

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОФФШОРНОГО СУДНА

**Бутакон И. Б.**, аспирант кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии, e-mail: bib7677@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9014-1856;

**Тимофеев К. В.**, к.т.н, доцент, Херсонская государственная морская академия, доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики, e-mail: kvtimofeev@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-8668-6159

*В статье рассматриваются вопросы моделирования системы динамического позиционирования морского оффшорного судна.*

*Для удовлетворения требований безопасности при выполнении различных специальных задач на море и обеспечения надлежащего и точного контроля курса и местоположения морского оффшорного судна широко используются системы динамического позиционирования (DP).*

*Использование систем DP на судах морского оффшорного флота является предпочтительным с экономической точки зрения, поскольку не требуются дополнительных затрат для обеспечения эффективного контроля текущего местоположения и курса морского судна во время выполнения работ. Целью исследования является разработка математической модели системы динамического позиционирования оффшорного судна с четырьмя двигателями, которая позволит определить минимальную мощность судовой электроэнергетической системы. Модели необходимы для обеспечения точности управления при изменении характеристик силовой установки и систем отсчета при различных ситуациях.*

*Система управления судном моделировалась в программной среде с использованием стандартных библиотечных модулей, которые дополнились необходимыми данными оффшорного судна. Вопросы оптимизации систем управления и методов моделирования рассматривались в исследованиях Thor I. Fossen, Sorensen J.A. и Perez T. O.n. Smogeli с учетом влияния внешних возмущений. В этих исследованиях, используя современные методы управления, рассматривается объект управления (судно) в трехмерном пространстве как объект с тремя или более степенями свободы (DOF).*

*Учитывая переменные значения внешних возмущений, которые влияют на качество управления объектом, существенную роль в управлении системой DP играют точность прогнозов и скорость обновления модели. Результаты моделирования позволяют описать оффшорное судно как точку массы, учитывая три степени свободы, и использовали для анализа управления курсом систему динамического позиционирования DP.*

**Ключевые слова:** оффшорное судно, моделирование, система динамического позиционирования, возмущение, степень свободы, координаты, курс.

**DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.078-088**

**Вступление.** При выполнении специальных работ технологического или исследовательского характера на море используются специализированные суда и платформы оффшорного флота. В зависимости от локализации и вида выполняемых задач различают следующие типы судов: буровые суда и платформы; трубоукладчики и кабелеукладчики; суда с водолазной специализацией; суда и платформы, предназначенные для установки, демонтажа или обслуживания оборудования над или под водой; вспомогательные суда, предназначенные для снабжения и буксировки; исследовательские суда и др. [1–4]. Для выполнения указанных задач применяют системы динамического позиционирования (DPS, Dynamic Positioning System), которые представляют комплекс технических и программных средств, реализующих процесс управления плавучим объектом в динамическом и статическом режимах. При работе систем DP возникает необходимость в точной стабилизации плавучего объекта (судна) в статическом и динамическом режимах относительно заданной позиции или другого объекта. При этом параметры объекта, относительно которого осуществляется управление судном, тоже могут изменяться, а на судно действуют внешние возмущения (ветер, волнение, течения).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Процесс и алгоритмы управления судном имеют определенные неточности, источником которых являются: изменяющиеся

условия окружающей среды; неточности измерительных средств и математических моделей, описывающих объект и его функции; инерционность и транспортное запаздывание цепей управления, включая исполнительные органы – движители, рули и их приводы [5–10]. Морское судно подвергается воздействиям ветра, волн и течения, а также сил, создаваемых пропульсивной системой. Реакция судна на эти силы измеряется в большинстве случаев с помощью системы определения относительных координат судна, гирокомпасом и системой определения качки судна относительно вертикальной оси. Показания системы определения относительных координат судна корректируются на крен и дифферент, используя показания от датчиков системы определения качки судна (VRU, Vertical Reference Unit или MRU, Motion Reference Unit). Скорость ветра и направление измеряются датчиками ветра (анемометрами), при этом система управления динамическим позиционированием рассчитывает силы, которые пропульсивная установка должна вырабатывать, чтобы управлять движением судна в трех степенях свободы в горизонтальной плоскости – рыскание курса судна, движение вперед/назад, снос вправо или влево.

На рис. 1 показана блок-схема распределителя сил пропульсивной установки, встроенного в систему DP

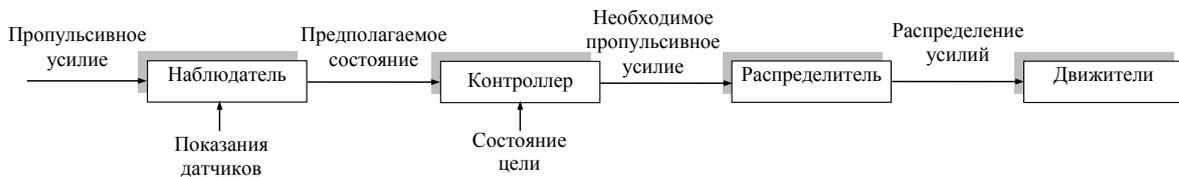


Рисунок 1 – Блок-схема распределителя сил пропульсивной установки, встроенного в систему DP

Обобщенная структура управления системы динамического позиционирования показана на рис. 2 [9, 11].

