

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1111-1121

SIMULATION OF SHIP MOVEMENT BASED ON A SIMPLIFIED KINEMATIC MODEL

S. V. Smolentsev, D. V. Isakov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The article discusses the problem of synthesis of the trajectory of the vessel. The solution of this problem is important for the development of automatic ship control systems. In particular, it is solved in the system of automatic collision avoidance systems. One of the components of this system is the ship's movement modeling subsystem. This subsystem synthesizes the prediction of the trajectory of the movement of both own vessel and target ships in the water area.

The article proposed a simple kinematics model of vessel dynamics. The number of parameters of this model is minimal. With the use of this model and data on the route of the vessel (Voyage plan), the trajectory of the vessel can be synthesized. An algorithm for modeling the movement of the vessel is proposed. The trajectory of the vessel is obtained by integrating the proposed equations.

To use the proposed models of dynamics, it is necessary to set their parameters. The parameters of the dynamics models depend on the type of vessel, its tonnage and dimensions. In addition, they are different for a ship in ballast and full loaded.

The problems of identification of the model parameters is considered. A method of identifying the parameters of the model of the ship's dynamics according to the data from the maneuvering booklet is proposed. The maneuvering booklet contains information about the ship's motion when performing standard maneuvers course and speed. Its presence on the ship is mandatory in accordance with IMO Resolution A.601 (15).

The proposed method allows to calculate the parameters of the model of the vessel's circulation dynamics during turning and the parameters of the model of the vessel's dynamics during deceleration and acceleration. The article presents an example of identifying the parameters of a vessel model for a tanker with a displacement of 69 thousand tons and a length of 230 meters. The advantages and disadvantages of the proposed model of vessel dynamics are considered.

Keywords: modeling, trajectory of the vessel, kinematic model, maneuvering booklet.

For citation:

Smolentsev, Sergey V., and Dmitry V. Isakov. "Simulation of ship movement based on a simplified kinematic model." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.6 (2018): 1111–1121. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1111-1121.

УДК 656.61.052

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СУДНА НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассматривается задача синтеза траектории движения судна. Решение этой задачи является актуальным для построения систем автоматического управления судном. В частности, она решается в системе автоматического расхождения судов. Одним из компонентов этой системы является подсистема моделирования движения судов, с помощью которой строят прогноз траектории движения

как собственного судна, так и судов-целей в акватории. В статье предложена простая кинематическая модель динамики судна. Количество параметров данной модели минимально. С использованием этой модели и данных о маршруте судна (*Voyage plan*) может быть синтезирована траектория его движения. Представлен алгоритм моделирования движения судна. Траекторию движения судна получают путем интегрирования предложенных уравнений. Для использования предложенных моделей динамики необходимо задать их параметры. Параметры моделей динамики зависят от типа судна, его тоннажа и размерений. Кроме того, они различны для судна в балласте и грузу.

В статье рассмотрены вопросы идентификации параметров модели. Предложена методика идентификации параметров модели динамики судна по данным из маневренного буклета. Маневренный буклет содержит информацию о поведении судна при выполнении стандартных маневров курсом и скоростью. Его наличие на судне обязательно в соответствии с Резолюцией ИМО А.601(15).

Предложенная методика позволяет находить параметры модели динамики судна на циркуляции при повороте и параметры модели динамики судна при торможении и разгоне. В статье приведен пример идентификации параметров модели судна для танкера водоизмещением 69 тыс. тонн и длиной 230 м. Рассмотрены преимущества и недостатки предложенной модели динамики судна.

Ключевые слова: моделирование, траектория движения судна, кинематическая модель, маневренный буклет.

Для цитирования:

Смоленцев С. В. Моделирование движения судна на основе упрощенной кинематической модели / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1111–1121. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1111-1121.

Введение (Introduction)

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме беспилотного судоходства, для решения которой разрабатываются различные системы автоматического управления судном в море. Одной из таких систем является автоматическая система расхождения судов [1]. Для корректной работы подобных систем необходимо решить задачу прогноза развития навигационной ситуации, в частности задачу прогнозирования траекторий движения судов в море на заданный промежуток времени (период прогноза).

