

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-716-725

DEVELOPING A MODEL OF THE DYNAMICS OF UNMANNED VESSEL ON COURSE BASED ON THE EXPERIMENTAL DATA

A. A. Dyda, K. N. Plyasheshnik, I. I. Pushkarev

Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation

The issue of constructing a theoretical model of the dynamics of unmanned vessel on the course based on experimental data is discussed in the paper. A brief description of the experimental platform for unmanned surface vehicle (USV) and the equipment used in the study of the dynamic characteristics of the object is given. It is noted that the USV is characterized by three modes of movement: displacement, semi-displacement and planning. When collecting data to build a boat dynamics model, zigzag maneuvers and circulation are used. The developed software and hardware with a frequency of 10 Hz ensure the preservation of the required parameters, in particular, the boat speed, the angular velocity, the current position of the steering wheel. At the first stage, a theoretical model of the USV dynamics along the course is selected. The well-known Nomoto models of the 1st and 2nd orders are selected as such. At the second stage of constructing models of the USV dynamics along the course, a quadratic criterion is set; it estimates the deviation of the angular velocity of the experimental boat from the estimates of the angular velocity generated by the Nomoto model, with the same input action (position of the steering wheel). Thus, the task is reduced to the optimization of the quadratic criterion by choosing the parameters of the Nomoto model. This problem can be solved both analytically and numerically, using special software tools. Its complexity depends on the order of the selected ship dynamics model. In this work, the selection of the parameters of the vessel dynamics along the course is carried out in two ways: using a solution search tool in MS Excel and on the basis of the System Identification Toolbox software package. Both options give a good match for the parameters of the constructed dynamics model. Studies have shown that using the more complex 2nd order Nomoto model improves the quality criterion over the simpler 1st order model. The approach used in the work has a fairly high degree of generality and can be practically applied without changes to build more complex nonlinear models of ship dynamics.

Keywords: unmanned vessel, traffic control, theoretical model, optimality criterion, experimental data, Nomoto model, numerical optimization, vessel dynamics, identification, model parameters, MATLAB.

For citation:

Dyda, Alexander A., Ksenya N. Pliasheshnik, and Igor I. Pushkarev. "Developing a model of the dynamics of unmanned vessel on course based on the experimental data." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 12.4 (2020): 716–725. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-716-725.

УДК 681.5.015

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДНА ПО КУРСУ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

А. А. Дыда, К. Н. Пляшешник, И. И. Пушкарев

Морской Государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,
Владивосток, Российская Федерация

Рассмотрен вопрос построения теоретической модели динамики безэкипажного судна по курсу на основе экспериментальных данных. Приводится краткое описание экспериментальной платформы для безэкипажного катера и оборудования, использованного при исследовании динамических характеристик объекта. Отмечается, что для катера характерными являются три режима движения: водоизмещающий, переходный и глиссирующий. При сборе данных для построения модели динамики катера использовались маневры типа «зиг-заг» и циркуляция. Разработанные программно-аппаратные средства с частотой 10 Гц обеспечили сохранение необходимых параметров, в частности таких, как скорость дви-

жения, угловая скорость и текущее положение рулевого колеса. Так, на первом этапе выбиралась теоретическая модель динамики судна по курсу. В качестве таковых были выбраны известные модели Номото 1-го и 2-го порядка. На втором этапе построения моделей динамики по курсу задавался квадратичный критерий, оценивающий отклонение угловой скорости экспериментального катера от оценок угловой скорости, которую генерирует модель Номото при одном и том же входном воздействии (положении рулевого колеса). Таким образом, задача сводилась к оптимизации квадратичного критерия путем выбора параметров модели Номото. Подчеркивается, что эта задача может быть решена как аналитическим способом, так и численным с привлечением специальных программных средств. Ее сложность зависит от порядка выбранной модели динамики судна. В работе подбор параметров динамики судна по курсу был выполнен двумя способами: с помощью средства поиска решения в среде MS Excel и на базе программного пакета System Identification Toolbox. Оба варианта дали хорошее совпадение параметров построенной модели динамики. Исследования показали, что использование более сложной модели Номото второго порядка позволяет улучшить критерий качества по сравнению с более простой моделью первого порядка. Используемый в работе подход имеет достаточно высокую степень общности и практически без изменений может быть применен для построения более сложных нелинейных моделей динамики судна.