Модели динамики судов, представляющие реакцию судна на управляющие воздействия в виде переключения руля и изменения частоты вращения гребного винта фиксированного шага (ВФШ), показаны в работах К. К. Федяевского, А. М. Басина, Г. В. Соболева, Р. Я. Першица, А. Д. Гофмана и др. ученых [3, 4, 6]. Модели динамики судов с трастерными движительно-рулевыми комплексами показаны, например, в работах Perez T., Fossen Thor I. [8–14].

**Целью** данного исследования является разработка математической модели системы динамического позиционирования оффшорного судна, которая позволит определить минимально мощность судовой электроэнергетической системы.

**Основная часть.** Обобщенная структура управления системы динамического позиционирования показана на рис. 2 [9, 11].

Работа системы DP основывается на модели судна, которая содержит гидродинамическое описание судна, включая такие характеристики, как коэффициенты сопротивления и данные массы, и описывает движение судна в зависимости от действующих на него внешних сил. При решении многих задач управления совершенные модели не используют, а достаточным условием является использование частных моделей динамики судна, которые отображают связи только между отдельными выходными и входными величинами этого объекта. Однако такой подход при анализе управления оффшорными судами бывает не всегда обоснованным.

В модели судна используется информация, которая описывает силы, действующие на судно. Например, модель ветра использует набор коэффициентов различных углов атаки для расчета силы ветра как функции скорости и направления.

Для расчета силы тяги по параметрам двигателей и винтов в модели пропульсивной установки используют характеристики приложенной силы, шага и скорости вращения

винта. Следовательно, модель судна, как правило, не может быть абсолютно точным представлением реального судна. Для уточнения модели оценки предполагаемого положения и курса используют информацию от датчиков системы определения относительных координат судна и гироскопов об измеренной позиции, которая постоянно обновляется.

