

УДК 629.5.015.3

DOI: 10.37890/jwt.vi80.523

Синтез алгоритма динамического позиционирования для колесного судна

Л.С. Грошева

В.И. Плющаев

ORCID: 0000-0001-6120-3782

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе выполнен анализ показателей управляемости судна с колесным движительно-рулевым комплексом и азимутальным подруливающим устройством с целью выявления возможности разработки высокоточных алгоритмов управления, таких как задача динамического позиционирования. Рассмотрено влияние параметров колесно - движительно-рулевого комплекса и азимутального подруливающего устройства на динамику судна, выявлены области управляемости судна при различных параметрах движителей. Изучено влияние на динамику судна внешнего ветрового воздействия, во многом определяющем его динамику ввиду конструктивных особенностей (малая осадка, плоское дно, большая парусность). Определены области управляемости судна в условиях внешнего воздействия при изменении параметров ветра (силы и направления), так и параметров движителей при раздельном и совместном использовании движителей. Синтезирован алгоритм динамического удержания судна в заданной точке при ветровом воздействии при сохранении заданного положения корпуса. Алгоритм динамического позиционирования представляет собой два параллельных процесса. Первый – возвращение центра масс судна, сместившегося под действием внешних воздействий, в заданную точку за счет колесного движительно – рулевого комплекса. Второй – поддержание заданной ориентации корпуса судна с использованием азимутального подруливающего устройства. Компьютерное моделирование подтвердило высокие качественные показатели предложенного алгоритма управления.

Ключевые слова: колесно-движительный рулевой комплекс, динамические характеристики судна, ветровое воздействие, алгоритмы управления, алгоритмы управления, динамическое позиционирование.

Synthesis of a dynamic positioning algorithm for wheeled boats

Ludmila S. Grosheva

Valery I. Plyushchaev

ORCID : 0000-0001-6120-3782

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The work analyzes the controllability indicators of a vessel with a wheeled propulsion-steering complex and an azimuth thruster in order to identify the possibility of developing high-precision control algorithms, such as the dynamic positioning task. The influence of the parameters of the wheel-propulsion steering complex and the azimuth thruster on the dynamics of the vessel is considered, and the areas of controllability of the vessel are identified for various propulsion parameters. The influence on the dynamics of the vessel of external wind influence, which has a great influence on the dynamics of the vessel due to its design features (shallow draft, flat bottom, large windage), has been studied. The areas of controllability of the vessel under conditions of external influence when changing

wind parameters (force and direction) and parameters of propulsors with separate and joint use of propulsors are determined. An algorithm for dynamically holding a vessel at a given point under wind influence while maintaining a given hull position has been synthesized. The dynamic positioning algorithm consists of two parallel processes. The first is the return of the center of mass of the vessel, which has shifted under the influence of external influences, to a given point due to the wheeled propulsion and steering complex. The second is maintaining a given orientation of the ship's hull using an azimuth thruster. Computer simulation confirmed the high quality indicators of the proposed control algorithm.

Keywords: wheel-propulsion steering complex, dynamic characteristics of the vessel, wind action, control algorithms, control algorithms, dynamic positioning.

Введение

В России в настоящее время эксплуатируется четыре пассажирских судна с инновационным колесным движительно-рулевым комплексом (КДРК), три из них прогулочные суда с водоизмещением 130 т и круизный пассажирский лайнер водоизмещением 900 т [1,2,3]. На пассажирском лайнере «Золотое кольцо» дополнительно установлено азимутальное подруливающее устройство (АПУ) [4]. Управление данным типом судов кардинально отличается от управления судном с традиционным винто-рулевым комплексом. У судна с КДРК отсутствует традиционный руль, маневрирование осуществляется за счет изменения соотношения между частотами вращения двух гребных колес, расположенных по бортам в кормовой части судна. Реализация приводов колес по схеме асинхронный двигатель – частотный преобразователь позволяют независимо и плавно регулировать частоту вращения каждого гребного колеса во всем допустимом диапазоне $n_{max} \geq n_{1,2} \geq n_{min}$. [5 - 7].

Повысить эффективность и безопасность эксплуатации судна позволяет компьютеризированная система управления судна (КСУ). КСУ представляет из себя распределенную систему, включающую в свой состав 2 взаимозаменяемых панельных компьютера на центральном пульте управления, 2 компьютера на крыльях ходового мостика», контроллеры для сбора информации и передачи управляющих воздействий (расположены в ходовой рубке, носовом отделении, машинном отделении и главном распределительном щите [8,9]. На экранных формах компьютеров (мнемосхемах) отображается состояние всех систем и агрегатов судна. Сенсорные экраны позволяют реализовать формирование управляющих воздействий (дистанционное управление). КСУ представляет из себя открытую для модернизации систему, позволяющую в процессе эксплуатации внедрять и отлаживать новые алгоритмы управления, например, удержания судна на заданной траектории, переход на новый курс, выполнение швартовых операций, динамическое удержание судна в заданной точке и пр.

Цель данной статьи – изучить потенциальные технические возможности КДРК и АПУ для реализации алгоритмов управления, а также предложить решение задачи динамического позиционирования колесного судна в заданной точке.

Влияние параметров КДРК и АПУ на динамику судна

Гребные колеса судов с КДРК имеют принципиальное отличие от гребных колес традиционного типа. Использование плиц аксиально-винтовой формы позволяет получить вектор тяги гребных колес судна направленным под углом α к диаметральной плоскости (ДП) судна. У гребных колес появляется поперечная составляющая вектора тяги, обеспечивающая хорошую поворотливость судна без традиционного руля [10]. На рис. 1 представлена расчетная схема для определения векторов тяги гребных колес. Здесь P_{k1} , P_{k2} , P – векторы тяги, соответственно,

левого и правого гребных колес (при частотах вращения n_1 и n_2), а также суммарный вектор тяги, угол γ – направление суммарного вектора тяги относительно ДП судна.