Разработке принципов создания систем автоматического управления движением судов посвящено много работ, например, труды Вагущенко [2], [3]. На кафедре автоматики и вычислительной техники ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова разработана интеллектуальная система расхождения судов, которая решает задачу безопасного расхождения группы судов с учетом требований МППСС-72 [4], навигационных условий, а также хорошей морской практики. Основные принципы построения этой системы и различные аспекты ее функционирования изложены в работах [5], [6]. Одним из компонентов этой системы является *подсистема моделирования движения судов*, с помощью которой строят прогноз траектории движения как собственного судна, так и судов-целей в акватории.

Проблеме разработке математических моделей движения судна посвящено большое количество работ, как отечественных [7]–[10], так и зарубежных [11]–[13]. Принципы создания моделей динамики судов по данным маневренного буклета изложены в работе [14]. В данной статье представлены алгоритмы работы системы моделирования движения судов в море на основе упрощенных моделей динамики судов. Кроме того, предложена методика идентификации параметров модели динамики судна по данным маневренного буклета.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для решения задачи прогнозирования навигационной ситуации необходимо строить прогнозы траекторий движения судов. Для этого следует использовать модель динамики судов. Траектория движения судна на заданный промежуток времени строится с использованием его текущего состояния, заданного маршрута движения (VP — *Voyage Plan*) и соответствующей модели динамики судна:

$$Tr = f_{Tr}(S_t, VP, V), \quad (1)$$

где S_t — вектор текущего состояния судна;
 VP — заданный маршрут движения судна;
 M — модель динамики судна.

Результатирующая траектория представляет собой массив точек, каждая из которых содержит координаты и элементы движения в данной точке:

$$Tr = \{P_i\}_{i \in [0, I_F]}, \quad (2)$$

где $P_i = \langle F_i, L_i, K_i, V_i, \omega_i, a_i^t, a_i^s \rangle$ — точка траектории;
 I_F — количество точек траектории (зависит от установленного периода прогноза).

Маршрут движения задается как массив поворотных точек, каждая из которых содержит координаты точки поворота (изменения скорости) и значение скорости на следующем участке маршрута:

$$VP = \{P_i\}_{i \in [0, I_M]}, \quad (3)$$

где $P_i = \langle F_i, L_i, K_i, V_i \rangle$ — поворотная точка маршрута;
 I_M — количество точек в маршруте.

В данной работе будут рассмотрены вопросы использования в качестве модели динамики судна упрощенной кинематической модели, построенной по данным маневренного буклета.

Результаты (Results)

Упрощенная кинематическая модель судна. Множество параметров модели динамики судна можно представить в следующем виде

$$M = \langle \{MTP_R^j, MTP_L^j\}_{j \in J}, MSP \rangle, \quad (4)$$

где MTP_C^j — параметры поворота для стандартных переключках руля (обычно $J = [15, 35]$ или $J = [10, 20, 35]$, $C = R/L$ — правый или левый борт);
 MSP — параметры торможения / разгона.

Параметры поворота включают следующие компоненты:

$$MPT = \langle L_0, \omega, a_t \rangle, \quad (5)$$

где L_0 — мертвый промежуток;
 ω — угловая скорость поворота;
 a_t — ускорение торможения при повороте.

Параметры торможения включают следующие компоненты:

$$MSR = \langle \{RPM_i\}_{i \in I}, A, B, A_R, B_R, C_R, \alpha \rangle, \quad (6)$$

где $\{RPM_i\}_{i \in I}$ — набор оборотов винта (RPM) для фиксированных ходов судна (ППХ, СПХ, МПХ, СМПХ);

A, B — коэффициенты модели скорости (7):

$$V = A \cdot RPM + B; \quad (7)$$

A_R, B_R, C_R — коэффициенты модели ускорения разгона (8):

$$a_R = A_R \cdot RPM^2 + B_R \cdot RPM + C_R; \quad (8)$$

α — коэффициент модели ускорения торможения (9):

$$a = \alpha V^2. \quad (9)$$

Схема алгоритма моделирования траектории движения судна показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема алгоритма моделирования траектории движения судна

