

служивания системы множественного контроля и регулирования ЭМС РЭС в морском районе, адекватны возрастающим требованиям к обеспечению безопасности мореплавания [10].

Общая надежность системы множественного контроля и регулирования ЭМС РЭС в морском районе с учетом человеческого фактора и вероятность потери информации о нарушениях ЭМС РЭС оператором тревожны и требуют дальнейших исследований.

Литература:

1. Виноградов, Е.М. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Е.М. Виноградов, В.И. Винокуров, И.П. Харченко. – Л.: "Судостроение", 1986.- 264 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей.– М.: "ГИ ФМЛ", 1962.– 564 с.
3. Гасов В.М. и др. Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами.– М.: "Высшая школа", 1991.– 144 с.
4. Котик, М.А. Природа ошибок человека-оператора / М.А. Котик, А.М. Емельянов.– М.: "Транспорт", 1993.– 256 с.
5. Дружинин, Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем.– М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Демьянов, В.В. Роль информации в прогрессивном развитии производственных отношений общества.– М.: "Транспортное дело России" (Спецвыпуск: "Проблемы водного транспорта РФ"), 2003.– С. 81-85.
7. Демьянов, В.В. Создание больших морских систем связи на Юге России / В.В. Демьянов, В.В. Попов. – М.: «Росконсульт», 2000.
8. Астапов, А.Н. Применение алгоритмов контроля целостности ГНСС для решения задач морской навигации. [Текст] / А.Н. Астапов, А.Л. Боран-Кешишьян, С.И. Кондратьев // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова.– 2015.- № 3 (12). – С. 9-12.
9. Уперенко, А.А. Интегрированные системы мостика как часть концепции e-navigation [текст] / А.А. Уперенко, Е.В. Хекерт // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова.– 2014.– № 1 (6).- С. 23
10. Концепция e-Навигации, разработанная ИМО [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <http://www.internavigation.ru/news.phtml?n=103>
11. E-навигация и РИС: Анализ технологий и примеры возможных реализаций проектов береговых систем [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: ftp://ftp.marsat.ru/Forum2011/modееv_transas.doc
12. Проблемы реализации концепции e-Навигации [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-498853.html?page=10>.

УДК 656.61.052.4

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗОН НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ

А.С. Васьков, доктор технических наук, профессор

М.А. Гаращенко, аспирант

Выводятся обобщенные выражения для определения параметров моделей ЗНБ. Предлагается методика идентификации значений аппроксимирующих коэффициентов тормозных путей и тактических диаметров циркуляции современных крупнотоннажных судов на основе метода наименьших квадратов. Идентифицируются величины коэффициентов для принятых к исследованию судов. Производится оценка точности соответствующих параметров.

Ключевые слова: Зона навигационной безопасности, зона конструктивной безопасности, коэффициенты аппроксимации, метод наименьших квадратов.

Generalized formulation of ship's domain elements is presented. The method of identifying values approximation coefficients of ship's stopping distance and tactical diameter of circulation for modern large-capacity vessels based on the method of least squares is proposed. The values of the approximation coefficients for the vessels taken to the research are identified. The accuracy of the relevant parameters is estimated.

Key words: Ship's domain, constructive domain, approximation coefficients, the method of least squares.

Для обеспечения безопасности плавания между судами и объектами выдерживается необходимая дистанция, которая в исследованиях [1 – 12] и библиографии к ним называется зоной навигационной безопасности (ЗНБ). Форма и размеры параметров ЗНБ определяются различными методами, которые зависят как от особенностей судна

(размеры судна, скорость, маневренные и инерционные характеристики), так и внешних факторов (район плавания и особенности навигации в нем, состояние видимости, существующая ситуация опасного сближения с другими объектами). Численные значения параметров ЗНБ удовлетворяют требованиям стандартов маневренных качеств судов по тормозному пути и тактическому диаметру

циркуляции [13]. Однако, отсутствуют данные исследований по элементам ЗНБ для современных крупнотоннажных судов. Целью настоящего исследования является восполнение этих пробелов.