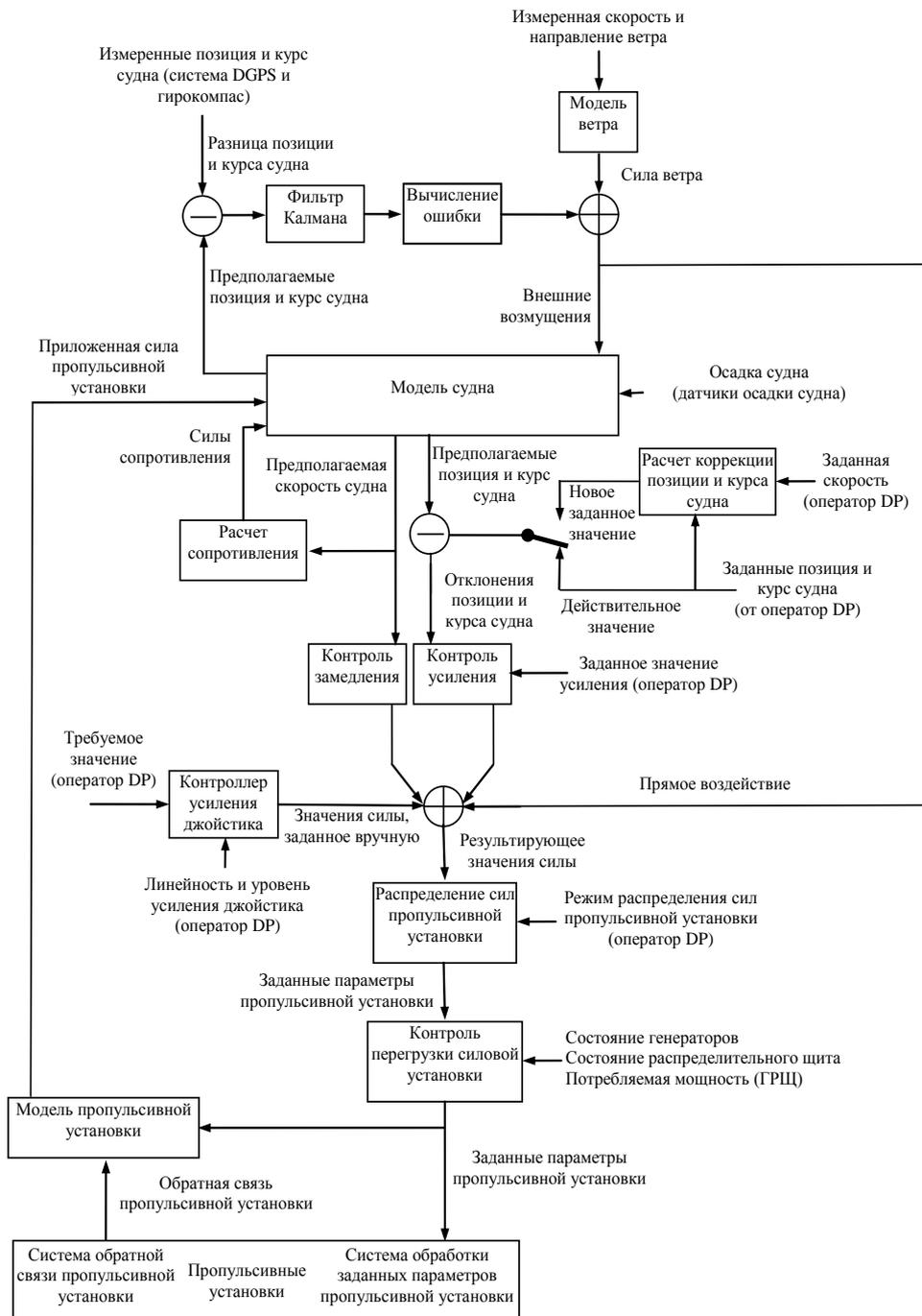


Рисунок 2 – Обобщенная структура управления системы динамического позиционирования (DP)

Прогнозируемая позиция и курс в модели судна сравниваются с измеренной для расчета разницы позиции и курса судна. Поскольку эти различия могут быть вызваны помехами в измеряемых значениях, то перед использованием они фильтруются для обновления модели судна. Такая уточненная модель судна и цифровые методы фильтрации сигналов, например, метод фильтрации Калмана [7, 12, 15], обеспечивают эффективную фильтрацию помех измерений курса, позиции, и оптимальное сочетание данных от датчиков системы определения относительных координат судна.

В случае, если данные датчиков системы определения относительных координат судна и гирокомпаса полностью утрачены (позиции или курса судна), это не окажет немедленного влияния на работоспособность системы позиционирования. Математическая модель судна будет продолжать генерировать оценки позиции и курса, хотя дальнейшего обновления модели судна не будет. В зависимости от изменений погодных условий актуальность модели без обновления составляет в среднем 10–15 минут.

Любое дифференциальное уравнение, описывающее динамику судна, решение которого можно найти с помощью численного метода с одинаковым шагом переменной, приводит к разностному уравнению. При этом основное различие между дифференциальным и разностным уравнениями заключается в величине независимой переменной. Поэтому разностные уравнения процессов можно получить из дифференциальных заменой бесконечно малого прироста  $dt$ , соответствующим конечным  $\Delta t$  [7, 9, 16, 17].

Дифференциальная модель динамики судна (1) может быть приведена к разностному уравнению. Обозначим вектор состояния движения судна через  $\mathbf{Y}$ , его производную как  $d\mathbf{Y}/dt$ , вектор управления –  $\mathbf{U}$ , вектор возмущений –  $\mathbf{Q}$ . Все компоненты этих векторов зависят от времени:

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} V_L \\ V_B \\ \omega \\ \eta \\ \Omega \end{pmatrix}; \quad \frac{d\mathbf{Y}}{dt} = \begin{pmatrix} \dot{V}_L \\ \dot{V}_B \\ \dot{\omega} \\ \dot{\eta} \\ \dot{\Omega} \end{pmatrix}; \quad \mathbf{U} = \begin{pmatrix} \beta_3 \\ n_3 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{Q} = \begin{pmatrix} K_a \\ v_a \\ K_w \\ B_w \end{pmatrix}; \quad (1)$$

где  $B_w$  – балл волнения.

Силы и моменты в правой части (1) являются функциями элементов векторов  $\mathbf{Y}$ ,  $\mathbf{U}$ ,  $\mathbf{Q}$ . Представим систему (1) в матричном виде как:

$$\frac{d\mathbf{Y}}{dt} = \Phi\{\mathbf{Y}(t), \mathbf{U}(t), \mathbf{Q}(t)\}. \quad (2)$$

Выбирая интервал времени  $\Delta t$ , при котором можно считать  $d\mathbf{Y}/dt \approx \Delta\mathbf{Y}/\Delta t$  и обозначив моменты времени, следующие через интервал времени  $\Delta t$  как: 0, 1, 2, ..., J-1, J, J+1, представим  $\Delta\mathbf{Y}$  в виде:  $\Delta\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_{J+1} - \mathbf{Y}_J$ , а значение векторов  $\mathbf{Y}(t)$ ,  $\mathbf{U}(t)$ ,  $\mathbf{Q}(t)$  в момент времени J – как  $\mathbf{Y}_J$ ,  $\mathbf{U}_J$ ,  $\mathbf{Q}_J$ . Подставив эти значения в дифференциальное уравнение (2), получим конечное уравнение (3), вычисления по которому выполняются циклически.

$$\mathbf{Y}_{J+1} = \mathbf{Y}_J + \Phi(\mathbf{Y}_J, \mathbf{U}_J, \mathbf{Q}_J)\Delta t. \quad (3)$$

Значения параметров движения судна, управляющих сигналов, возмущающих воздействий, значения сил и моментов определяют по выражению (3), и далее рассчитывают кинематические параметры судна в последующий момент времени J+1. Для обеспечения достаточной для практических целей точности вычислений при расчете интервал времени  $\Delta t$  был выбран 1 с.

