

- [2] Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. «Основы цифровой обработки сигналов. 2-е издание», Санкт-Петербург «БВХ-Петербург» 2005 г.
 [3] <http://prodav.narod.ru/wavelet/index.html>.

Л.С. Грошева., В.И. Мерзляков
 ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ РЕАКЦИИ СИСТЕМЫ КОРПУС–ДВИЖИТЕЛЬ ДЛЯ СУДНА С КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ

С помощью пакета MatLab проведено исследование влияния времени ожидания реакции системы на управляющее воздействие на качественные показатели процесса управления.

Для исследования динамических характеристик судна с КДРК при реализации различных алгоритмов управления использована математическая модель, предложенная в [1]:

$$\begin{cases} \tau_p \cdot \frac{dn_1}{dt} + n_1 = f_{pr}(t, U_1) \cdot n_{max}; \\ \tau_p \cdot \frac{dn_2}{dt} + n_2 = f_{pr}(t, U_2) \cdot n_{max}; \\ m \frac{dV}{dt} = A \cdot [C_p(n_1, V) \cdot n_1^2 \cdot \text{sign}(n_1) + C_p(n_2, V) \cdot n_2^2 \cdot \text{sign}(n_2)] - \zeta \frac{\rho V^2}{2} \Omega_{cm}; \\ J \frac{d\omega}{dt} = B \cdot [C_p(n_1, V) \cdot n_1^2 - C_p(n_2, V) \cdot n_2^2] - M_R \cdot \text{sign}(\omega), \end{cases} \quad (1)$$

где n_1 – частота вращения левого гребного колеса, n_2 – частота вращения правого гребного колеса, n_{max} – максимальная частота вращения колеса, $f_{pr}(t, U)$ – кривая разгона частотного привода (программируется при его настройке), V – линейная скорость движения судна, m – масса судна, J – момент инерции судна с учетом присоединенных масс воды относительно центра масс, M_R – момент силы сопротивления воды, ω – угловая скорость поворота судна относительно центра масс, τ – безразмерное время, t_0 – момент изменения управляющего воздействия, Ω_{cm} – площадь смоченной поверхности корпуса судна, ζ – коэффициент сопротивления, ρ – плотность воды, $C_p(n, V)$ – коэффициент упора, полученный в результате модельных испытаний на этапе проектирования судна.

Для исследования перемещений судна на плоскости систему (1) следует дополнить следующими очевидными уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{d\alpha}{dt} = \omega; \\ \frac{dx}{dt} = V \cos \alpha; \\ \frac{dy}{dt} = V \sin \alpha. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь ω – угловая скорость, α – угол отклонения судна от заданного курса, x, y – координаты центра масс судна на плоскости.

Управление судном с КДРК двумя независимыми джойстиком вызывает у судоводителя серьезные затруднения. Один из вариантов решения данной проблемы – введение одного органа управления двумя приводами гребных колес (аналог рулевого колеса на судне с традиционным рулем).

Формирование управляющих воздействий на привод гребных колес осуществляется автоматически по алгоритму (2):

$$U_{1н} = \begin{cases} U_{1с} + R \cdot (U_{1max} - U_{1с}) & \text{при } R > 0; \\ U_{ход} & \text{при } R \leq 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$U_{2н} = \begin{cases} U_{2с} - R \cdot (U_{2max} - U_{2с}) & \text{при } R < 0; \\ U_{ход} & \text{при } R \geq 0. \end{cases}$$

где $U_{ход}$ – заданное судоводителем управляющее воздействие, обеспечивающее необходимую скорость движения судна,

$U_{1н}, U_{2н}$ – новые управляющие воздействия на привод гребных колес,

$U_{1с}, U_{2с}$ – предыдущие управляющие воздействия на привод гребных колес,

$R = k_{\alpha} \cdot (\alpha - \alpha_z) + k_{\omega} \cdot \omega + k_o \cdot (y - y_z)$ – дополнительная функция.

Во время отработки ранее сформированных управляющих воздействий формирование и передача на исполнение новых не производится. После отработки каждого управляющего воздействия система имеет время для реакции на управление.

В данной работе в среде MatLab исследовалось влияние времени ожидания реакции системы на управляющее воздействие на качественные показатели процесса управления. Время ожидания реакции системы на управляющее воздействие вводится, чтобы исключить преждевременное формирование новых воздействий. Расчет производился для различных начальных отклонений от заданного курса ($\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$) при изменении времени реакции от 5 до 20 сек.