Ключевые слова: безэкипажное судно, управление движением, теоретическая модель, критерий оптимальности, экспериментальные данные, модель Номото, численная оптимизация, динамика судна, идентификация, параметры модели, matlab.

Для цитирования:

Дыда А. А. Построение модели динамики безэкипажного судна по курсу на основе экспериментальных данных / А. А. Дыда, К. Н. Пляшешник, И. И. Пушкарев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 716–725. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-716-725.

Введение (Introduction)

В современном мире в различных областях человеческой деятельности получили активное развитие беспилотные технологии. Тенденция применения автоматических транспортных средств является актуальной и в морской отрасли [1]. Так, наблюдается постоянный рост числа заинтересованных сторон, принимающих активное участие в разработке алгоритмов, оборудования и технологических решений, направленных на развитие нового вида морского транспорта — безэкипажных судов [2], [3]. При разработке безэкипажного судна его центральным и наиболее сложным элементом является *система управления* [4]. Для построения эффективной системы управления движением судна требуется его адекватная математическая модель [5]–[7]. В специальной литературе приведено описание ряда теоретических моделей, описывающих динамику судна: от полных нелинейных, многомерных моделей, представляющих собой совокупность дифференциальных уравнений, до упрощенных частных моделей, описывающих определенные режимы движения судна.

Целью настоящей работы является построение частных математических моделей динамики судна по курсу на основе экспериментальных данных, полученных в процессе морских испытаний экспериментальной платформы для безэкипажного катера (БЭК).

Методы и материалы (Methods and Materials)

Экспериментальная платформа БЭК (рис. 1) представляет собой алюминиевый глиссирующий катер с катамаранными обводами корпуса ассиметричного типа, имеющими плоские внутренние поверхности («Split Hull») [8]. Длина катера составляет 6 м, ширина — 2,6 м и водоизмещение — 1,3 т. Силовая установка состоит из двух подвесных лодочных моторов мощностью по 40 л. с.

При разработке математической модели необходимо учитывать, что динамические характеристики катера могут существенно отличаться на разных режимах движения. Используемый катер имеет несколько основных режимов движения: водоизмещающий, переходный и глиссирующий. Для сбора экспериментальных данных использовались установившиеся режимы движения на ряде фиксированных диапазонов скоростей: 1,5–2 м/с, 2,5–3 м/с, 3,5–4 м/с, 4–5 м/с, 5–8 м/с.

Для сбора экспериментальных данных можно использовать различные стандартные виды техники маневрирования, которые были предложены на Международной конференции опытовых бассейнов (International Towing Tank Conference) и описаны в работе Тора Фоссена [9]: маневры: *циркуляция, зиг-заг, спираль, разгон – торможение* и т. д.

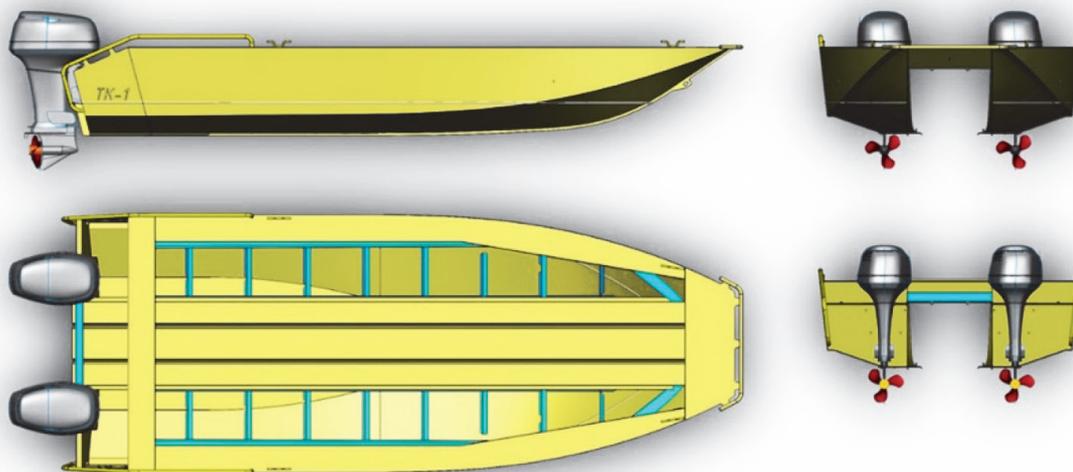


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной платформы для БЭК

В рассматриваемом случае сбор данных происходил на спокойной воде при выполнении маневров *зиг-заг* и *циркуляции* как наиболее подходящие для оценки динамики судна по курсу [10].