В работе выполнено моделирование системы динамического позиционирования для оффшорного судна, в котором реализовано управление позиционированием с помощью 4-х азимутальных пропульсивных установок. Для моделирования был использован специализированный пакет программ MSS (Marine Simulator Systems, Norwegian university of Science and Technology), где были использованы модельные элементы библиотеки авторов T. Perez, O.n. Smogeli, Thor I. Fossen и A.J. Sorensen [8, 11].

Среди формальных описаний движения надводного судна обычно выделяют полные модели, которые служат для представления всех перемещений судна в 3-х или более степенях свободы. Материальное тело может перемещаться в трех перпендикулярных осях:

перемещение вперед-назад, боковое смещение влево-вправо и вертикальные перемещения – качка (heave). В сочетании с вращением около трех перпендикулярных осей: (рыскания (yaw), килевой крен или тангаж (pitch), бортовой крен (roll) – шесть степеней свободы (Six degrees of freedom, 6DoF).

На рис. 3 показана модель судна, где указаны условные обозначения и параметры системы координат для описания движения судна.

При моделировании были сделаны следующие предположения [2, 18]:

- силы действующих движителей (трастеров) определяются как  $x$ -сила и  $y$ -сила;
- силы действующих трастеров не максимальны;
- действующие моменты внешних сил отсутствуют;
- штрафа за реверс тяги нет;
- судно представляется как точка с массой;
- вычисляются только расчетные силы, без учета парусности;
- инерция трастеров и судна не определяется.

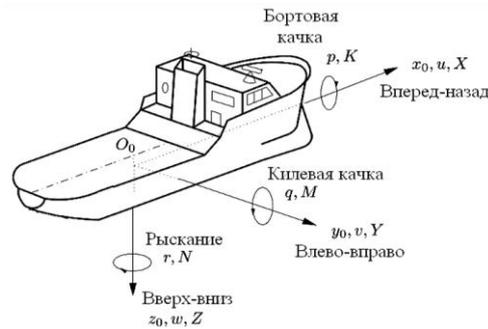


Рисунок 3 – Условные обозначения и параметры для описания движения оффшорного судна

Далее получаем следующие соотношения.

Сила течения:

$$F_c = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \rho V_c^2 C_{Xc}(\alpha_c) A_{TS} \\ \frac{1}{2} \rho V_c^2 C_{Yc}(\alpha_c) A_{LS} \end{pmatrix}, \quad M_c = \frac{1}{2} \rho V_c^2 C_{Mc}(\alpha_c) A_{LS} L, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность воды;  $V_c$  – относительная скорость водотока;  $\alpha_c$  – относительное направление водотока;  $A_{TS}$  – погруженная поперечная проектируемая область корпуса судна;  $A_{LS}$  – погруженная продольная проектируемая область корпуса судна;  $L$  – длина судна;  $C_{*c}(\alpha_c)$  – текущий коэффициент волны.

Сила ветра:

$$F_w = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \rho_{air} V_{rw}^2 C_{Xw}(\alpha_{rw}) A_T \\ \frac{1}{2} \rho_{air} V_{rw}^2 C_{Yw}(\alpha_{rw}) A_L \end{pmatrix}, \quad M_w = \frac{1}{2} \rho_{air} V_{rw}^2 C_{Mw}(\alpha_{rw}) A_L L, \quad (5)$$

где  $\rho_{air}$  – плотность воздуха;  $V_{rw}$  – относительная скорость ветра;  $\alpha_{rw}$  – относительное направление ветра;  $A_T$  – поперечная площадь проекции ветра;  $A_L$  – продольная площадь проекции ветра;  $L$  – длина судна;  $C_{*w}(\alpha_{rw})$  – текущий коэффициент ветра.

$$V_w(z) = V_w(z=10m) \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{\frac{1}{8}}, \quad (6)$$

где  $V_w(z = 10m)$  скорость за 10 м.

Сила волны:

$$F_{wd} = \begin{pmatrix} C_{xwd}(\alpha_{wd}, f_{wd}) \frac{1}{8} \rho g H^{2/3} L \\ C_{ywd}(\alpha_{wd}, f_{wd}) \frac{1}{8} \rho g H^{2/3} L \end{pmatrix}, \quad M_{wd} = C_{Mwd}(\alpha_{wd}, f_{wd}) \frac{1}{8} \rho g H^{2/3} L, \quad (7)$$

где:  $\rho$  – плотность воды;  $\alpha_{wd}$  – относительное направление волны;  $f_{wd}$  – регулярная частота колебания волны;  $C_{*wd}(\alpha_{wd}, f_{wd})$  – коэффициент дрейфа судна;  $g$  – коэффициент гравитации;  $H_{1/3}$  – высота волны;  $L$  – длина судна.

