0.5 C_{am}(\gamma) \cdot \rho_a \cdot S_{\text{СЛР}} \cdot V_a^2;$$

где  $C_{ax}, C_{ay}, C_{am}$  – аэродинамические коэффициенты, которые могут быть определены с помощью продувки модели корабля в аэродинамической трубе; а  $\gamma$  – угол встречи с ветром.

Сила и момент от ветра ( $X_{\text{век}}, Y_{\text{век}}, M_{\text{век}}$ ) оценивается с на основе данных, получаемых от приемника спутниковой навигации, МИМНС и математической модели движения корабля.

Алгоритмы фильтрации и оценивания параметров продольного, поперечного и вращательного движения; алгоритм оценки возмущений (оценка параметров течения, сил и моментов от ветра). Алгоритмы обеспечения отказоустойчивости [2] включают прежде всего алгоритмы определения отказов навигационных датчиков и средств активного управления (НПУ, ВРШ).

Важная составляющая алгоритмического обеспечения – алгоритмы идентификации упоров средств активного управления (НПУ, ВРШ), которые позволяют определить упоры НПУ и ВРШ на швартовах и оценить зависимость сил создаваемых НПУ и ВРШ от параметров движения корабля. Это группа алгоритмов идентификации сил и моментов средств активного управления и идентификации параметров модели движения корабля.

В качестве примера рассмотрим задачу определения соотношения сил от ВРШ и НПУ. Соотношение между силами создаваемыми ВРШ и НПУ можно определить выполнив ряд маневров. Одним из таких маневров является компенсация момента создаваемого ВРШ моментами создаваемым НПУ. На рис. 4 приведены графики изменения оборотов НПУ при изменении шага ВРШ левого и правого борта, которые создают разворачивающий момент.

Ряд подобных специальных маневров позволяет определять зависимости сил и моментов НПУ и ВРШ от скорости вращения электродвигателя НПУ, скорости вращения гребного вала и шага ВРШ или определить коэффициенты упоров гребных винтов.

Решение зависимостей сил и моментов, создаваемых средствами активного управления, и восстановление кривых действия ВРШ позволяет определять после решения задачи распределения упоров управляющие сигналы для систем ДАУ. Например, по заданной силе ВРШ с использованием известной зависимости

$$T_{\text{ВРШ}} = K_f(h_p, \lambda_p) \cdot \rho \cdot n_{\text{ВРШ}}^2 \cdot D_{\text{ВРШ}}^4,$$

где  $h_p$  – шаг ВРШ,  $\lambda_p$  – относительная глубина, определяется коэффициент упора  $K_f$ .

По кривым действия ВРШ  $K_f(h, \lambda_p)$  находят необходимый шаг ВРШ  $h_p$ , зна-

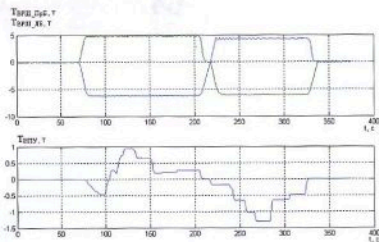


Рис. 4. Компенсация момента от ВРШ с помощью момента от НПУ

чение которого используется для формирования управляющего воздействия  $U_A$  на ДАУ ВРШ.

Определение заданных сил и моментов в режимах автоматического управления («Удержание курса», «Удержание точки» и «Удержание точки оптимального курса») может выполняться с использованием адаптивных ПИД-регуляторов для продольной и боковой силы и разворачивающего момента. Управляющие силы и момент формируются в виде:

$$X^* = k_{\text{max}} (k_x \Delta \hat{x} + k_{\dot{x}} \dot{\hat{x}} + k_{\ddot{x}} \int \Delta \hat{x} dt);$$

$$Y^* = k_{\text{max}} (k_y \Delta \hat{y} + k_{\dot{y}} \dot{\hat{y}} + k_{\ddot{y}} \int \Delta \hat{y} dt);$$

$$M^* = k_{M \text{max}} (k_{\omega} \Delta \hat{\omega} + k_{\dot{\omega}} \dot{\hat{\omega}} + k_{\ddot{\omega}} \int \Delta \hat{\omega} dt),$$

где  $k_j$  – коэффициенты.