Пример расчета при $\alpha=30^\circ$ приведен на рис. 1. Время реакции 6,7 с дает наиболее высокие качественные характеристики процесса регулирования (минимальное переуправление, минимальное число управляющих воздействий при выходе на курс).

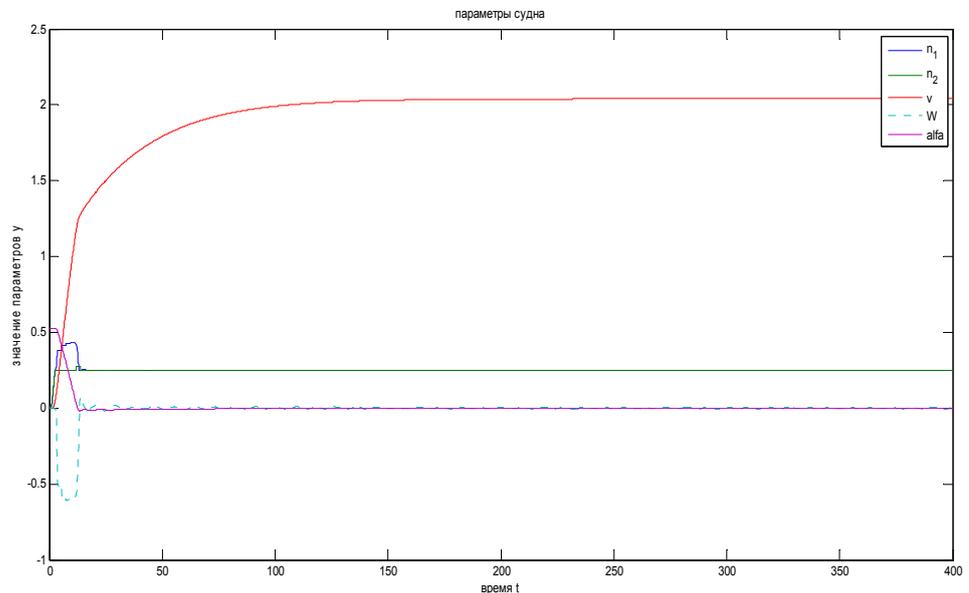


Рис. 1. Пример расчета при $\alpha=30^\circ$

Пример расчета при $\alpha=180^\circ$ приведен на рис. 2. Время реакции 15 с дает наиболее высокие качественные характеристики процесса регулирования.

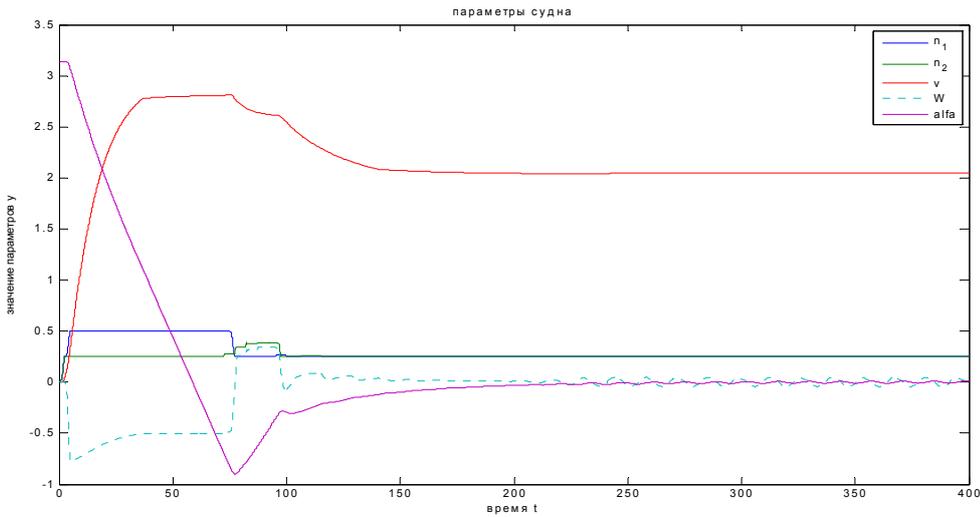


Рис. 2. Пример расчета при $\alpha=180^\circ$

Зависимость времени реакции системы от угла отклонения, обеспечивающая наилучшие качественные показатели управления для всего рассматриваемого диапазона, приведена на рис. 3.