Усилия, создаваемые трастерами, определяются как:

$$T = C_T \rho n^2 D^4, \quad (8)$$

Крутящий момент определяется как:

$$Q = C_Q \rho n^2 D^5, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность воды;  $n$  – количество оборотов в минуту;  $D$  – диаметр винта;  $C_T$  – коэффициент тяги;  $C_Q$  – крутящий момент.

Расчет необходимых сил трастера определяется следующим образом:

- силы в направлении оси  $x$ :  $F_x = F_{x_{demand}} - F_{x_{wind}} - F_{x_{current}} - F_{x_{wave}}$ ;
- силы в направлении оси  $y$ :  $F_y = F_{y_{demand}} - F_{y_{wind}} - F_{y_{current}} - F_{y_{wave}}$ ;
- приложенный момент:  $M = M_{demand} - M_{wind} - M_{current} - M_{wave}$ .

Исходя из этого, получаем:

$$F_x = \sum_{i=1}^n (F_x)_i; \quad F_y = \sum_{i=1}^n (F_y)_i; \quad M = \sum_{i=1}^n (-y_i \cdot (F_x)_i + x_i \cdot (F_y)_i). \quad (10)$$

$$(F_x)_n = F_x - \sum_{i=1}^{n-1} (F_x)_i; \quad (F_y)_n = F_y - \sum_{i=1}^{n-1} (F_y)_i. \quad (11)$$

Заменив  $F_{x_n}$  и  $F_{y_n}$ :

$$(F_y)_{n-1} = \frac{M + y_n \cdot F_x - x_n \cdot F_y}{x_{n-1} - x_n} + \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{y_i - y_n}{x_{n-1} - x_n} \cdot (F_x)_i \right) + \sum_{i=1}^{n-2} \left( \frac{x_n - x_i}{x_{n-1} - x_n} \cdot (F_y)_i \right), \quad (12)$$

определяется полная мощность:

$$g((F_x)_1, \dots, (F_x)_{n-1}, (F_y)_1, \dots, (F_y)_{n-2}) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(F_x)_i^2 + (F_y)_i^2}. \quad (13)$$

Схемы моделирования системы динамического позиционирования оффшорного судна показаны на рис. 4–7.

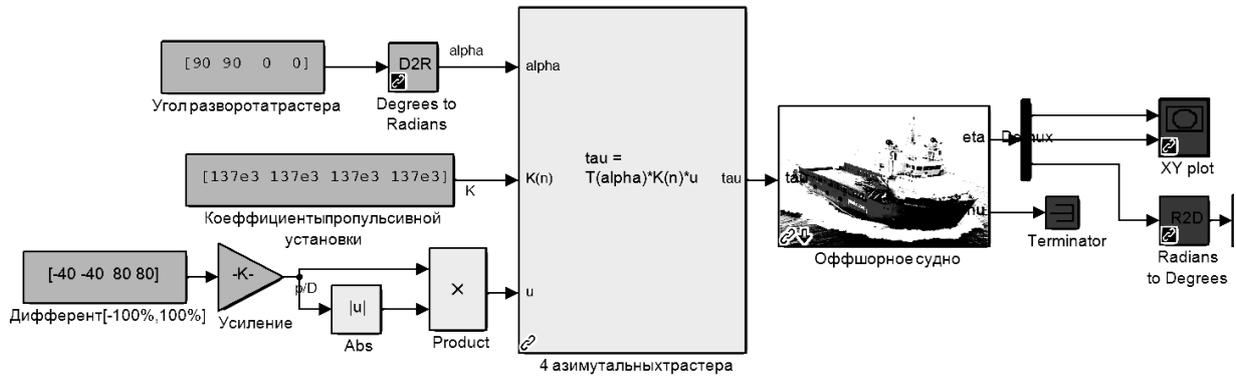


Рисунок 4 – Схема моделирования системы динамического позиционирования оффшорного судна

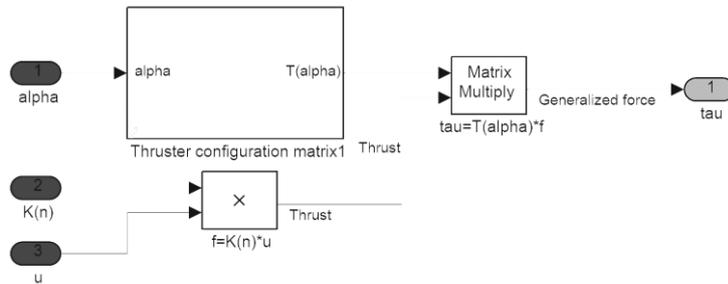


Рисунок 5 – Структура подсистемы с четырьмя азимутальными подруливающими устройствами