Анализ методов задания элементов ЗНБ [5] позволил сделать вывод о том, что параметры ЗНБ различных форм могут быть представлены полуосьми эллипса, которые определяются тормозными путями и тактическими диаметрами циркуляции. Их предлагается, на основании обзора [5], аппроксимировать функциональными зависимостями от исходной скорости движения судна и представить в долях судна, как требуется стандартами ИМО [13], с учетом исходной зоны конструктивной безопасности (ЗКБ) [4]:

$$\begin{cases} a = a_k + S_T = a_k + k_S L; \\ S_T = k_S L = k_1 L V_0^{k_2}; \\ k_S = k_1 V_0^{k_2} \leq 15; \\ b = b_k + D_T = b_k + k_D L; \\ D_T = k_D L = k_3 L V_0^{k_4}; \\ k_D = k_3 V_0^{k_4} \leq 5, \end{cases} \quad (1)$$

где a, b – оси эллипса, определяющие параметры ЗНБ (длина и ширина), м;

a_k, b_k – исходные параметры ЗКБ (длина и ширина), м;

L, S_T, D_T – длина, тормозной путь и диаметр циркуляции судна, м;

V_0 – исходная скорость движения судна, м/с;
 k_S, k_D – коэффициенты тормозного пути и тактического диаметра циркуляции (доли длины) судна, м;

k_i – коэффициенты аппроксимации маневренных качеств судна, согласующие размерности переменных.

ЗКБ судна – пространство вокруг судна, определяемое его габаритами (физическими границами) с учетом стационарных и выдвигаемых выступающих частей и устройств [4].

Значения коэффициентов, аппроксимирующих тормозные пути и диаметры циркуляции, в рассмотренных исследованиях [1-12] имеют различные значения и для сравнения приведены в табл. 1.

Согласно концепции ЗНБ [10] по выражениям (1) судно будет выдерживать минимальную дистанцию до объектов, требуемую для полной остановки судна или выполнения циркуляции с обеспечением конструктивной безопасности при расхождении с объектами.

С целью сохранения концепции задания элементов ЗНБ, предложенных в рассмотренных работах [1-12], предлагается методика идентификации значений аппроксимирующих коэффициентов тормозных путей и тактических диаметров циркуляции крупнотоннажных судов для различных исходных режимов движения в выражениях (1):

$$S_T = k_1 L V_0^{k_2}; \quad D_T = k_3 L V_0^{k_4}. \quad (2)$$

Таблица 1 – Значения безразмерных коэффициентов

Источник	Форма ЗНБ	k_1	k_2	k_3	k_4
[10]	Эллиптическая	0,335	1,596	0,6	0,44
[8]	Эллиптическая	0,335	1,596	0,9	0,44
[1]	Эллиптическая	1	1,26	0,75	0,44
[2]	Эллиптическая	0,33	1,6	0,6	0,4
[3; 6; 10]	Прямоугольная	0,33	1,6	0,6	0,44
[3; 7]	Прямоугольная	1	1,26	0,75	0,44
[12]	Шестиугольная	1	1,26	1	0,44

Для идентификации искомым коэффициентов в выражениях (2) методом наименьших квадратов (МНК) производится их линеаризация логарифмированием:

$$\ln S_T = \ln k_1 + \ln L + k_2 \ln V_0; \quad \ln D_T = \ln k_3 + \ln L + k_4 \ln V_0. \quad (3)$$

После замены логарифмов коэффициентов в выражениях (3), суммы квадратов погрешностей аппроксимации функциями (2) натуральных значений тормозных путей и тактических диаметров циркуляций примут вид:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{S_i}^2 = \sum_{i=1}^n [(p + \ln L_i + k_2 \ln V_{0i}) - \ln S_{Ti}]^2 \rightarrow \min; \quad \ln k_1 = p; \quad (4)$$

$$Q_2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{D_i}^2 = \sum_{i=1}^n [(q + \ln L_i + k_4 \ln V_{0i}) - \ln D_{Ti}]^2 \rightarrow \min; \quad \ln k_3 = q, \quad (5)$$

где n – количество наблюдений (тормозных путей, тактических диаметров циркуляции при разных режимах движения);

Q_1, Q_2 – суммы квадратов погрешностей аппроксимации функциями (2) натуральных значений;
 $\varepsilon_{Si}, \varepsilon_{Di}$ – погрешности аппроксимации функциями (2) натуральных значений.