Коэффициенты адаптивных ПИД-регуляторов настраиваются в процессе работы системы СКУ, а в качестве параметров продольного, бокового и вращательного движения используются соответствующие оценки ( $\hat{\cdot}$ ), получаемые с помощью фильтров. Наличие интегральной составляющей позволяет компенсировать ошибки в оценках сил и моментов от ветра и течения.

Разработанные алгоритмы управления были реализованы в СКУ-22460 и успешно проверены в 2010 г. в районе г. Новороссийск. Некоторые результаты этих испытаний приведены ниже.

На рис. 5, 6 и 7 показан результат управления СКУ-22460 в режиме «Удержание точки». Корабль шел в режиме управления от РКУ, затем был включен режим «Удержание точки», а потом был включен режим «Удержание в точке с оптимальным курсом». Из рис. 6. видно, что система достаточно хорошо (с допустимым отклонением) удерживает корабль в точке. При сильных возмущениях целесообразно автоматически выбирать оптимальный курс, так как качество стабилизации корабля в первую очередь зависит от мощности средств активного управления и от действующих возмущений.

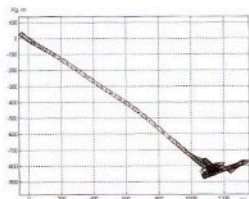


Рис. 5. Траектория движения корабля в режиме управления «Удержание точки».

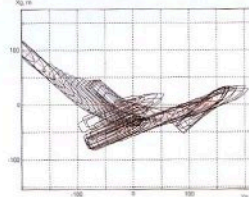


Рис. 6. Траектория движения корабля в режиме управления «Удержание точки»

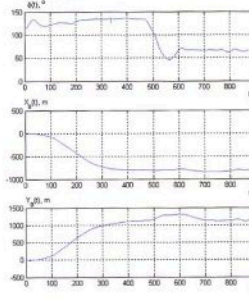


Рис. 7. Временные характеристики изменения координат и курса корабля в режиме управления «Удержание точки»

На рис. 8 и 9 показан результат управления СКУ-22460 в режиме «Удержание курса». В начале маневра РКУ была в нулевом положении, затем был дан первый ход при помощи РКУ, курс удерживался все время. Из рис. 8 видно, что система СКУ позволяет удерживать курс с хорошей точностью при весьма существенных маневрах. Эта функция управления существенно отличается от функции авторулевого, так как авторулевой принципиально не работает на низких скоростях хода корабля.

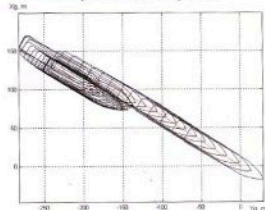


Рис. 8. Траектория движения корабля в режиме управления «Удержание курса» с ручным управлением движением корабля с помощью РКУ

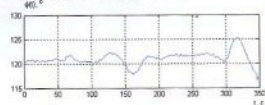


Рис. 9. Временные характеристики изменения координат и курса корабля в режиме управления в режиме «Удержание курса» с ручным управлением движением корабля с помощью РКУ

Как видно из приведенных результатов, система СКУ-22460 разработанная в ЗАО «Транзас», позволяет достаточно хорошо реализовывать функции управления движением корабля на малых ходах в режимах удержания курса и точки. Наиболее существенными факторами, влияющими на качество управления и стабилизации корабля, являются мощность средств активного управления движением (НПУ и ВРШ), возможность их длительной работы, в том числе работы ВРШ на заднем ходу и качество алгоритмов маневрирования и стабилизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шатазов А.Т. Децифит // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №9. – С.20–21.
2. Амбросовский В.М., Кац Е.Б., Скороходов Д.А. Алгоритм обеспечения отказоустойчивости систем управления движением судов на подводных крыльях. // Пироксония и навигация. – 2000. – №2 (29). – С.11–20. ■