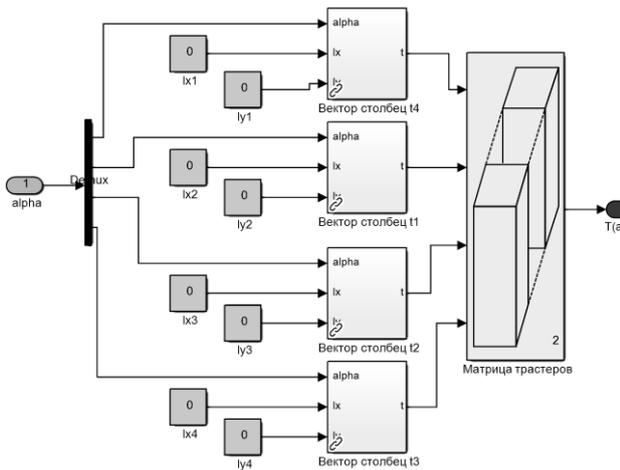


Рисунок 6 – Структура модели матрицы подруливающего устройства

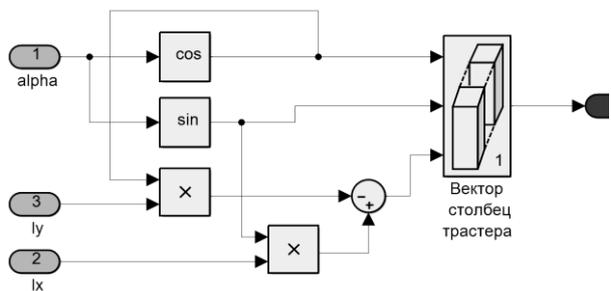


Рисунок 7 – Структура подсистемы управления координатами трастера

Результаты моделирования траектории движения судна по амплитуде и по фазе показаны на рис. 8 а, б.