Параметры линейного движения задаются в виде

$$a_t = 0, \omega = 0. \quad (10)$$

Параметры маневра (для поворота) определяются из модели судна в зависимости от угла между двумя отрезками маршрута. Поскольку в модели судна задаются параметры для фиксированных углов кладки руля, в зависимости от угла поворота ΔK определяют предполагаемый угол кладки руля β по следующим правилам:

$$|\Delta K| < 60^\circ \rightarrow \beta = 10^\circ;$$

$$60^\circ \leq |\Delta K| < 120^\circ \rightarrow \beta = 15^\circ; \quad (11)$$

$$|\Delta K| > 120^\circ \rightarrow \beta = 20^\circ.$$

Соответственно значение параметров модели для выбранного угла перекадки руля β находят интерполяцией по следующей формуле (для $J = [15], [35]$):

$$X^{\beta} = X^{15} + (X^{35} - X^{15}) \cdot (\beta - 15)/20, \quad (12)$$

где X — один из параметров модели.

В блоке интегрирования рассчитывают текущие параметры движения по следующим формулам (dt — шаг интегрирования):

$$\begin{aligned} a_s &= \alpha \cdot V_t^2 - (A_R \cdot RPM_t^2 + B_R \cdot RPM_t + C_R); \\ a_{t+1} &= a_s + a_T; \\ V_{t+1} &= V_t + a_{t+1} \cdot dt; \\ K_{t+1} &= K_t + \omega \cdot dt; \\ dVF_{t+1} &= V_{t+1} \cdot \cos(K_{t+1}); \\ dVL_{t+1} &= V_{t+1} \cdot \sin(K_{t+1}) / \cos(F_t); \\ F_{t+1} &= F_t + dVF_{t+1} \cdot dt; \\ L_{t+1} &= L_t + dVL_{t+1} \cdot dt. \end{aligned} \quad (13)$$

Идентификация параметров модели. Для использования приведенных выше моделей динамики необходимо определить их параметры. Конвенция SOLAS-74 с поправками, вступившими в силу 1 сентября 1984 г., предусматривает наличие на борту информации о маневренных характеристиках судна (Chapter II-I, Regulation 28). Данный документ рекомендует использовать Резолюцию ИМО А.601(15), принятую 19 ноября 1987 г., в качестве образца предоставления этой информации.

В соответствии с Резолюцией ИМО А.601(15) «Provision and Display of Manoeuvring Information on Board Ships» («Представление на судах информации о маневренных характеристиках») [15] и MSC.137 (76) от 5 декабря 2002 г. «Стандарты маневренных качеств судна» [16], а также Циркулярным письмом Комитета по безопасности на море MSC.1053 от 5 декабря 2002 г. «Пояснительные записки к стандартам маневренных качеств судна» [17] маневренные качества судна должны оцениваться по характеристикам маневренности, полученным при ходовых испытаниях и подтвержденных компьютерными вычислениями на основе математического моделирования.

Одним из документов, который должен находиться на судне в соответствии с этой Резолюцией, является «Маневренный буклет» (далее — МБ). В нем представлена информация о поведении судна при выполнении стандартных маневров курсом и скоростью, используя которую можно выполнить идентификацию параметров моделей динамики судна.

Идентификация параметров модели поворота. В соответствии с формулой (5), параметрами поворота являются:

- L_0 — мертвый промежуток;
- E — угловая скорость поворота;
- a_T — ускорение торможения при повороте.

Причем набор этих параметров необходимо определить для каждого типового маневра поворотом левого и правого борта. В зависимости от данных, представленных в МБ, типовые повороты могут быть на 15 и 35° или на 10, 20 и 35°. На рис. 2 и в табл. 1 приведены данные по повороту на 10° правого борта из МБ для танкера водоизмещением 69 тыс. т и длиной 230 м. Кроме того, необходимо определить наборы данных параметров для двух условий: движения судна в грузу и в балласте.