В процессе выполнения указанных маневров с частотой 10 Гц производилась запись необходимых параметров: скорости движения, угловой скорости и текущего положения рулевого колеса. Данные скорости поступали с GPS / Глонасс-приемника, а для получения данных угловой скорости использовался датчик ориентации CH Robotics UM7-LT [11]. Пример полученных экспериментальных данных при выполнении тестового маневра приведен на рис. 2.

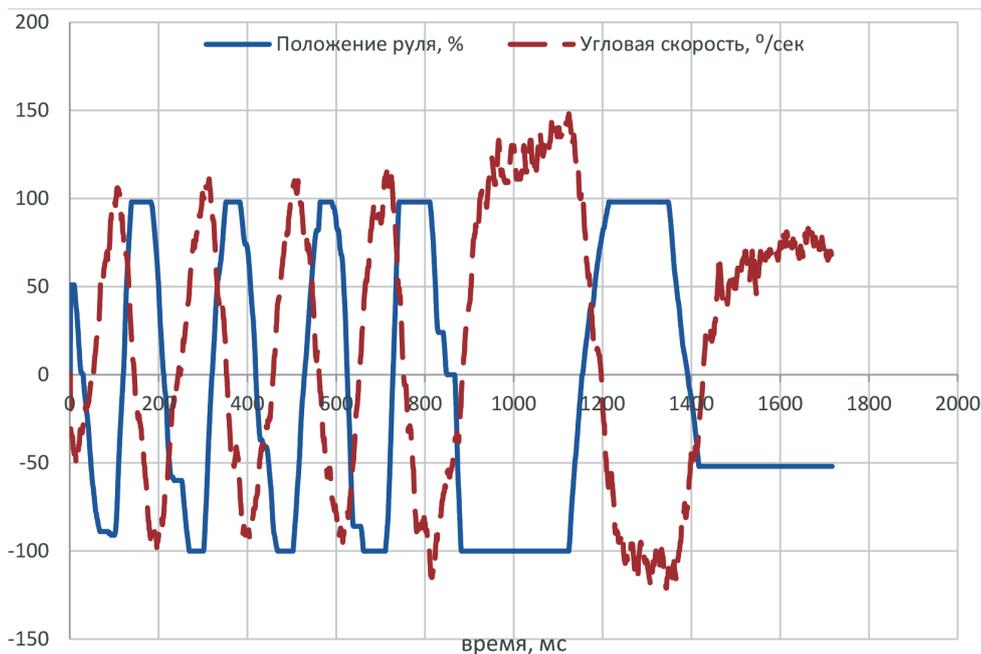


Рис. 2. Полученные экспериментальные данные при скорости движения 2,5–3 м/с

Результаты (Results)

Первым шагом построения модели динамики движения судна по курсу является выбор теоретической модели. В специальной литературе к таким моделям относятся линейные модели Номото 1-го и 2-го порядка [12], нелинейные модели Бежа [13] и Норбина [14]. После выбора конкретной модели следующим шагом является нахождение ее параметров (коэффициентов передачи, постоянной времени и т. д.), при котором обеспечивается максимальное совпадение экспериментальных данных с данными, полученными на основе использования теоретической модели при одном и том же воздействии. Наиболее часто применяемым методом для решения подобных задач является *метод наименьших квадратов*, суть которого заключается в формировании критерия, представляющего собой сумму разностей между экспериментальными данными и данными, вычисленными на основе использования выбранной теоретической модели.

В данной работе использованы модели Номото 1-го и 2-го порядка как наиболее распространенные и удобные для практического использования [15]. Модель Номото 1-го порядка имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} &= \omega; \\ \dot{\omega} &= -\frac{1}{T}\omega + \frac{k}{T}\delta, \end{aligned} \quad (1)$$

где δ — угол поворота пера руля;
 φ — курс;
 ω — угловая скорость;
 T — постоянная времени;
 k — коэффициент передачи.