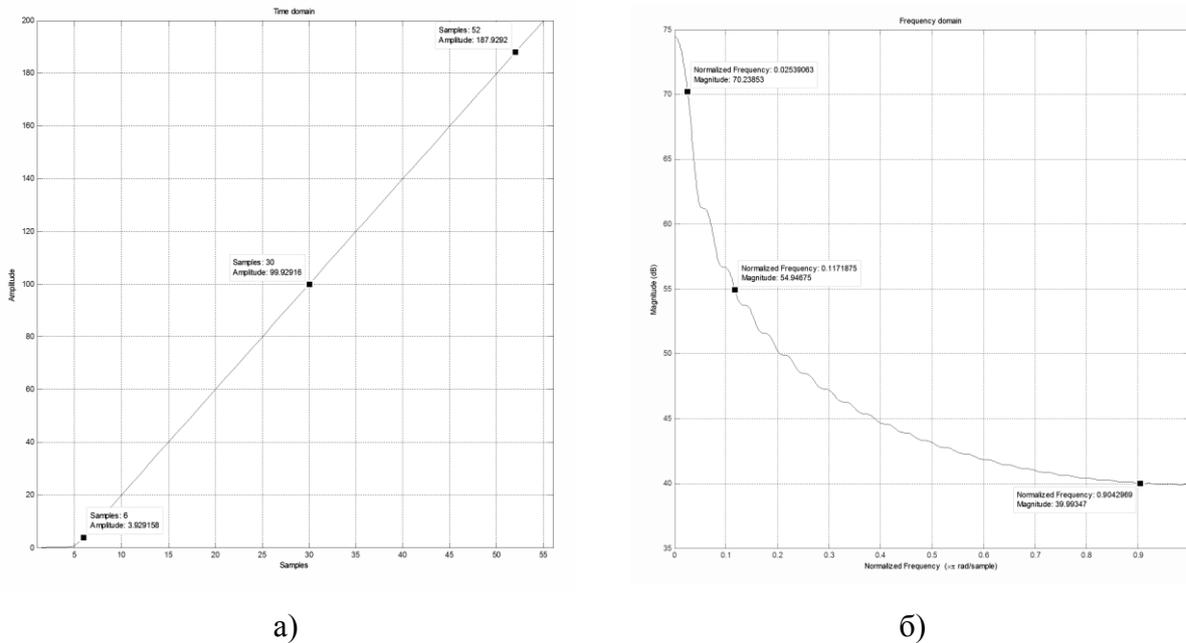


Рисунок 8 – Результати моделювання траєкторії судна: а) по амплитуді; б) по фазі

**Висновки.** Моделювання системи управління оффшорним судном виконано в програмному комплексі з використанням типових модулів, які були доповнені необхідними даними по судну. При моделюванні оффшорного судна в роботі показана принципіальна можливість використання моделі, яка може бути представлена як матеріальна точка з 3-ма степенями свободи. Аналіз траєкторії оффшорного судна при моделюванні системи динамічного позиціонування дозволив визначити мінімальну потужність судової електроенергетическої системи (СЕЭС), необхідну для управління. В перспективі для моделювання управління оффшорним судном з системою динамічного позиціонування слід застосовувати модифіковані моделі, де використовуються більше п'яти двигунів.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин С. Я., Тетюев Б. А. Системы автоматического управления движением судна по курсу. Л. : Судостроение, 1990. 256 с.
2. Васильев А. В. Управляемость судов. Л. : Судостроение, 1989. 328 с.
3. Гофман А. Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. Л. : Судостроение, 1988. 360 с.
4. Шостак В. П. Динамическое позиционирование плавучих объектов : монография. Чикаго : Мегатрон, 2010. 130 с.
5. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса : Феникс, 2007. 328 с.
6. Вагущенко Л. Л., Кошовий А. А. Автоматизовані комплекси судноводіння : підручник для морських академії. К. : Видавництво КВІЦ, 2000. 292 с.
7. Суевалов Л. Ф. Справочник по расчетам судовых автоматических систем. Л. : Судостроение, 1977. 376 с.
8. Fossen Thor I. Marine Control Systems, Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles. Marine Cybernetics, Trondheim, first edition, 2002. URL: : <http://www.marinecybernetics.com>.
8. Fossen Thor I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. Hoboken, N.J. : Wiley ; Chichester : John Wiley [distributor], 2011. 575 p.

9. Sorensen Asgeir J. Survey of dynamic positioning control systems. *Annual Reviews in Control*, 35, 2011. pp.123-136.
10. Fossen, T. I., Perez T. Marine Systems Simulator (MSS), 2004. URL: <https://github.com/cybergalactic/MSS>
11. Fossen S., Fossen T. I. eXogenous Kalman filter (XKF) for Visualization and Motion Prediction of Ships using Live Automatic Identification System (AIS) Data. *Modeling, Identification and Control*, Vol. 39, No. 4, 2018, pp. 233-244.
12. Perez T. Ship Motion Control. Monograph. Berlin, Springer, 2005. 300 p.
13. Perez, T., Fossen T. I. A Matlab Tool for Parametric Identification of Radiation-Force Models of Ships and Offshore Structures. *Modelling, Identification and Control*, 2009. MIC-30 (1):1-15.
14. Fossen Thor I., Perez Tristan. Kalman Filtering for Positioning and Heading Control of Ships and Offshore Rigs. *IEEE Control Systems Magazine*, December 2009. pp. 33–46.
15. Будашко В. В. Имплементарный подход при моделировании энергетических процессов динамически позиционирующего судна. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2015. № 6. С. 20–25.
16. Рожков С. О. Моделирование системы динамического позиционирования судна-поставщика типа PSV. *Вестник Херсонского национального технического университета*. № 04 (55). 2015. С. 159–166.
17. Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. Л., Заичко С. И. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности. Одесса : Феникс, 2005. 274 с.

## REFERENCES

1. Berezin S. YA. & Tetyuyev B. A. (1990). *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniyem sudna po kursu*. Leningrad : Sudostroyeniye.
2. Vasil'yev A. V. (1989). *Upravlyayemost' sudov*. Leningrad : Sudostroyeniye.
3. Gofman A. D. (1988). *Dvizhitel'no-rulevoy kompleks i manevrirovaniye sudna. Spravochnik*. Leningrad : Sudostroyeniye.
4. Shostak V. P. (2010). *Dinamicheskoye pozitsionirovaniye plavuchikh ob'yektov : monografiya*. Chikago : Megatron.
5. Vagushchenko L. L. & Tsymbal N. N. (2007). *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniyem sudna*. Odessa : Feniks.
6. Vagushchenko L. L. & Koshevoy A. A. (2000). *Avtomatizirovannyye komplekсы sudovozhdeniya. Uchebnik dlya morskikh akademiy*. Kiyev: KVITs.
7. Suyevalov L. F. (1977). *Spravochnik po raschetam sudovykh avtomaticheskikh sistem*. Leningrad : Sudostroyeniye.
8. Fossen Thor I. (2002). *Marine Control Systems, Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*. Marine Cybernetics, Trondheim, first edition. Retrieved from <http://www.marinecybernetics.com>.
9. Fossen Thor I. (2011). *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*. Hoboken, N.J. : Wiley ; Chichester : John Wiley [distributor].
10. Sorensen Asgeir J. (2011). Survey of dynamic positioning control systems. *Annual Reviews in Control*, 35, 123–136.
11. Fossen, T. I., Perez T. (2004). Marine Systems Simulator (MSS), 2004. Retrieved from <https://github.com/cybergalactic/MSS>
12. Fossen S., Fossen T. I. (2018). eXogenous Kalman filter (XKF) for Visualization and Motion Prediction of Ships using Live Automatic Identification System (AIS) Data. *Modeling, Identification and Control*, Vol. 39, No. 4, 233–244.
13. Perez T. (2005). *Ship Motion Control* : monograph. Berlin, Springer.