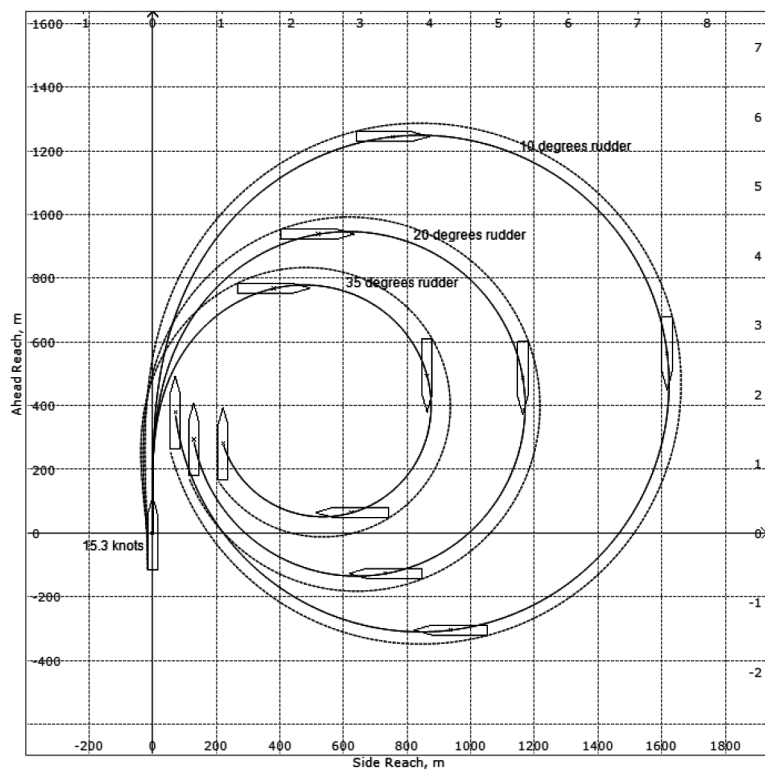


Рис. 2. Поворот на правый борт (данные из «Маневренного буклета»)

Таблица 1

Данные из «Маневренного буклета» о повороте судна на 10° правого борта

Change of Heading, deg	Time from W/O, min-s	Speed after turn, knots	Rate of turn, deg/min	Ahead Reach, m	Side Reach, m
10	0-54	15.0	21.8	426	13
20	1-19	14.7	27.2	613	49
30	1-40	14.4	29.2	761	102
40	2-01	14.0	29.9	895	178
50	2-20	13.7	30.0	1000	263
60	2-41	13.4	29.9	1098	374
70	3-02	13.2	29.6	1172	499
80	3-21	13.0	29.3	1218	618
90	3-42	12.8	28.9	1245	755
100	4-03	12.6	28.6	1248	893
110	4-23	12.4	28.3	1228	1025
120	4-45	12.3	28.0	1183	1158
130	5-07	12.1	27.7	1116	1279
140	5-27	12.0	27.5	1037	1377
150	5-49	11.9	27.3	936	1468
160	6-11	11.8	27.1	820	1539
170	6-35	11.8	26.9	684	1593
180	6-55	11.7	26.7	565	1617
270	10-21	11.3	26.0	-305	936
360	13-51	11.2	25.7	380	71

Идентификация параметров модели поворота выполняется с использованием MS Excel. Методика идентификации параметров модели состоит в следующем:

- заносятся данные об элементах движения судна на маневре, полученные из МБ (см. табл. 1);
- с использованием модели (13) и заданных начальных параметров рассчитывают элементы движения судна при повороте до 180° с дискретностью 1 с;

- рассчитывают суммарное отклонение элементов движения модели от представленных в МБ в моменты времени, заданные в МБ (см. табл. 1);
- варьируя параметрами модели, минимизируют суммарное отклонение элементов движения модели от представленных в МБ.

Сравнительные траектории движения судна по модели (13) и данным МБ в процессе идентификации параметров модели показаны на рис. 3.