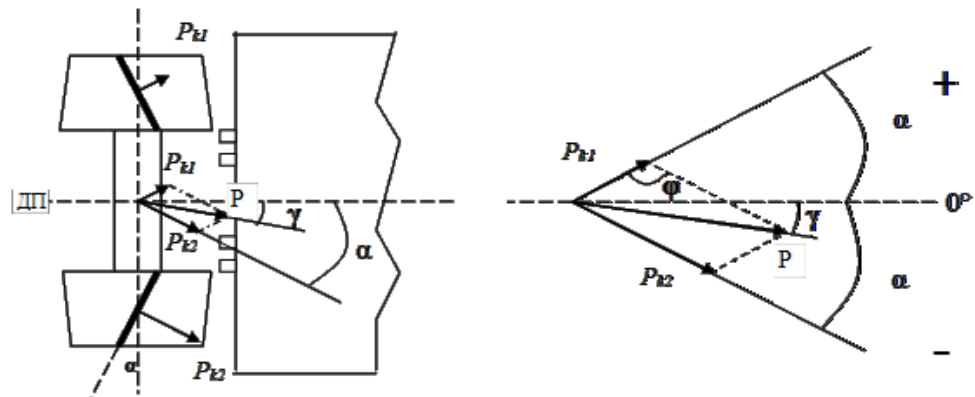


Рис. 1. Векторы тяги гребных колес для $n_2 > n_1$

Вектор тяги P и угол γ при вращении колес вперед можно вычислить как

$$P = \sqrt{P_{k1}^2 + P_{k2}^2 + 2 \cdot |P_{k1}| \cdot |P_{k2}| \cdot \cos(2 \cdot \alpha)};$$

$$\gamma = \alpha - \arcsin\left[\frac{|P_{k2}|}{|P|} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\right]$$

или

$$\gamma = -\alpha + \arcsin\left[\frac{|P_{k1}|}{|P|} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\right].$$

При вращении колес назад (с учетом снижения КПД) выражения для вычисления тяги и угла примут вид:

$$P = 0,9 \sqrt{P_{k1}^2 + P_{k2}^2 + 2 \cdot |P_{k1}| \cdot |P_{k2}| \cdot \cos(2 \cdot \alpha)}$$

$$\gamma = \pi + \alpha - \arcsin\left[\frac{|P_{k2}|}{|P|} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\right]$$

или

$$\gamma = \pi - \alpha + \arcsin\left[\frac{|P_{k1}|}{|P|} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\right].$$

При разнонаправленном вращении колес расчетные формулы имеют вид:

$$P = \sqrt{P_{k1}^2 + P_{k2}^2 - 2 \cdot |P_{k1}| \cdot |P_{k2}| \cdot \cos(2 \cdot \alpha)};$$

$$\gamma = \pi - \alpha - \arcsin\left[\frac{|P_{k1}|}{|P|} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\right]$$

или

$$\gamma = 2\pi - \alpha - \arcsin\left[\frac{|P_{k1}|}{|P|} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\right]$$

На рис.2а представлены значения максимальной суммарной тяги КДРК судна для различных углов α при нулевой скорости судна ($Vc \approx 0$). Максимальная тяга, развиваемая одним колесом, равна 71556 Н. Максимальный упор азимутального подруливающего устройства составляет 8200 Н (окружность 4 на рис. 2а).

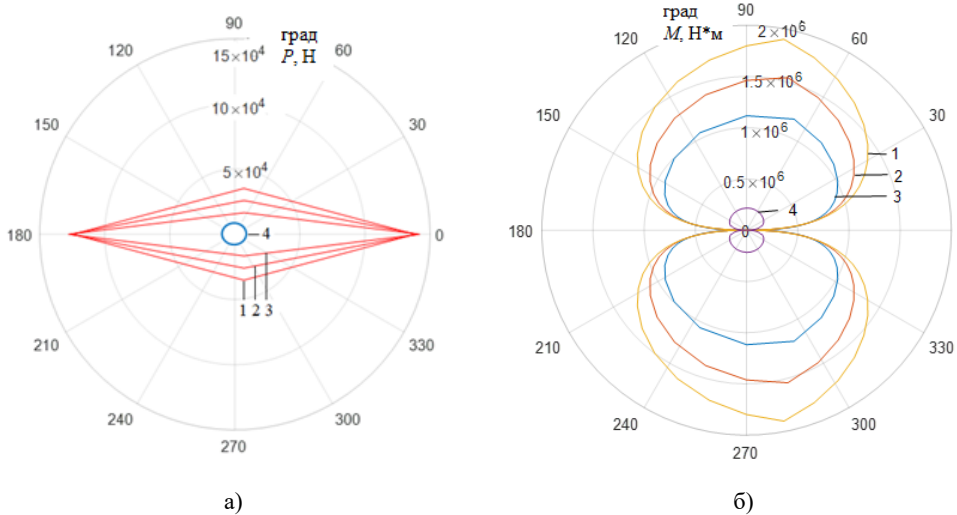


Рис. 2. Максимальные значения векторов тяги КДРК, АПУ (а) и максимальные значения крутящего момента КДРК, АПУ (б) (1. $\alpha = 15^\circ$, 2. $\alpha = 11^\circ$, 3. $\alpha = 7^\circ$, 4. АПУ)

Моменты вращения, создаваемые КДРК при различных значениях угла α , показаны на рис. 2б. Увеличение угла α увеличивает поперечную составляющую вектора тяги, что обеспечивает повышение управляемости судна. Однако при этом несколько уменьшается продольная составляющая вектора тяги, которая определяет скорость судна. При совершении поворота судна на новый курс изменяют поперечную составляющую вектора тяги путем изменения соотношения частот вращения гребных колес

С уменьшением угла α радиус и время поворота будут увеличиваться. Для «Золотого кольца» $\alpha = 7^\circ$, и дальнейшие исследования динамики будут проведены для данного значения угла.