14. Perez, T., Fossen T. I. (2009). A Matlab Tool for Parametric Identification of Radiation-Force Models of Ships and Offshore Structures. *Modelling, Identification and Control*, MIC-30(1):1-15.
15. Fossen Thor I., Perez Tristan. (2009). Kalman Filtering for Positioning and Heading Control of Ships and Offshore Rigs. *IEEE Control Systems Magazine*, December 2009, 33-46.
16. Budashko, V. V. (2015). Implementarnyy podkhod pri modelirovanii energeticheskikh protsessov dinamicheskii pozitsioniruyushchego sudna. *Elektrotehnika i Elektromekhanika*, 6, 20–25.
17. Rozhkov S. O. (2015). Modelyuvannya systemy dinamichnoho pozitsiyuvannya sudna-postachal'nyka typu PSV. *Vestnik Khersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*, 04(55), 159–166.
18. Vagushchenko L. L., Vagushchenko A. L. & Zaichko S.I. (2005). *Bortovyye avtomatizirovannyye sistemy kontrolya morekhodnosti*. Odessa : Feniks.

**Бутаков І. Б., Тимофєєв К. В. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОФШОРНОГО СУДНА**

*У статті розглядаються питання моделювання системи динамічного позиціонування морського офшорного судна.*

*Для задоволення вимог безпеки при виконанні різних спеціальних завдань на морі і забезпечення належного й точного контролю курсу та розташування морського офшорного судна широко використовуються системи динамічного позиціонування (DP).*

*Використання систем DP на судах морського офшорного флоту є кращим з економічної точки зору, оскільки не потрібно додаткових витрат для забезпечення ефективного контролю поточного місцезнаходження і курсу морського судна під час виконання робіт. Метою дослідження є розробка математичної моделі системи динамічного позиціонування офшорного судна з чотирма рушіями, яка дозволить визначити мінімальну потужність суднової електроенергетичної системи. Моделі необхідні для забезпечення точності управління при зміні характеристик силової установки і систем відліку у різних ситуаціях.*

*Система управління судном моделювалася в програмному середовищі з використанням стандартних бібліотечних модулів, які доповнилися необхідними даними офшорного судна. Питання оптимізації систем управління і методів моделювання розглядалися в дослідженнях Thor I. Fossen, Sorensen J.A. і Perez T. O.p. Smogeli з урахуванням впливу зовнішніх збурень. У цих дослідженнях, використовуючи сучасні методи управління, розглядається об'єкт управління (судно) в тривимірному просторі як об'єкт з трьома або більше ступенями свободи (DOF).*

*З огляду на змінні значення зовнішніх збурень, які впливають на якість управління об'єктом, істотну роль в управлінні системою DP відіграють точність прогнозів і швидкість оновлення моделі. Результати моделювання дозволяють описати офшорне судно як точку маси, з огляду на три ступені свободи, і використовувати для аналізу управління курсом систему динамічного позиціонування DP.*

**Ключові слова:** офшорне судно, моделювання, система динамічного позиціонування, збурення, ступінь свободи, координати, курс.

**Butakov I. B., Timofeev K. V. MODELLING OF DYNAMIC POSITIONING SYSTEM OF AN OFFSHORE SHIP**

*The article discusses the modelling of the dynamic positioning system of a marine offshore vessel.*

*To meet the safety requirements when performing various special tasks at sea and to ensure proper and accurate control of the course and location of the offshore vessel, dynamic positioning systems (DP) are widely used.*

*The use of DP systems on ships of the marine offshore fleet is preferable from an economic point of view, since no additional costs are required to ensure effective control of the current location and course of the marine vessel during the performance of work.*

*The aim of the study is to develop a mathematical model of a dynamic positioning system for an offshore ship with four movers, which will determine the minimum power of the ship's electric power system. Models are necessary to ensure precision control when changing the characteristics of the power plant and reference systems in various situations.*

*The ship control system was modelled in a software environment using standard library modules, which were supplemented with the necessary data from an offshore ship. The issues of optimization of control systems and modelling methods were considered in the studies of Thor I. Fossen, Sorensen J.A. and Perez T. O.n. Smogeli taking into account the influence of external disturbances. In these studies, using modern control methods, a control object (vessel) in three-dimensional space is considered as an object with three or more degrees of freedom (DOF).*

*Given the variable values of external perturbations that affect the quality of control of an object, a significant role in controlling the DP system is played by the accuracy of forecasts and the speed of model updating. The simulation results allow us to describe an offshore vessel as a point of mass, taking into account three degrees of freedom, and we used the DP dynamic positioning system for heading analysis.*

*An analysis of the trajectory of an offshore vessel when modelling a dynamic positioning system made it possible to determine the minimum power of the ship's electric power system necessary for control. In the future, to model the control of an offshore vessel with a dynamic positioning system, modified models should be used, where more than five propulsions are used.*

**Keywords:** *offshore vessel, modelling, dynamic positioning system, disturbance, degree of freedom, coordinates, course.*

© Бутаков І. Б., Тимофєєв К. В.

Статтю прийнято  
до редакції 10.09.19