После применения МНК по условиям минимума суммы квадратов погрешностей аппроксимации (3)

$$\frac{\partial Q_1}{\partial p} = 0; \quad \frac{\partial Q_1}{\partial k_2} = 0; \quad \frac{\partial Q_2}{\partial q} = 0; \quad \frac{\partial Q_2}{\partial k_4} = 0,$$

получаются системы нормальных уравнений для определения искомых коэффициентов аппроксимации:

$$\begin{cases} pn + k_2 \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} = \sum_{i=1}^n (\ln S_{Ti} - \ln L_i); \\ p \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} + k_2 \sum_{i=1}^n \ln^2 V_{0i} = \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} (\ln S_{Ti} - \ln L_i); \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} qn + k_4 \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} = \sum_{i=1}^n (\ln D_{Ti} - \ln L_i); \\ q \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} + k_4 \sum_{i=1}^n \ln^2 V_{0i} = \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} (\ln D_{Ti} - \ln L_i). \end{cases} \quad (7)$$

Решение систем нормальных уравнений (6), (7) по правилу Крамера дает выражения для определения значений искомых коэффициентов аппроксимации по сериям натуральных данных тормозных путей и тактических диаметров циркуляции судов:

$$\begin{cases} k_1 = e^p; & p = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln S_{Ti} - \ln L_i) \sum_{i=1}^n \ln^2 V_{0i} - \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} (\ln S_{Ti} - \ln L_i) \sum_{i=1}^n \ln V_{0i}}{\Delta}; \\ k_2 = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} (\ln S_{Ti} - \ln L_i) - \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} \sum_{i=1}^n (\ln S_{Ti} - \ln L_i)}{\Delta}; \\ k_3 = e^q; & q = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln D_{Ti} - \ln L_i) \sum_{i=1}^n \ln^2 V_{0i} - \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} (\ln D_{Ti} - \ln L_i) \sum_{i=1}^n \ln V_{0i}}{\Delta}; \\ k_4 = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} (\ln D_{Ti} - \ln L_i) - \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} \sum_{i=1}^n (\ln D_{Ti} - \ln L_i)}{\Delta}; \end{cases} \quad (8)$$

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n \ln^2 V_{0i} - \sum_{i=1}^n \ln V_{0i} \sum_{i=1}^n \ln V_{0i}, \quad (9)$$

где Δ – главный определитель системы;

e – основание натурального логарифма.

С целью идентификации искомых коэффициентов моделей ЗНБ (1) были проанализированы таблицы натуральных данных маневренных элементов крупнотоннажных судов, основная информация о которых приведена в табл.2.

Таблица 2 – Основные данные исследуемых судов

№ п/п	Название судна	Год постройки	Длина судна L , м	Ширина судна B , м	Водоизмещение, т
1.	«FRISIAN SPRING»	2007	118,14	13,40	8279,00
2.	«NS POWER»	2006	175,97	31,00	49387,88
3.	«TAVRICHESKY BRIDGE»	2006	182,32	32,20	57064,00
4.	«KUBAN»	2000	243,00	42,03	122842,00
5.	«NS LOTUS»	2008	248,96	43,80	133324,60
6.	«NIKOLAY ZUYEV»	2012	249,90	46,00	141933,70
7.	«SCF ALTAI»	2002	274,48	48,04	182617,00
8.	«FRONT QUEEN»	2009	330,00	60,00	339100,00

В табл. 3 приведены результаты идентификации коэффициентов аппроксимации натуральных маневренных качеств судов (см. табл. 2) в грузу, в балласте и их обобщение по выражениям (8), (9) в среде Microsoft Excel. В табл.3 также приведены средние квадратические отклонения (СКО) результатов аппроксимации от натуральных данных.

Сопоставляя полученные данные с ранее предложенными значениями коэффициентов, приведенными в табл.1, можно отметить, что коэффициенты аппроксимации тормозных путей (k_1, k_2), определенные для всех судов независимо от загрузки, незначительно расходятся со значениями, предложенными в исследованиях [1-12], в то