Для реализации алгоритмов динамического удержания судна в точке большое значение имеют динамические характеристики КДРК при нулевой скорости судна и различных значений частоты вращения колес (рис.3).

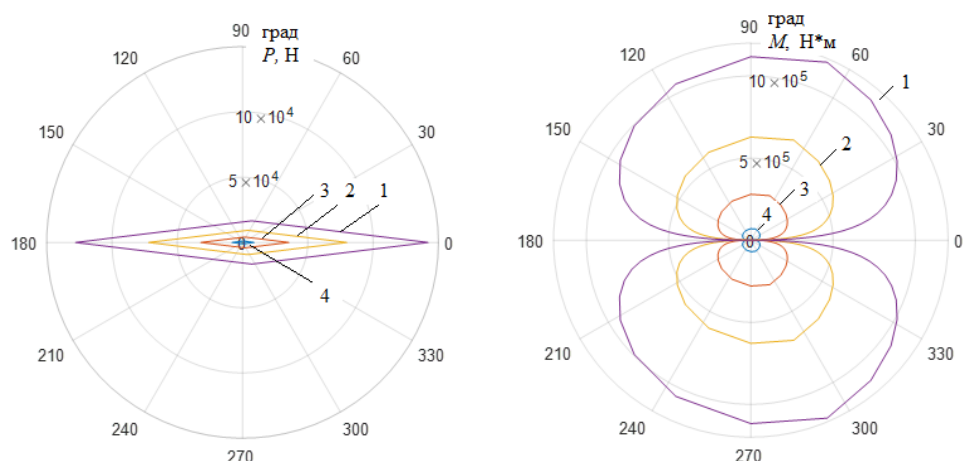


Рис. 3. Величина векторов тяги КДРК (а) и значения крутящего момента КДРК (б)
 1. $n = n_{max}$, 2. $n = 0.75n_{max}$, 3. $n = 0,5 n_{max}$, 4. $n = 0.25n_{max}$

При совместной работе КДРК и АПУ суммарный вращающий момент имеет более сложную конфигурацию по сравнению с рис. 3б. На рис. 4 представлен суммарный крутящий момент при работе КДРК, максимальным упором АПУ при различных углах направления вектора упора АПУ ($\varphi = 45^\circ$ и 90°). Здесь же приведена зависимость вращающего момента КДРК без учета АПУ (кривая 3). Как видно из графика, АПУ в состоянии не только увеличивать момент вращения, но и несколько снижать его, что может быть использовано при решении задачи динамического позиционирования.

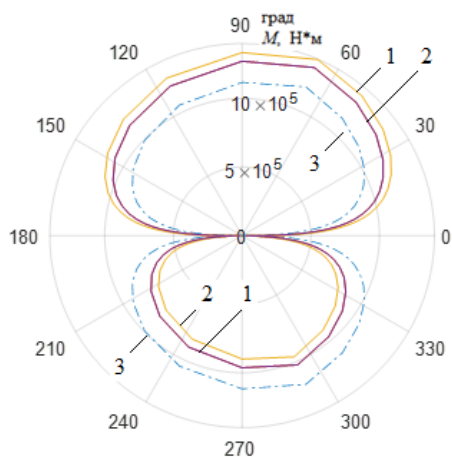


Рис. 4. Суммарный вращающий момент КДРК и АПУ для двух направлений вектора тяги АПУ:
 1. $\varphi = 90^\circ$; 2. $\varphi = 45^\circ$; 3. без учета АПУ

Влияние внешних факторов на динамику колесного судна

Ветер существенно влияет на качественные показатели управления [11-13]. Специфические характеристики судна «Золотое кольцо», а именно плоское дно, малая осадка, боковые и фронтальные проекции большой площади предопределяют значительное влияние ветровой нагрузки на динамику судна. В [14,15] предложена математическая модель судна с КДРК, а также приведена методика расчета ветрового

воздействия. На рис. 5 представлены результаты расчета ветровой нагрузки для различной скорости ветра $V_{\text{в}}$ при нулевой скорости судна. Здесь же приведен вращающий момент, вызванный ветровым воздействием.

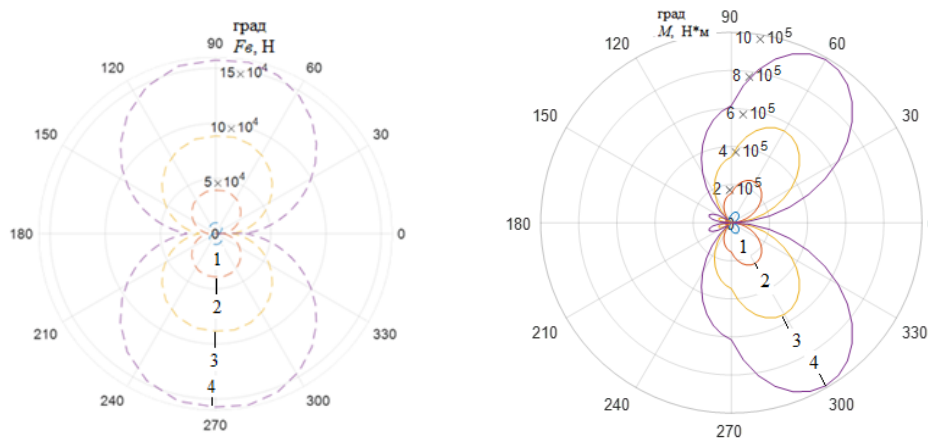


Рис. 5. Ветровое воздействие и вращающий момент, вызванный ветровым воздействием:
 1. $V_{\text{в}} = 5 \text{ м/с}$; 2. $V_{\text{в}} = 10 \text{ м/с}$; 3. $V_{\text{в}} = 15 \text{ м/с}$; 4. $V_{\text{в}} = 20 \text{ м/с}$