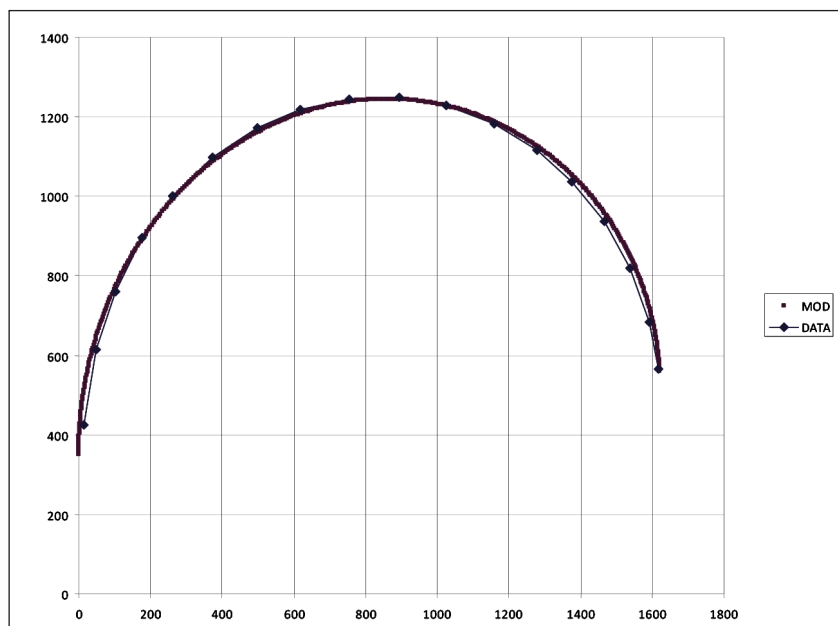


Рис. 3. Траектории движения судна на повороте по модели и данным из «Маневренного буклета»

Идентификация параметров модели скорости

Как отмечалось ранее, параметрами модели скорости (6) являются:

$\{RPM_i\}_{i \in I}$ — набор оборотов винта (RPM) для фиксированных ходов судна (ППХ, СПХ, МПХ, СМПХ);

A, B — коэффициенты зависимости скорости от оборотов винта;

A_R, B_R, C_R — коэффициенты модели ускорения разгона;

α — коэффициент модели ускорения торможения.

Необходимо определять два набора данных параметров: для движения судна в грузу и в балласте. Для этого можно использовать данные МБ.

В табл. 2 и на рис. 4 приведены примеры информации из МБ о характеристиках главного двигателя и маневренных характеристиках при торможении танкера водоизмещением 69 тыс. т и длиной 230 м.

Таблица 2

Данные из «Маневренного буклета»
о характеристиках главного двигателя

Engine order	Propeller RPM	Speed, Knots	Power, kW	Pitch ratio
FSAH	110.0	15.3	7695.0	0.63
FAH	94.0	13.2	4877.0	0.63
HAH	75.0	10.7	2559.0	0.63
SAH	60.0	8.7	1379.0	0.63
DSAH	45.0	6.5	661.0	0.63
DSAS	-20.0	-1.4	115.0	0.63
SAS	-40.0	-2.8	568.0	0.63
HAS	-60.0	-4.2	1635.0	0.63
FAS	-72.0	-5.0	2700.0	0.63