Выполнив необходимую дискретизацию модели с шагом по времени Δt и заменив производные в уравнении (1) конечными разностями, получим:

$$\begin{aligned} \delta &= wh; \\ \dot{\omega} &= -\frac{1}{T}\omega + \frac{k}{T}wh; \\ \frac{\omega(i+1) - \omega(i)}{\Delta t} &= -\frac{1}{T}\omega(i) + \frac{k}{T}wh(i); \\ \omega(i+1) &= \omega(i) + \Delta t \left(-\frac{1}{T}\omega(i) + \frac{k}{T}wh(i) \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где w — положение рулевого колеса (пера руля);
 h — коэффициент преобразования положения рулевого колеса в угол положения движителей.

Задача нахождения параметров и t может быть решена аналитически. Для этого сформируем критерий:

$$\sum_{i=1}^n (\omega_{\text{пр}} - \omega_{\text{т}})^2, \quad (3)$$

где i — номер шага;
 n — количество шагов;
 $\omega_{\text{пр}}$ — угловая скорость экспериментальная;
 $\omega_{\text{т}}$ — угловая скорость теоретическая.

Задача сводится к минимизации данного критерия. Наиболее удобным с практической точки зрения является путь прямой численной оптимизации с помощью вычислительной среды MS Excel, в которую встроена функция поиска решения. Данная функция позволяет выполнить оптимизацию. Результаты вычислений для заданных диапазонов скоростей показаны в табл. 1.

Таблица 1

Результаты идентификации модели Номото 1-го порядка

v	1,5–2 м/с	2,5–3 м/с	3,5–4 м/с	4–5 м/с	6–8 м/с
k	–0,20735	–0,31202	–0,32782	–0,28908	–0,2698
t	5,744963	4,094419	2,924847	1,644972	1,421113

Сравнительные графики практических угловых скоростей и теоретических, вычисленных по полученным моделям Номото 1-го порядка для заданных диапазонов скоростей, показаны на рис. 3.