Полученные данные позволяют оценить область работоспособности создаваемых алгоритмов управления. На рис. 6 совмещены значения развиваемой тяги КДРК и сила ветрового воздействия. Большая парусность, малая осадка и плоское дно делают судно чувствительным к ветровому воздействию. При реализации алгоритма динамического удержания судна на точке КДРК способен обеспечить компенсацию ветрового воздействия для угла $\alpha = 7^\circ$ (направление вектора тяги гребных колес судна к диаметральной плоскости) при скорости ветра до 6 м/с (кривая 5 на рис. 6). Следует отметить, что в Нижегородской области по усредненным данным за последние 10 лет в мае-сентябре сила ветра фиксировалась в пределах 3,7 – 6 м/с [16]. При увеличении угла до $\alpha = 15^\circ$ можно компенсировать ветер до скорости 9 м/с (кривая 6 на рис.6). Совмещенные значения развиваемых КДРК, АПУ и силой ветрового воздействия вращающих моментов приведены на рис. 7. Потенциальные возможности КДРК и АПУ обеспечивают компенсацию вращающего момента ветрового воздействия, поскольку КДРК и АПУ находятся на значительном расстоянии от центра масс на корме и носу судна.

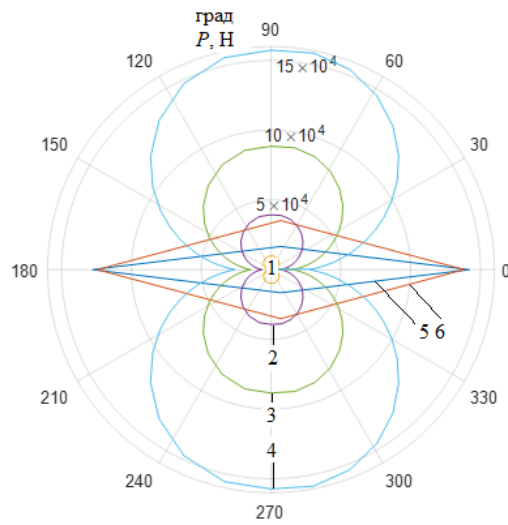


Рис. 6. Совмещенные значения развиваемой тяги КДРК и силы ветрового воздействия:
 1. $V_{в} = 5$ м/с; 2. $V_{в} = 10$ м/с; 3. $V_{в} = 15$ м/с; 4. $V_{в} = 20$ м/с

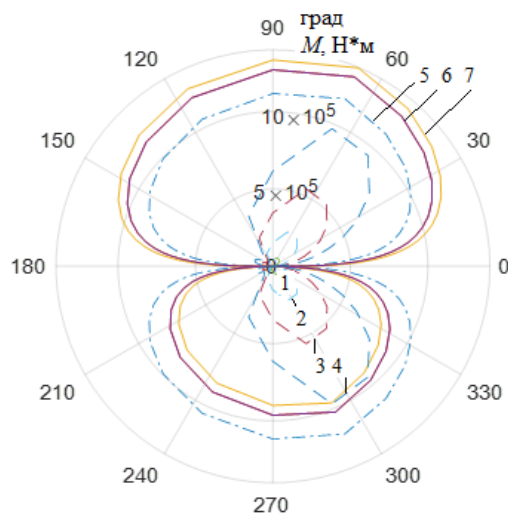


Рис. 7. Совмещенные значения развиваемых КДРК, АПУ и силой ветрового воздействия вращающих моментов:
 1. $V_{в} = 5$ м/с; 2. $V_{в} = 10$ м/с; 3. $V_{в} = 15$ м/с; 4. $V_{в} = 20$ м/с; 5. Без АПУ;
 6. направление вектора упора АПУ $\varphi = 45^{\circ}$;
 7. направление вектора упора АПУ $\varphi = 90^{\circ}$

Однако следует напомнить, что результаты расчетов, приведенные на рис. 5 и 6 получены для $V_{с} \approx 0$.

При движении судна эффективность гребных колес и АПУ снижаются за счет уменьшения упора, что существенно снижает возможность компенсации ветрового воздействия. Результаты расчетов для $V_{с} = 4$ м/с (14.4 км/ч) приведены на рис. 8. Максимальная скорость судна составляет $V_{с} = 5$ м/с (18 км/ч).

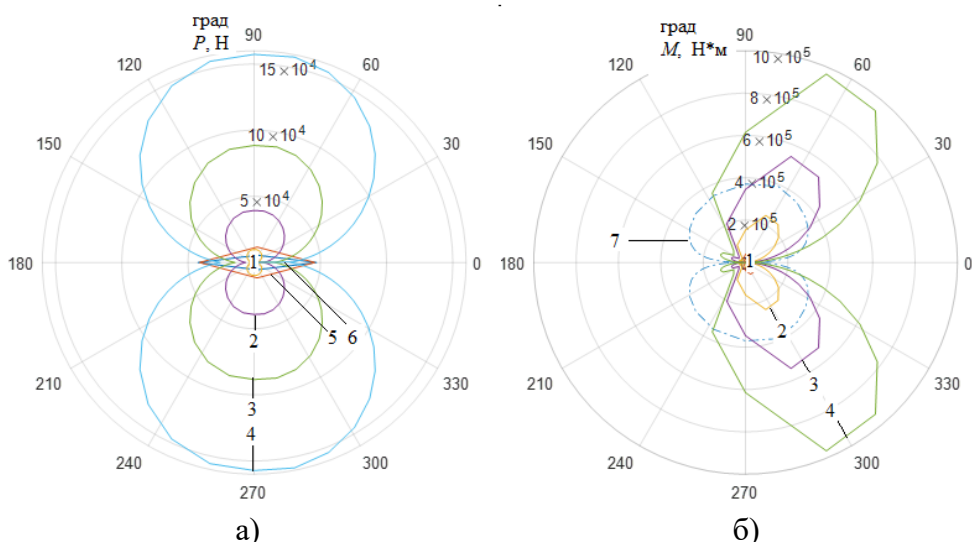


Рис. 8. Совмещенные значения развиваемой тяги КДРК и силы ветрового воздействия(а), а также создаваемых этими силами вращающих моментов(б):
 1. $V_{\text{в}} = 5 \text{ м/с}$; 2. $V_{\text{в}} = 10 \text{ м/с}$; 3. $V_{\text{в}} = 15 \text{ м/с}$; 4. $V_{\text{в}} = 20 \text{ м/с}$;
 5. $\alpha = 15^\circ$; 6. $\alpha = 7^\circ$; 7. – момент, создаваемый КДРК

Проведенный анализ потенциальных возможностей двигательного комплекса судна (КДРК и АПУ) при ветровых воздействиях на корпус судна, позволяют сделать вывод о возможности реализации алгоритма динамического позиционирования судна на точке.