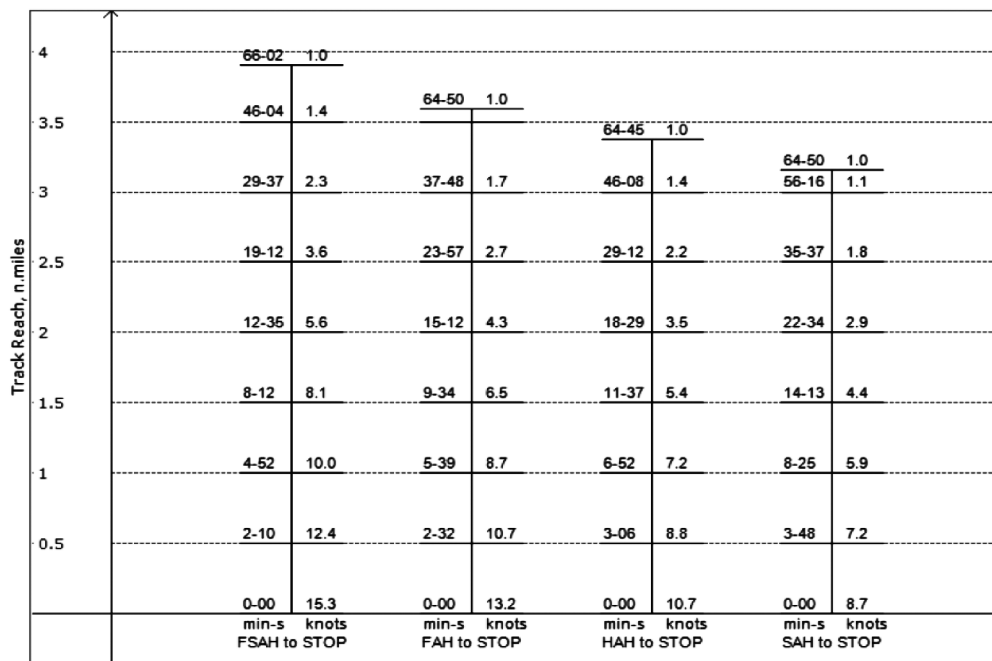


Рис. 4. Данные из «Маневренного буклета» об элементах движения при торможении

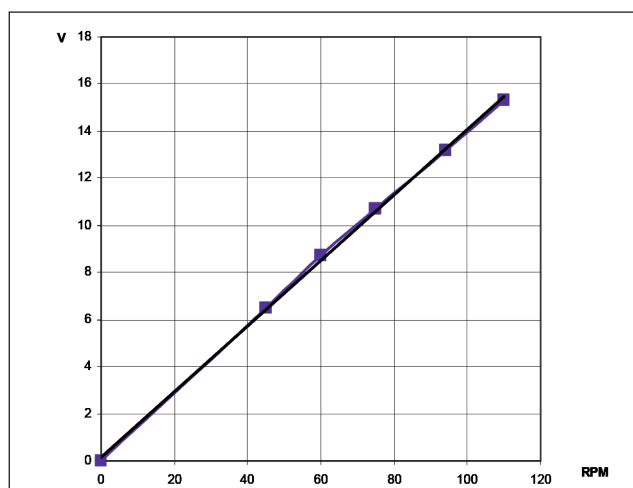


Рис. 5. Зависимость $V = f(\text{RPM})$

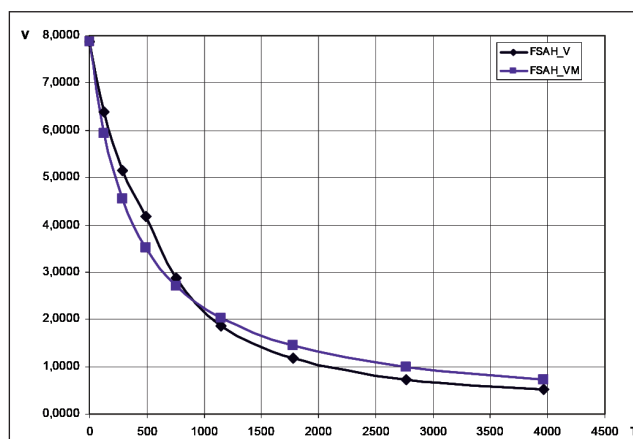


Рис. 6. Зависимость $V = f(T)$ при торможении FSAH – STOP

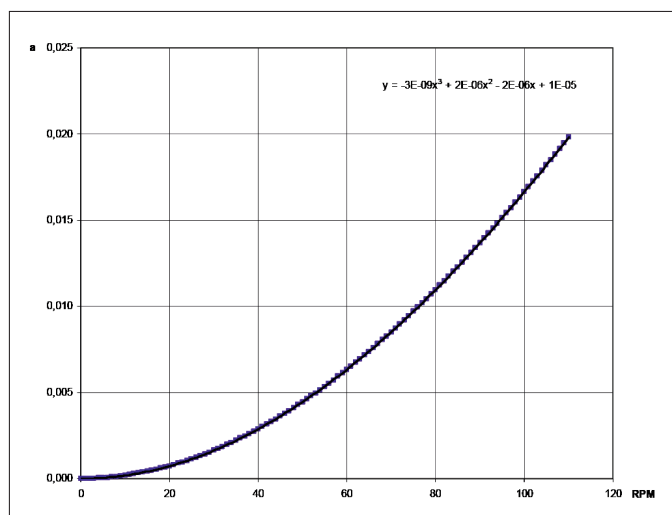


Рис. 7. Зависимость $a = f(\text{RPM})$

Методика идентификации параметров модели с использованием данных из МБ состоит в следующем:

1. По данным характеристик главного двигателя (см. табл. 2) строится зависимость $V = f(\text{RPM})$, которая аппроксимируется линейной функцией (рис. 5). Коэффициенты этой функции являются параметрами модели A, B .
2. По данным об элементах движения судна при торможении (см. рис. 4) строятся зависимости $V = f(T)$ по данным МБ и модели (13) с заданным значением параметра α для всех маневров торможения. Примеры таких зависимостей для маневра FSAH – STOP показаны на рис. 6.
3. Путем подбора параметра α добиваются минимизации суммы разностей между данными МБ и модельными данными для всех маневров торможения.
4. С использованием зависимостей (7) и (9) с найденными параметрами A, B и α строят зависимость ускорения разгона $a = f(\text{RPM})$, аппроксимируя которую находим параметры A_R, B_R, C_R уравнения (8) — рис. 7.