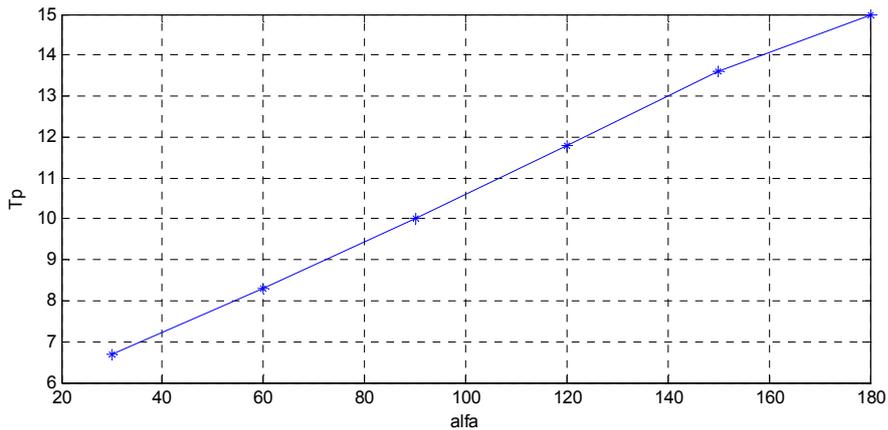


Рис. 3. Зависимость времени реакции системы от угла отклонения

Таким образом, в системе автоматического управления для улучшения качества регулирования необходимо заложить возможность варьирования времени реакции системы в зависимости от угла отклонения, а также учесть, что при изменении скоростного режима абсолютное значение времени реакции будет отличаться от расчетного на некоторую константу:

$$T_p(\alpha, U_{ход}) = K_\alpha \cdot \alpha + C(U_{ход}) \quad (3)$$

В результате проведенных исследований получена зависимость времени реакции системы от угла отклонения (3), которая может быть заложена в систему управления движением судна и позволит улучшить качественные показатели управления.

Список литературы:

[1] Мерзляков В.И. Математическая модель комплекса корпус – движитель судна с колесными гребными движителями // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 1 (февраль). – С 56–61.

Л.С. Грошева, В.И. Мерзляков, А.С. Сидоров
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА С КДРК ПО КУРСУ

Описан принцип управления судном с колесным движительно–рулевым комплексом. Предложена структура системы управления движением судна по курсу.

В настоящее время в Нижнем Новгороде идут ходовые испытания судна с новым движительно-рулевым комплексом с применением гребных колес (колесным ДРК или КДРК). Это судно проекта ПКС 40 «Сура».

КДРК представляет собой два кормовых колеса с жестко установленными плицами винтовой формы по Российскому патенту № 2225327 от 30.11.2001 г.

Гребные колеса вращаются специальными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Система управления электроприводами гребных колес выполнена с использованием преобразователей частоты (ПЧ) фирмы Schneider Electric типа Altivar 71.

Использование КДРК позволяет уменьшить осадку судна, оптимизировать его размеры, повысить маневренные качества, обеспечить возможность работы без причальных сооружений и при этом снизить удельные показатели мощности энергетической установки.

У судна отсутствует традиционный орган управления (руль, поворотные насадки), а изменение величины и направления вектора тяги осуществляется путём изменения соотношения числа оборотов и направления вращения гребных колёс, имеющих независимый привод.

Силы действующие на судно с колесным ДРК при постоянной мощности, подводимой к гребным колесам показана на рис. 1.

Шевронные плицы гребных колес создают упор, а следовательно, и вектор тяги, направленный под углом α к диаметральной плоскости судна (для судна «Сура» $\alpha = 15^\circ$). Плицы располагаются так, чтобы при прямолинейном движении вперед отбрасываемый плицами поток был направлен в корму и к диаметральной плоскости. Такое расположение плиц за счет подгребания воды с бортов и обжатия струи способствует повышению пропульсивного КПД комплекса корпус-двигатель.

При вращении гребных колес с одинаковой угловой скоростью в одном направлении, силы P_{k1p} и P_{k2p} находятся на одной оси и направлены в разные стороны, т.е. суммарная рулевая сила, поворачивающая судно равна нулю.

Силы P_{k1n} , P_{k2n} направлены вдоль судна параллельно ДП в одну сторону и создают суммарную силу тяги, равную P ,

$$P = P_{k1} + P_{k2},$$

под действием которой судно движется по прямой.

При изменении соотношения числа оборотов гребных колес будет меняться величина векторов тяги правого и левого колеса. Вектор суммарной тяги P будет изменять