Синтез алгоритма удержания судна в заданной точке (алгоритм динамического позиционирования)

Алгоритм удержания судна в заданной точке можно представить в виде двух параллельных процессов. Первый процесс – возвращение судна (точнее центра масс судна), сместившегося под действием внешних воздействий, в заданную точку. КДРК судна может обеспечить перемещение судна в любом направлении (рис. 3), следовательно реализовать возврат судна в заданную точку. Второй процесс – поддержание заданной ориентации корпуса судна. Эта операция может быть выполнена АПУ судна.

Рассмотрим варианты формирования управляющих воздействий на приводы гребных колес для различных ситуаций. На рис. 9а заданная точка позиционирования имеет координаты X_0Y_0 , курс судна совпадает с направлением оси X . Ветер в правый борт, под действием которого судно смещается в точку X_1Y_1 (угол γ больше угла α). Для возврата судна в точку X_0Y_0 необходимо создать вектор тяги направленный к этой точке. При вращении правого колеса вперед создается вектор тяги P_{k2} , при вращении левого колеса назад создается вектор тяги P_{k1} .

Смещение центра масс судна и угол γ можно определить по формулам

$$|P_{01}| = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}, \quad \gamma = \arcsin \frac{|(Y_1 - Y_0)|}{P}.$$

Соотношение

$$\frac{|P_{k2}|}{\sin(\gamma - \alpha)} = \frac{|P_{k1}|}{\sin(\pi - (\gamma + \alpha))} = \frac{|P|}{\sin(2\alpha)}$$

позволяет определить величину управляющего воздействия на колесные приводы как функцию от $|P|$:

$$|U_1| = -k_1 \cdot |P|, \quad k_1 = \frac{|\sin(\gamma + \alpha)|}{\sin(2\alpha)},$$

$$|U_2| = k_2 \cdot |P|, \quad k_2 = \frac{|\sin(\gamma - \alpha)|}{\sin(2\alpha)}.$$

Величина $|P|$ пропорциональна отклонению $|P_{01}|$ (чем больше отклонение, тем большую тягу необходимо создать), т.е.

$$|P| = k_p |P_{01}|.$$

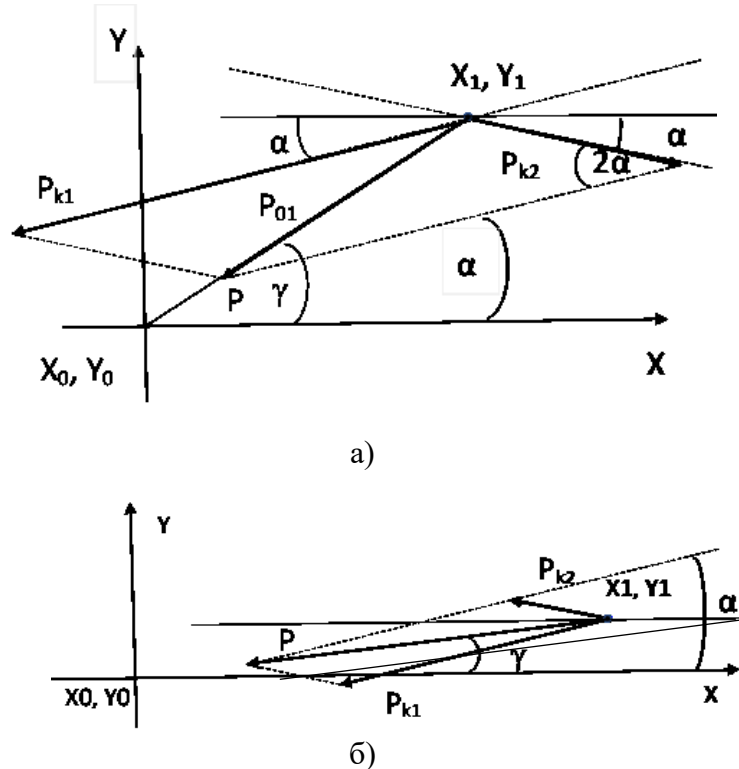


Рис. 9. Формирование управляющих воздействий на приводы гребных колес:
а) угол γ больше угла α ; б) угол γ меньше угла α .

На рис. 9б рассмотрен случай формирования управляющего воздействия при угле γ меньшем угла α . Формирование необходимого вектора тяги происходит при вращении обоих колес назад:

$$|U_1| = -k_1 \cdot |P| \quad |U_2| = -k_2 \cdot |P|.$$

В результате рассмотрения всех возможных вариантов смещения судна от точки X_0Y_0 получим алгоритм формирования управляющих воздействий при любом направлении ветра:

$$U_1 = \begin{cases} -k_1 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) \geq 0, & \gamma \geq \alpha; \\ k_2 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) < 0, & \gamma \geq \alpha; \\ -k_1 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) \geq 0, & \gamma < \alpha; \\ -k_2 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) < 0, & \gamma < \alpha; \end{cases}$$

$$U_2 = \begin{cases} k_2 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) \geq 0, & \gamma \geq \alpha; \\ -k_1 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) < 0, & \gamma \geq \alpha; \\ -k_2 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) \geq 0, & \gamma < \alpha; \\ -k_1 \cdot |P| \cdot \text{sign}(x) & \text{sign}(x \cdot y) < 0, & \gamma < \alpha. \end{cases}$$

Если $U_1, U_2 < -1$, то $U_1, U_2 = -1$. Если $U_1, U_2 > 1$, то $U_1, U_2 = 1$.