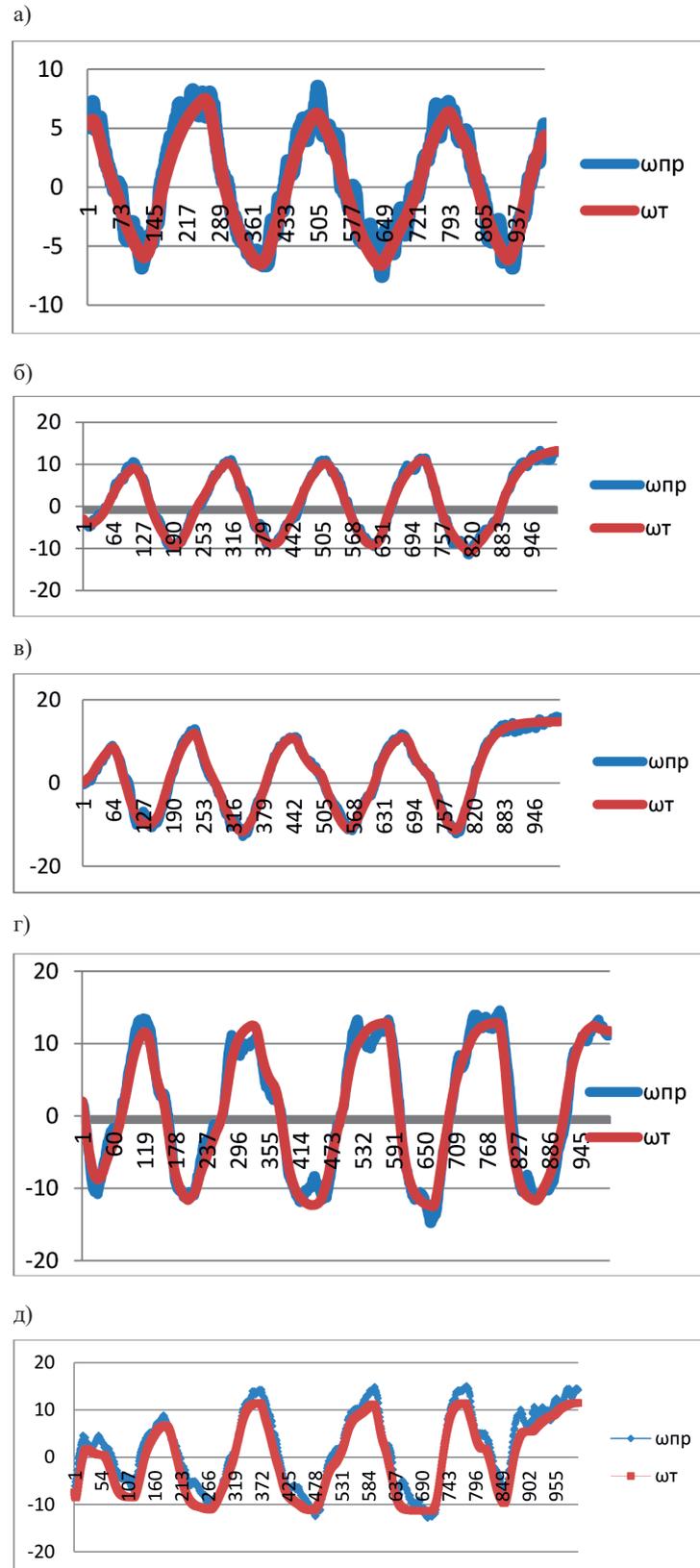


Рис. 3. Сравнительный график результатов практических и теоретических значений угловой скорости: а — диапазон скоростей 1,5–2 м/с; б — диапазон скоростей 2,5–3 м/с; в — диапазон скоростей 3,5–4 м/с; г — диапазон скоростей 5–6 м/с; д — диапазон скоростей 6–8 м/с

Дополнительно идентификацию теоретической модели можно выполнить автоматическим способом с помощью специальных программных средств. Так, коэффициенты модели Номото 1-го порядка, полученные на основе использования экспериментальных данных, были вычислены с помощью программного пакета System Identification Toolbox матричной лаборатории MATLAB [16]. Полученные коэффициенты практически совпали с коэффициентами, вычисленными предыдущим способом и указанными в табл. 1.

Программный пакет System Identification Toolbox позволяет рассчитывать критерий адекватности полученной модели *Fit*, который рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Fit} = 100(1 - \text{norm}(y/h-y) / \text{norm}(y - \text{mean}(y))), \quad (4)$$

где y — измеряемые выходные данные;

yh — данные, полученные в результате моделирования;

$\text{norm}()$ — функция расчета нормы вектора;

$\text{mean}()$ — функция расчета среднего значения.

Полученные критерии *Fit* имеют значения 75–90 % для разных диапазонов скоростей, что свидетельствует о высокой оценке адекватности модели.

Модель Номото 2-го порядка имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_1; \\ \dot{\omega}_1 &= \omega_2; \\ \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{T_1 T_2} (-(T_1 + T_2)\omega_2 - \omega_1 + k\delta), \end{aligned} \quad (5)$$

где δ — угол поворота пера руля;

φ — курс;

ω — угловая скорость,

T_1, T_2 — постоянные времени;

k — коэффициент передачи.

Выполнив дискретизацию модели с шагом по времени, заменив производные в уравнении (5) конечными разностями, получим:

$$\begin{aligned} \omega_1(i+1) &= \omega_1(i) + \Delta t \cdot \omega_2(i); \\ \omega_2(i+1) &= \omega_2(i) + \Delta t \left(\frac{1}{T_1 T_2} (-(T_1 + T_2)\omega_2(i) - \omega_1(i) + k\delta(i)) \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Формируем критерий $\sum_{i=1}^n (\omega_{\text{пр}} - \omega_t)^2$, и решаем задачу минимизации аналогично, как и для модели Номото 1-го порядка. Результаты вычислений для заданных диапазонов скоростей показаны в табл. 2.

Таблица 2

Результаты идентификации модели Номото 2-го порядка

v	1,5–2 м/с	2,5–3 м/с	3,5–4 м/с	4–5 м/с	6–8 м/с
$T1$	1,92377	1,577227	1,269899	0,754507	0,638517
$T2$	1,92377	1,577227	1,269899	0,754507	0,638517
k	–0,14718	–0,24642	–0,2928	–0,27247	–0,25611

Сравнительные графики практических угловых скоростей и теоретических, вычисленных по полученным моделям Номото 2-го порядка, для заданных диапазонов скоростей показаны на рис. 4.