Таблица 3 – Значения коэффициентов аппроксимации крупнотоннажных судов

Судно	Состояние загрузки судна	Значения коэффициентов и СКО					
		k_1	k_2	$СКО_{S_T, м}$	k_3	k_4	$СКО_{D_T, м}$
«FRISIAN SPRING»	В грузу	0,465	1,307	7,125	–	–	–
	В балласте	0,320	1,409	0,028	–	–	–
	Обобщенные	0,425	1,296	45,479	–	–	–
«NS POWER»	В грузу	0,200	2,012	94,025	–	–	–
	В балласте	0,111	2,075	36,063	–	–	–
	Обобщенные	0,172	1,963	316,233	–	–	–
«TAVRICHESKY BRIDGE»	В грузу	0,813	1,344	129,022	–	–	–
	В балласте	1,025	1,104	444,323	–	–	–
	Обобщенные	0,920	1,218	328,666	–	–	–
«KUBAN»	В грузу	0,241	1,930	169,108	–	–	–
	В балласте	0,163	1,699	97,192	–	–	–
	Обобщенные	0,338	1,514	661,092	–	–	–
«NS LOTUS»	В грузу	0,793	1,321	98,136	–	–	–
	В балласте	0,336	1,701	17,476	–	–	–
	Обобщенные	0,612	1,422	177,080	–	–	–
«NIKOLAY ZUYEV»	В грузу	0,155	2,252	390,399	–	–	–
	В балласте	0,229	1,977	209,279	–	–	–
	Обобщенные	0,192	2,100	319,509	–	–	–
«SCF ALTAI»	В грузу	0,171	2,018	55,653	–	–	–
	В балласте	0,087	2,140	89,626	–	–	–
	Обобщенные	0,153	1,960	494,484	–	–	–
«FRONT QUEEN»	В грузу	0,122	2,315	714,994	–	–	–
	В балласте	0,078	2,369	561,478	–	–	–
	Обобщенные	0,115	2,254	760,996	–	–	–
Общие значения для исследуемых судов	В грузу	0,351	1,718	315,746	1,117	0,418	108,919
	В балласте	0,336	1,556	510,714	2,039	0,144	104,887
	Обобщенные	0,380	1,577	524,655	1,359	0,331	143,221

По результатам расчетов приводятся сравнительные диаграммы, на которых показаны данные, требуемые согласно ИМО, экспериментальные, расчетные по ранее полученным методам и по предложенным моделям тормозных путей рис.1 и тактических диаметров циркуляции рис.2 для крупнотоннажных судов (15) с коэффициентами из табл.3. В соответствии с требованиями ИМО к маневренным качествам судна [13], тормозной путь и тактический диаметр циркуляции

должны быть в пределах, приведенных в выражениях (1). К учету приняты их максимально возможные значения.

Сравнительный анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы (см. табл. 3, рис. 1, рис. 2):

$$\begin{cases} a = a_k + S_T = a_k + 0,380LV_0^{1,577}; \\ b = b_k + D_T = b_k + 1,359LV_0^{0,331}. \end{cases} \quad (15)$$

1. Значения тормозных путей и тактических диаметров циркуляции судна, определенные на основании полученных в настоящем исследовании коэффициентов аппроксимации, наиболее

точно соответствуют вероятнейшим (табличным) значениям соответствующих величин для крупнотоннажных судов;

2. Величины коэффициентов тормозного пути (k_s) и тактического диаметра циркуляции

(k_D) при использовании идентифицированных в настоящем исследовании коэффициентов аппроксимации не превышают максимально разрешенных значений, согласно требованиям IMO (1);