Управляющие воздействия определяют частоты вращения гребных колес, необходимые для формирования вектора тяги, обеспечивающего движение центра масс судна к точке X_0Y_0 :

$$n_1 = U_1 \cdot n_{max}; \quad n_2 = U_2 \cdot n_{max}.$$

Рассмотрим процесс поддержания заданной ориентации корпуса судна с помощью АПУ. АПУ создает вектор тяги, необходимый для поддержания заданной ориентации корпуса судна. Мощность привода АПУ определяется как

$$N_p = N_{pmax} \cdot U_p,$$

где U_p – управляющее воздействие.

Управление величиной мощности АПУ осуществляется на основе пропорционально-дифференциального закона:

$$U_p = k_L \cdot (\beta - \beta_Z) + k_\omega \cdot \omega,$$

если $U_p > U_{pmax}$, $U_p = U_{pmax}$,

где U_p -управляющее воздействие;

β и β_Z - текущее и заданное значение угла поворота корпуса судна;

ω – угловая скорость вращения корпуса судна;

k_L, k_ω - коэффициенты пропорциональности

При реализации динамического позиционирования направление вектора тяги φ имеет два значения (создается максимальный момент вращения):

$$\varphi = \begin{cases} \frac{\pi}{2} & \text{при } U_p < 0; \\ \frac{3\pi}{2} & \text{при } U_p \geq 0. \end{cases}$$

Параллельная работа КДРК и АПУ позволяют обеспечивать динамическое позиционирование колесного судна.

Исследование динамических процессов позиционирования проводилось с использованием математической модели судна с КДРК и АПУ [14,15]. На рис.10 приведены траектории движения центра масс судна при ветре 3 м/с в правый борт для двух значений угла $\alpha = 7^\circ$ и 15° . Алгоритм обеспечивает удержание судна в точке. Отклонение от исходной точки не превышает 0,5 м по оси Y и 1,5 м по оси X . В процессе позиционирования курс судна меняется в пределах $0 < \beta < 1,7^\circ$ для $\alpha = 7^\circ$ и в пределах десятых долей градуса для $\alpha = 15^\circ$. Параметры процесса удержания приемлемы для практического применения для судна длиной 83 м.

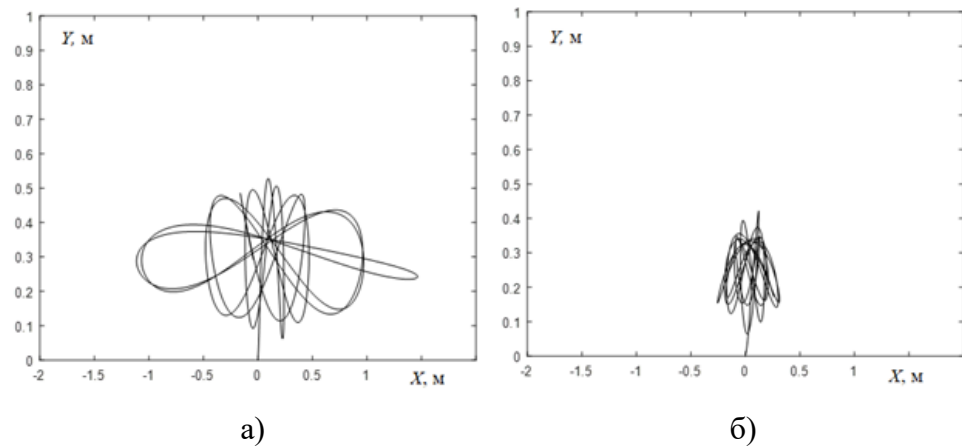


Рис. 10. Траектория движения центра масс судна:
а). $\alpha = 7^\circ$; б). $\alpha = 15^\circ$

На рис. 11-12 приведены различные сочетания динамических характеристик судна при выполнении позиционирования.

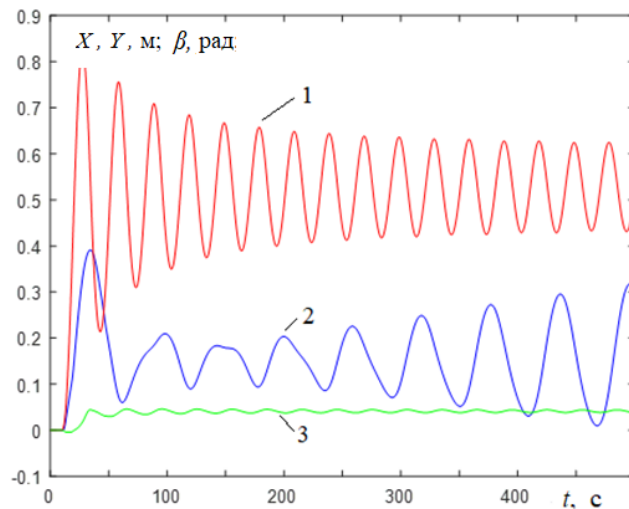


Рис.11. Изменение координат центра масс судна и курса судна при динамическом позиционировании: координата 1. Координата Y; 2. координата X; 3. курс судна