Обсуждение (Discussion)

Следует отметить, что предложенная в работе модель является интегрирующей. Это означает, что для получения параметров движения судна в произвольный момент времени необходимо просчитывать параметры его движения от текущего состояния судна до заданного момента времени.

Данная модель выбрана достаточно простой, с минимальным количеством параметров. Это позволяет находить ее параметры с использованием данных, представленных в МБ судна, применяя представленную в статье методику, т. е. для получения параметров математической модели не нужно проводить дорогостоящих экспериментов на самом судне или его физической модели в бассейне. При этом следует отметить достаточно низкую точность предложенной модели. В частности, модель циркуляции судна при маневре курсом удовлетворительно работает при поворотах до 180° , при дальнейшем интегрировании модельные значения элементов движения судна значительно расходятся с данными, приведенными в МБ.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В работе представлен алгоритм моделирования траектории движения судна в модуле прогноза навигационной ситуации автоматической системы расхождения судов в море. Модель динамики судна строится по данным МБ.

2. Предложенная в данной работе модель динамики судна позволяет прогнозировать его движение в системах судовой автоматизации, в частности в автоматической системе расхождения судов в море.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоленцев С. В. Система автоматического расхождения как элемент системы управления безэкипажным судном / С. В. Смоленцев // Сборник тезисов докладов национальной научно-практической конференции «Перспективы беспилотных технологий на водном транспорте». — СПб: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2018. — С. 22.
2. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко. — Одесса: Феникс, 2010. — 229 с.
3. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. — 3-е изд., перераб. и доп. — Одесса: Феникс, 2007. — 328 с.
4. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 г. (МППСС-72). — 5-е изд. — М.: Моркнига, 2011. — 142 с.
5. Смоленцев С. В. Концепция автоматизированной интеллектуальной системы расхождения судов / С. В. Смоленцев, Б. В. Афанасьев, А. Е. Филяков, Д. В. Куниц // Эксплуатация морского транспорта. — 2012. — № 4 (70). — С. 11–14.
6. Смоленцев С. В. Автоматический синтез решений по расхождению судов в море / С. В. Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 2 (36). — С. 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-7-16.
7. 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.
8. 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.
9. Дегтярев А. Б. Информационная поддержка моделирования динамики судна в бортовой интеллектуальной системе / А. Б. Дегтярев, М. С. Мью // Морские интеллектуальные технологии. — 2012. — № 4 (18). — С. 34–38.
10. Цветов М. А. Анализ моделей движения и методов определения координат корабля / М. А. Цветов, А. Н. Васильев // Вестник Ульяновского государственного технического университета. — 2003. — № 1-2 (21-22). — С. 59–63.
11. Sutulo S. Mathematical models for simulation of manoeuvring performance of ships / S. Sutulo, C. Guedes Soares // Marine Technology and Engineering. — London: Taylor & Francis Group, 2011. — Pp. 661–698.
12. Abdel-latif S. Simulation of ship maneuvering behavior based on the modular mathematical model / S. Abdel-latif, M. Abdel-Gelil, E. E. Zakzouk // Control & Automation (MED), 2013 21st Mediterranean Conference on. — IEEE, 2013. — Pp. 94–99. DOI: 10.1109/MED.2013.6608704.
13. Wang X. G. System identification modelling of ship manoeuvring motion based on support vector regression / X. G. Wang, Z. J. Zou, X. R. Hou, F. Xu // Journal of Hydrodynamics. — 2015. — Vol. 27. — Is. 4. — Pp. 502–512. DOI: 10.1016/S1001-6058(15)60510-8.
14. Смоленцев С. В. Принципы создания упрощенной модели динамики судна по данным маневренного буклета / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Сборник тезисов докладов национальной ежегодной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — СПб: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2017. — С. 67–70.
15. Представление на судах информации об их маневренных характеристиках. Резолюция ИМО А.601(15). — СПб: ЦНИИМФ, 2001.
16. Annex 6. Resolution MSC.137(76). Standards for ship manoeuvrability. The Maritime Safety Committee, 2002. — 6 p.
17. MSC/Circ.1053. Explanatory notes to the standards for ship manoeuvrability. — London: International Maritime Organization, 2002. — 41 p.