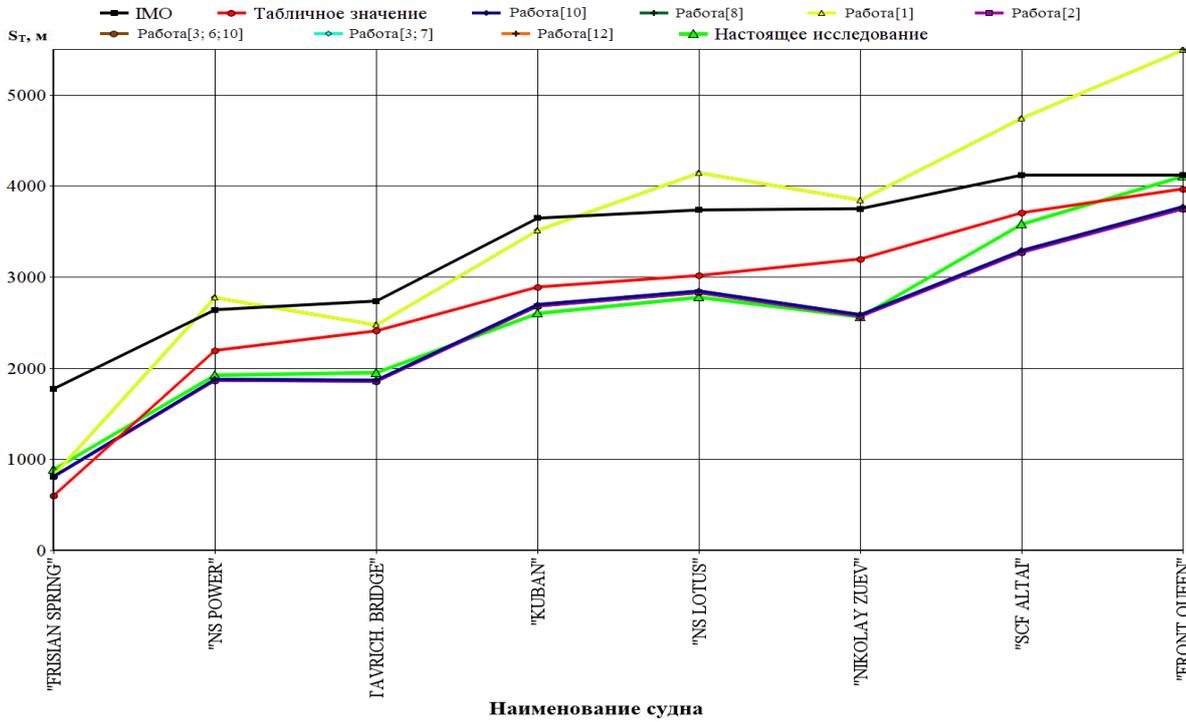


Рисунок 1 – Сравнительная диаграмма значений тормозных путей

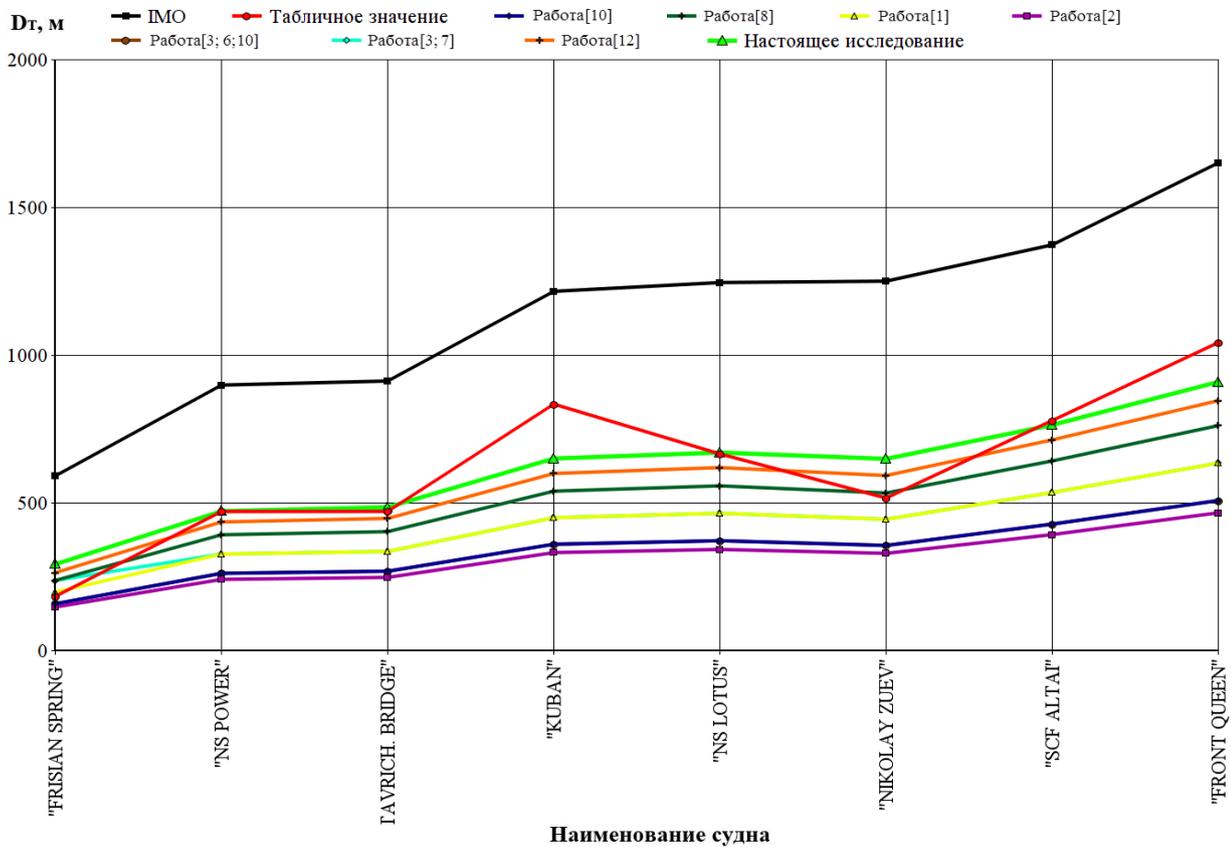


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма значений тактических диаметров циркуляции судна

3. Анализ полученных значений СКО аппроксимации показал значительное рассеивание расчетных значений тормозных путей и тактических диаметров циркуляции некоторых судов от их натурных табличных величин, что объясняется:

- некачественным определением натуральных значений оцениваемых параметров, приведенных в таблицах маневренных элементов исследуемых судов;

- нестрогим соответствием предложенной в исследованиях [1 – 12] линейной функциональной зависимости тормозных путей и тактических диаметров циркуляции от длины судна для различных режимов движения;

4. Анализ значений СКО показывает, что более точные значения оцениваемых параметров тормозных путей получены на основе коэффициентов аппроксимации, полученных в зависимости от состояния загрузки для отдельных судов. Обобщение результатов аппроксимации независимо от загрузки и типов исследуемых судов дает большие СКО, что, в том числе связано с некачественными натурными данными для отдельных судов.

5. Для идентификации наиболее точных значений параметров модели (15) с целью адаптации переменной конфигурации ЗНБ к существующей ситуации в зависимости от размеров и маневренных качеств судна, необходимо кроме длины, ширины и скорости судна исследовать учет влияния текущего водоизмещения, других динамических характеристик движения крупнотоннажных судов и применение дополнительных натуральных и статистических данных.

Литература