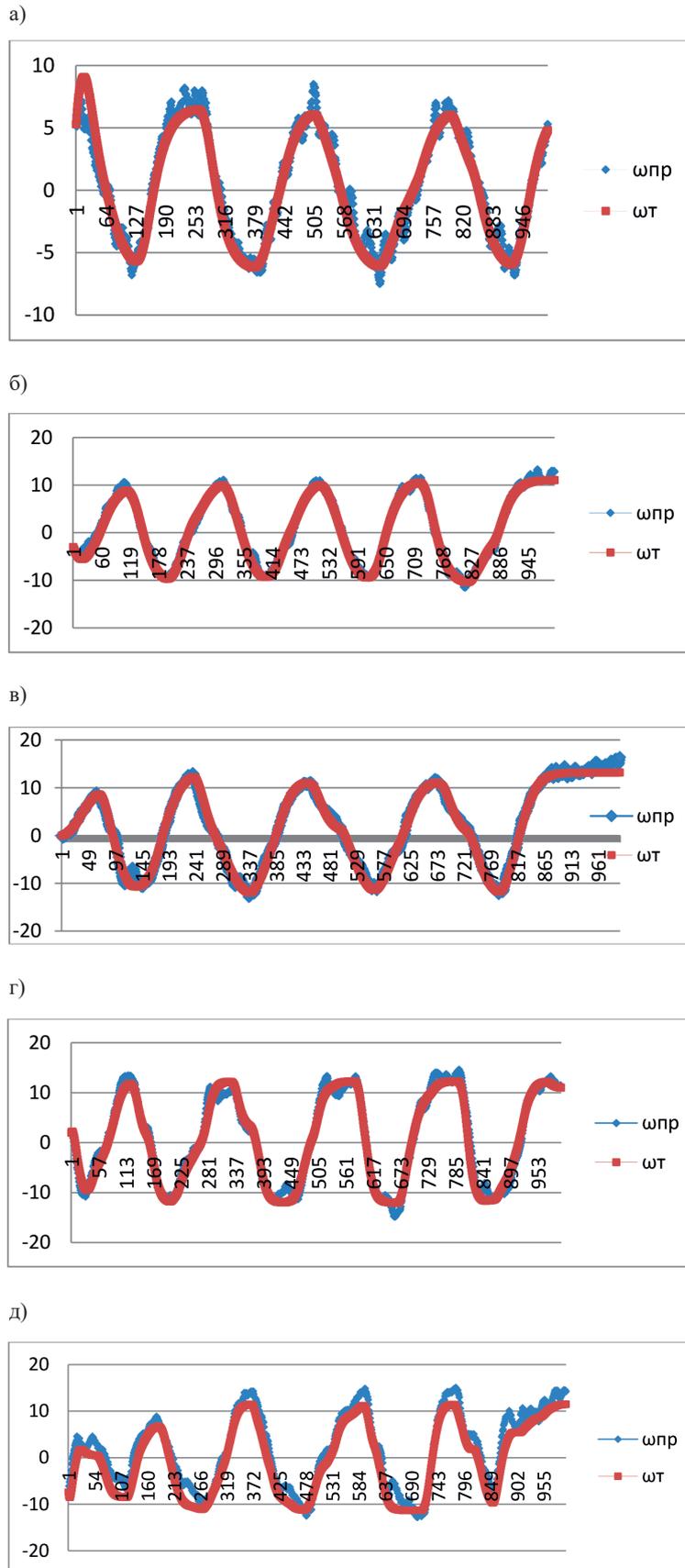


Рис. 4. Сравнительный график результатов практических и теоретических значений угловой скорости: а — диапазон скоростей 1,5–2 м/с; б — диапазон скоростей 2,5–3 м/с; в — диапазон скоростей 3,5–4 м/с; г — диапазон скоростей 4–5 м/с; д — диапазон скоростей 6–8 м/с

Критерий адекватности полученной модели, вычисленный в System Identification Toolbox для модели Номото 2-го порядка, повысился на 1–5 %. Применение данной модели позволило достичь незначительного улучшения результата.