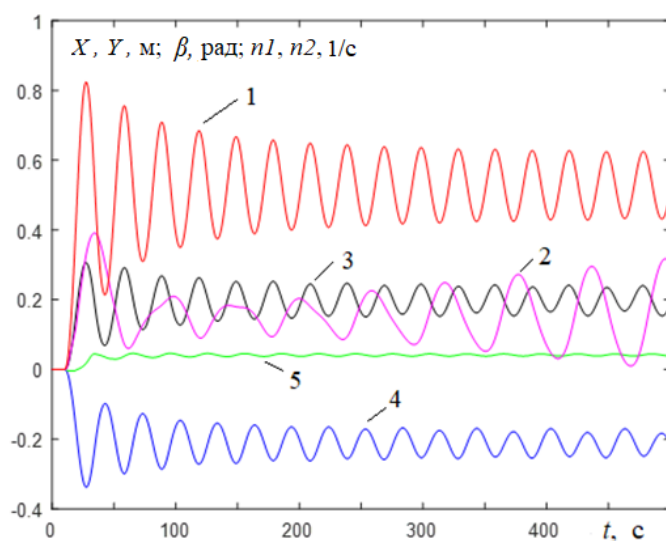


Рис. 12. Изменение координат центра масс судна и частоты вращения колес:
 1. координата Y; 2. координата X; 3. частота вращения правого колеса n_1 ; 4. частота вращения
 левого колеса n_2 . 5. угол направления корпуса судна

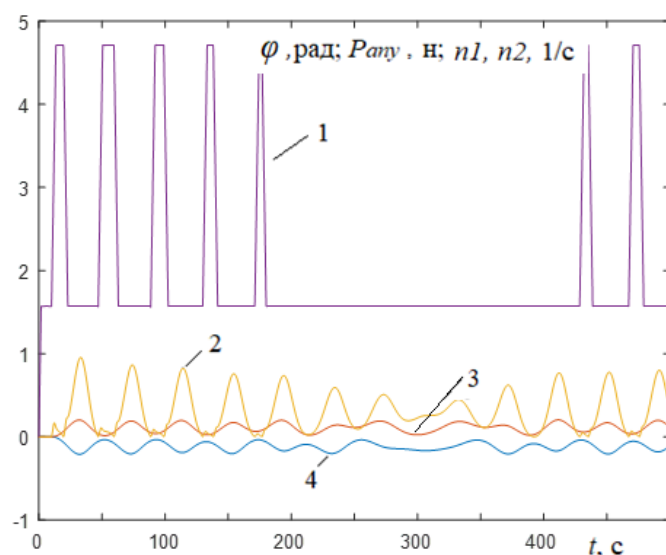


Рис.13. Параметры АПУ и КДРК при ветре 3 м/с и $\alpha = 70^\circ$:

1. угол поворота АПУ; 2. вектор тяги АПУ; 3,4. частота вращения колес

На рис. 13 представлены осциллограммы работы движителей судна – КДРК и АПУ. Параллельное управление движителями обеспечивает удержание судна в заданной точке. Естественно, эффективная работа алгоритма позиционирования при заданных параметрах движителей возможна в некоторой области изменения внешних воздействий.

Выводы

Судно «Золотое кольцо» обладает уникальным сочетанием движителей – колесным движительно – рулевым комплексом и азимутальным подруливающим устройством. Это сочетание движителей позволяет реализовать движение судна в любом направлении.

Предложенный алгоритм управления позволяет осуществить режим удержания судна в заданной точке с высокими качественными показателями.

Компьютеризированная система управления судна [8,9] позволяет легко интегрировать в ее состав новые алгоритмы (без модернизации аппаратной части).

Список литературы

1. Пат. № 2225327 Российская Федерация, МПК В63Н1/04, В63Н05/03. Колесный движительно-рулевой комплекс/ Фальмонов Е.В.; заявитель и патентообладатель Фальмонов Евгений Васильевич. – № 2001132474/11, ; заявл. 30.11.2001; опубл. 10.03.2004, Бюл. № 7. – 11 с.
2. Галкин Д.А., Малый Ю.А. От «Суры» к «Золотому кольцу». //Речной транспорт (XXI век). 2015. – №2(73). – с. 32-33.
3. Галкин Д.А. Уникальный туристический теплоход, или как развивать отрасль в современных условиях // Речной транспорт (XXI век). - 2016. - № 2 (78). - С. 21-23. URL: http://www.vethpropulsion.com/products/bow_thrusters/compact-grid_en.html
4. Хватов О.С., Бурда Е.М., Тарпанов И.А. Единая электростанция колесного судна с электродвижением типа "Сура" // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2015. № 44. С. 351-355.
5. Бурда Е.М., Галкин Д.Н., Корнев А.Б. Инновационная гребная электрическая установка пассажирского колесного судна. //Речной транспорт (XXI век). 2016. - №1(77) - с 24-26.
6. Хватов О.С., Бурда Е.М., Тарпанов И.А., Кшталтный Н.И. Вариант единой электростанции колесного судна с электродвижением. // Вестник Астраханского государственного технического университета. - Серия: Морская техника и технология -№2, 2016г. - с.102-108.
7. Плющаев В.И., Галкин Д.Н., Итальянцев С.А. Компьютеризованная система управления пассажирским колесным теплоходом. // Речной транспорт (XXI век). 2014. – № 6(71). – с. 35-37.
8. Бурда Е.М., Перевезенцев С.В., Плющаев В.И. Комплексная автоматизация судовых технологических процессов колесных судов. Научный журнал «Морские интеллектуальные технологии». СПб, ООО «НИЦ «Морские интеллектуальные технологии», т. 1, № 4, 2021 г., стр.180 -188.<https://doi.org/10.37220/МИТ.2021.54.4.049>
9. Грошева Л.С., Мерзляков В.И., Перевезенцев С.В., Плющаев В.И. Контроль вектора тяги колесного движительного комплекса теплохода // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. –2011. –№ 3 –С.10-15.
10. Ricci A., Janssen W. D., van Wijhe H. J., Blocken B. CFD simulation of wind forces on ships in ports: Case study for the Rotterdam Cruise Terminal // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2020. V. 205. P. 104315. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104315>.
11. Hoffmann M., Roy S., Berger A., Bergmann W., Chan K., Shubbak M., Langhorst J., Schnauder T., Strus O., Buskens C. Wind Affected Maneuverability of Tugboat-Controlled Ships //IFAC-PapersOnLine. 2021. V. 54.Iss. 16. P. 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.075>.
12. Szelangiewicz T., Wiśniewski B., Zelazny K. The influence of wind, wave and loading condition on total resistance and speed of the vessel. polish maritime research 3(83) 2014 Vol. 21; pp. 61-67. <https://doi.org/10.2478/pomr-2014-0031>.
13. Бычков В.Я. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Математическая модель судна с колесным движительно – рулевым комплексом «Золотое кольцо». Вестник Астраханского

- государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. - Астрахань. 2018. №3. С.36-46. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2018-3-36-49>.
15. Бычков В.Я. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Расчет сил ветрового воздействия на корпус судна с колесно-двигательным рулевым комплексом. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. – Выпуск 55. С. 11-20.
 16. URL: <https://yandex.ru/pogoda/month/>

References

1. Pat. № 2225327 Rossiiskaya Federatsiya, MPK V63N1/04, V63N05/03. Kolesnyi dvizhitel'no-rulevoi kompleks/ Fal'monov E.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Fal'monov Evgenii Vasil'evich. – № 2001132474/11, ; zayavl. 30.11.2001; opubl. 10.03.2004, Byul. № 7. – 11 s.
2. Galkin D.A., Malyi YU.A. Ot «SurY» k «Zolotomu kol'tsU». //Rechnoi transport (KHKHI vek). 2015. – №2(73). – s. 32-33.
3. Galkin D.A. Unikal'nyi turistichestkii teplokhod, ili kak razvivat' otrasl' v sovremennykh usloviyakh // Rechnoi transport (XXI vek). - 2016. - № 2 (78). - S. 21-23.
4. URL: http://www.vethpropulsion.com/products/bow_thrusters/compact_grid_en.html
5. Khvatov O.S., Burda E.M., Tarpanov I.A. Edinaya ehlektrostantsiya kolesnogo sudna s ehlektrodvizheniem tipa "Sura" // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. 2015. № 44. S. 351-355.
6. Burda E.M., Galkin D.N., Kornev A.B. Innovatsionnaya grebnaya ehlektricheskaya ustanovka passazhirskogo kolesnogo sudna. //Rechnoi transport (KHKHI vek). 2016. - №1(77) - s 24-26.
7. Khvatov O.S., Burda E.M., Tarpanov I.A., Kshtalnyi N.I. Variant edinoi ehlektrostantsii kolesnogo sudna s ehlektrodvizheniem. // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya -№2, 2016g. - s.102-108.
8. Plyushchaev V.I., Galkin D.N., Ital'yantsev S.A. Komp'yuterizovannaya sistema upravleniya passazhirskim kolesnym teplokhodom. // Rechnoi transport (XXI vek). 2014. – № 6(71). – s. 35-37.
9. Burda E.M., Perevezentsev S.V., Plyushchaev V.I. Kompleksnaya avtomatizatsiya sudovykh tekhnologicheskikh protsessov kolesnykh sudov. Nauchnyi zhurnal «Morskie intellektual'nye tekhnologii». SPb, ООО «NITS «Morskie intellektual'nye tekhnologii», t. 1, № 4, 2021 g., str.180 -188. <https://doi.org/10.37220/MIT.2021.54.4.049>
10. Grosheva L.S., Merzlyakov V.I., Perevezentsev S.V., Plyushchaev V.I. Kontrol' vektora tyagi kolesnogo dvizhitel'nogo kompleksa teplokhoda // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2011. –№ 3 –S.10-15.
11. Ricci A., Janssen W. D., van Wijhe H. J., Blocken B. CFD simulation of wind forces on ships in ports: Case study for the Rotterdam Cruise Terminal // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2020. V. 205. P. 104315. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104315>.
12. Hoffmann M., Roy S., Berger A., Bergmann W., Chan K., Shubbak M., Langhorst J., Schnauder T., Strus O., Buskens C. Wind Affected Maneuverability of Tugboat-Controlled Ships //IFAC-PapersOnLine. 2021. V. 54.Iss. 16. P. 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.075>.
13. Szelangiewicz T., Wiśniewski B., Zelazny K. The influence of wind, wave and loading condition on total resistance and speed of the vessel. polish maritime research 3(83) 2014 Vol. 21; pp. 61-67. <https://doi.org/10.2478/pomr-2014-0031>.
14. Bychkov V.YA. Grosheva L.S., Plyushchaev V.I. Matematicheskaya model' sudna s kolesnym dvizhitel'no – rulevym kompleksom «Zolotoe kol'tsO». Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Morskaya tekhnika i tekhnologiya. - Astrakhan'. 2018. №3. S.36-46. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2018-3-36-49>.

15. Bychkov V.YA. Grosheva L.S., Plyushchaev V.I. Raschet sil vetrovogo vozdeistviya na korpus sudna s kolesno-dvizhitel'nym rulevym kompleksom. // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2018. – Выпуск 55. S. 11-20.
16. URL: <https://yandex.ru/pogoda/month/>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Грошева Людмила Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники Волжского государственного университета водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, e-mail: kaf_radio@vsuwt.ru

Lyudmila S. Grosheva, Ph.D.(Eng), Associate Professor, associate Professor of the Department of Radio Electronics Volga state University of water transport 603005, Nizhny Novgorod, Nesterov str., 5 e-mail: kaf_radio@vsuwt.ru

Плющев Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектроники Волжского государственного университета водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, e-mail: vip3345@yandex.ru

Valery I. Plyushchaev, Dr. Sci. (Eng), Professor, head of the Department of Radio Electronics Volga state University of water transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterov str., 5a e-mail: e-mail: vip3345@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.05.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.
Received 15.05.2024; published online 20.09.2024.