REFERENCES

1. Smolentsev, Sergey Victorovich. “Automatic collision avoidance system as an subsystem of unmanned vessel’s control system.” *Sbornik tezisev dokladov konferenzii “Perspektivi bespilotnih tehnologiy na vodnom transporte”*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2018. 22.

2. Vaguchenko, L. L., and A. L. Vaguchenko. *Podderzka rechenji po rashozhdeniju s sudami*. Odessa: Feniks, 2010.
3. Vaguchenko, L. L., and N. N. Tsimbal. *Sistemi avtomaticheskogo upravlenija dvizeniem sudna*. Odessa: Feniks, 2007.
4. *Mezhdunarodnye pravila preduprezhdenija stolknovenij sudov v more 1972 g. (MPPSS-72)*. 5th ed. M.: Morkniga, 2011.
5. Smolentsev, S. V., B. V. Afanasiev, A. E. Filyakov, and D. V. Kunits. "Concept of automated intelligent system for ships collision avoidance." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(70) (2012): 11–14.
6. Smolentsev, Sergey Victorovich. "Automatic synthesis of decisions on vessels collision avoidance at sea." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(36) (2016): 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-7-16.
7. Poznjakov, S. I., and J. I. Judin. "Sravnenije matematicheskikh modeley s točki zrenija koefficientov vlijanija." *Vestnik MGTU* 9.2 (2006): 241–245.
8. Judin, J. I., and S. I. Poznjakov. "Manevrenniiye charakteristiki sudna kak funkzii parametrov ego matematicheskoy modeli." *Vestnik MGTU* 9.2 (2006): 234–239.
9. Degtyarev, A. B., and M. S. M'о. "Informatsionnaya podderzhka modelirovaniya dinamiki sudna v borto-voi intellektual'noi sisteme." *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 4(18) (2012): 34–38.
10. Tzvetov, M. A., and A. N. Vasiliev. "An Analysis of Moving Models and Ship Coordinate Determination Methods." *Vestnik UIGTU* 1-2(21-22) (2003): 59–63.
11. Sutulo, Serge, and C. Guedes Soares. "Mathematical models for simulation of manoeuvring performance of ships." *Marine Technology and Engineering*. London: Taylor & Francis Group, 2011: 661–698.
12. Abdel-latif, S., M. Abdel-Gelil, and E. Eldin Zakzouk. "Simulation of ship maneuvering behavior based on the modular mathematical model." *Control & Automation (MED), 2013 21st Mediterranean Conference on*. IEEE, 2013. 94–99. DOI: 10.1109/MED.2013.6608704.
13. Wang, Xue-Gang, Zao-Jian Zou, Xian-Rui Hou, and Feng Xu. "System identification modelling of ship manoeuvring motion based on ϵ -support vector regression." *Journal of Hydrodynamics* 27.4 (2015): 502–512. DOI: 10.1016/S1001-6058(15)60510-8.
14. Smolentsev, S. V., and D. V. Isakov. "Printsipy sozdaniya uproshchennoi modeli dinamiki sudna po dannym manevrennogo bukleta." *Sbornik tezisev dokladov natsional'noi ezhegodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava GUMRF imeni admirala S.O. Makarova*. SPb: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2017. 67–70.
15. *Provision and display of manoeuvring information on board ships*. IMO Resolution A.601(15). SPb: ZNIIMF, 2001.
16. *Annex 6. Resolution MSC.137(76). Standards for ship manoeuvrability*. The Maritime Safety Committee, 2002.
17. *MSC/Circ.1053. Explanatory notes to the standards for ship manoeuvrability*. London: International Maritime Organization, 2002.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смоленцев Сергей Викторович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: sswasily@mail.ru, SmolencevSV@gumrf.ru
Исаков Дмитрий Владимирович —
доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_avt@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Smolentsev, Sergey V. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: sswasily@mail.ru, SmolencevSV@gumrf.ru
Isakov, Dmitry V. —
Associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_avt@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2018 г.
Received: November 15, 2018.