Заключение (Conclusion)

В работе предложено решение задачи идентификации динамики судна по курсу, заключающееся в определении параметров уравнений на примере традиционных линейных моделей Номото 1-го и 2-го порядка. Построение линейных моделей динамики выполнялось на основе фактических экспериментальных данных, полученных во время морских испытаний экспериментальной платформы БЭК. Сущность применяемого подхода заключалась в согласовании экспериментальных данных о движении судна по курсу и их оценок, получаемых на основе выбранной теоретической модели. Задача построения модели динамики БЭК по курсу была сведена к оптимизации построенного квадратичного критерия путем определения параметров выбранной теоретической модели. Использованный подход обладает достаточно высокой степенью общности и может быть использован для построения более сложных нелинейных моделей динамики судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Paton G.* UK's first fully autonomous vessel the C-Worker 7 is launched / G. Paton // The Times. — 2018 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.thetimes.co.uk/article/uk-s-first-fully-autonomous-vessel-the-c-worker-7-is-launched-86jwnzmm#:~:text=The%20vessel%2C%20C%2DWorker%207,for%20up%20to%2030%20days> (дата обращения: 01.08.2020).
2. *Koikas G.* New Technology trends in the design of Autonomous Ships / G. Koikas, M. Papoutsidakis, N. Nikitakos // International Journal of Computer Application. — 2019. — Vol. 178. — No. 25. — Pp. 4–7. DOI: 10.5120/ijca2019919043.
3. *Komianos A.* The autonomous shipping era. operational, regulatory, and quality challenges / A. Komianos // TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. — 2018. — Vol. 12. — No. 2. — Pp. 335–348. DOI: 10.12716/1001.12.02.15.
4. *Вагущенко Л. Л.* Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. — Одесса: Латстар, 2002. — 310 с.
5. *Смоленцев С. В.* Простая аналитическая модель движения судна / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21.
6. *Позняков С. И.* Сравнение математических моделей с точки зрения коэффициентов влияния / С. И. Позняков, Ю. И. Юдин // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2006. — Т. 9. — № 2. — С. 241–245.
7. *Юдин Ю. И.* Маневренные характеристики судна как функции параметров его математической модели / Ю. И. Юдин, С. И. Позняков // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2006. — Т. 9. — № 2. — С. 234–239.
8. *Назаров А.* Особенности проектирования глиссирующих катамаранов / А. Назаров // Катера и Яхты. — 2009. — № 2 (218). — С. 61–65.
9. *Fossen T. I.* Marine control systems. Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles / T. I. Fossen // Marine Cybernetics. — Trondheim, Norway, 2009. — Pp. 330–335.
10. *Artyszuk J.* Peculiarities of zigzag behaviour in linear models of ship yaw motion / J. Artyszuk // Annual of Navigation. — 2016. — Vol. 23. — Is. 1. — Pp. 23–38. DOI: 10.1515/aon-2016-0002.
11. UM7 datasheet [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.chrobotics.com/docs/UM7%20Datasheet_v1-6_10.1.2016.pdf (дата обращения 10.07.2019).
12. *Nomoto K.* On the steering qualities of ship / K. Nomoto, T. Taguchi, K. Honda, S. Hirano // Journal of Zosen Kiokai. — 1956. — Vol. 1956. — Is. 99. — Pp. 75–82. DOI: 10.2534/jjasnaoe1952.1956.99_75.
13. *Bech M. I.* Paper 17. Some Aspects of the Stability of Automatic Course Control of Ships / M. I. Bech // Journal of Mechanical Engineering Science. — 1972. — Vol. 14. — Is. 7. — Pp. 123–131. DOI: 10.1243/JMES_JOUR_1972_014_072_02.

14. *Norrbin N. H.* On the Design and Analysis of the Zig-Zag Test on Base of Quasilinear Frequency Response / N. H. Norrbin // Technical Report No. B140-3. — The Sweden State Shipbuilding Experimental Tank (SSPA), 1963. — Vol. 14. — Is. 7. — Pp. 91–107.
15. *Carrillo S.* Obtaining First and Second Order Nomoto Models of a Fluvial Support Patrol using Identification Techniques / S. Carrillo, J. Contreras // *Ship Science and Technology*. — 2018. — Vol. 11. — Pp 19–28. DOI: <https://doi.org/10.25043/19098642.160>.
16. *Ljung L.* System Identification Toolbox User's Guide / L. Ljung. — The MathWorks, Inc, 2014. — 886 p.

REFERENCES

1. Paton, Graeme. “UK’s first fully autonomous vessel the C-Worker 7 is launched.” *The Times* (2018). Web. 1 Aug. 2020 <<https://www.thetimes.co.uk/article/uk-s-first-fully-autonomous-vessel-the-c-worker-7-is-launched-86jwnzmmr#:-:~:text=The%20vessel%2C%20C%2DWorker%207,for%20up%20to%2030%20days>>.
2. Koikas, G., M. Papoutsidakis, and N. Nikitakos. “New Technology trends in the design of Autonomous Ships.” *International Journal of Computer Application* 178.25 (2019): 4–7. DOI: 10.5120/ijca2019919043.
3. Komianos, Aristotelis. “The autonomous shipping era. operational, regulatory, and quality challenges.” *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 12.2 (2018): 335–348. DOI: 10.12716/1001.12.02.15.
4. Vagushchenko, L. L., and N. N. Tsymbal. *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna*. Odesa: Latstar, 2002.
5. Smolentsev, Sergey V., and Dmitry V. Isakov. “A simple analytical model of ship movement.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21.
6. Poznyakov, S. I., and Yu. I. Yudin. “Sravnenie matematicheskikh modelei s tochki zreniya koeffitsientov vliyaniya.” *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* 9.2 (2006): 241–245.
7. Judin, J. I., and S. I. Poznjakov. “Manevrennie charakteristiki sudna kak funkzii parametrov ego matematicheskoy modeli.” *Vestnik MGTU* 9.2 (2006): 234–239.
8. Nazarov, A. “Osobennosti proektirovaniya glissiruyushchikh katamaranov.” *Katera i Yakhty* 2(218) (2009): 61–65.
9. Fossen, Thor I. “Marine control systems. Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles.” *Marine Cybernetics*. Trondheim, Norway, 2009. 330–335.
10. Artyszuk, Jarosław. “Peculiarities of zigzag behaviour in linear models of ship yaw motion.” *Annual of Navigation* 23.1 (2016): 23–38. DOI: 10.1515/aon-2016-0002.
11. UM7 datasheet. Web. 10 July 2019 <http://www.chrobotics.com/docs/UM7%20Ddatasheet_v1-6_10.1.2016.pdf>.
12. Nomoto, Kensaku, Kenshi Taguchi, Keinosuke Honda, and Susumu Hirano. “On the steering qualities of ships.” *Journal of Zosen Kiokai* 1956.99 (1956): 75–82. DOI: 10.2534/jjasnaoe1952.1956.99_75.
13. Bech, M. I. “Paper 17. Some Aspects of the Stability of Automatic Course Control of Ships.” *Journal of Mechanical Engineering Science* 14.7 (1972): 123–131. DOI: 10.1243/JMES_JOUR_1972_014_072_02.
14. Norrbin, N. H. “On the Design and Analysis of the Zig-Zag Test on Base of Quasilinear Frequency Response.” *Technical Report No. B140-3*. The Sweden State Shipbuilding Experimental Tank (SSPA), 1963. Vol. 14. Is. 7. 91–107.
15. Carrillo, Sandra, and Juan Contreras. “Obtaining First and Second Order Nomoto Models of a Fluvial Support Patrol using Identification Techniques.” *Ship Science and Technology* 11.22 (2018): 19–28.
16. Ljung, Lennart. *System Identification Toolbox User's Guide*. The MathWorks, Inc, 2014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дыда Александр Александрович — доктор технических наук, профессор Морской государственной университет имени адмирала Г. И. Невельского 690003, Российская Федерация, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а e-mail: adyda@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dyda, Alexander A. — Dr. of Technical Sciences, professor Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy 50a, Verhneportovaya Str., Vladivostok, 690003, Russian Federation e-mail: adyda@mail.ru

Пляшешник Ксения Николаевна — аспирант

Научный руководитель:

Дыда Александр Александрович
Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского
690003, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, д.50а
e-mail: ksushechka_1991@mail.ru

Пушкарев Игорь Игоревич — аспирант

Научный руководитель:

Дыда Александр Александрович
Морской государственный университет имени
адмирала Г. И. Невельского
690003, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50а
e-mail: B_r_i_g88@mail.ru

Pliasheshnik, Ksenya N. — Postgraduate

Supervisor:

Dyda, Alexander A.
Maritime State University
named after admiral G.I. Nevelskoy
50a, Verhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,
Russian Federation
e-mail: ksushechka_1991@mail.ru

Pushkarev, Igor I. — Postgraduate

Supervisor:

Dyda, Alexander A.
Maritime State University
named after admiral G.I. Nevelskoy
50a, Verhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,
Russian Federation
e-mail: B_r_i_g88@mail.ru

Статья поступила в редакцию 6 августа 2020 г.

Received: August 6, 2020.