1. Баскин, А.С. Оценка ситуации и выбор маневра для расхождения по данным РЛС [Текст]/ А.С. Баскин, В. А. Масленников // Мор. транспорт: Сер. "Безоп. морепл."; Э-И. ЦБНТИ ММФ, 1980.– Вып. 5(125).– С. 11 – 22.

2. Васьков, А.С. Методологические основы управления движением судна и конфигурацией зоны навигационной безопасности [Текст]: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н. (05.22.16).– СПб.: ГМА им. адм. С.О. Макарова, 1998.– 48 с.
3. Васьков, А.С. Концепции зон навигационной безопасности (ЗНБ) в судовождении [Текст]/ А.С. Васьков, Ю.А. Песков// Сб. науч. тр. НГМА. – Новороссийск, 1997.– Вып.2. – С. 41-56.
4. Васьков, А.С. Взаимосвязь зон навигационной безопасности судна [Текст]/ А.С. Васьков, В.А. Васьков, А.А. Мироненко// Вестник ГМУ им. адм. Ф.Ф.Ушакова.–2013. – №2(3). - С. 18-21.
5. Гарашенко, М.А. Способы представления зоны навигационной безопасности судна. [Текст] / А.С. Васьков, М.А. Гарашенко // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – Вып.2 (83).
6. Егоров, И.Б. Концепция зон навигационной безопасности и её применение в судовождении [Текст]/ И.Б. Егоров, В.А. Логиновский// Эксплуатация морского транспорта. – 2012. – №3. – С. 13-17.
7. Зубко, Ю.А. Анализ перспективных методов зон навигационной безопасности и их применение в практике судовождения [Текст]/ Новый Университет; под ред. Е.А. Мурзина [и др.]. – 2011. – №3. – С. 43-46.
8. Лентарев, А.А. Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания [Текст]. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2004. – 114 с.
9. Лентарев, А. А. Развитие концепции зоны навигационной безопасности [Текст]/ Вестник Морского государственного университета.– Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – Вып. 50. – С. 75-86.
10. Погосов, С.Г. Обеспечение безопасности движения судов в портовых водах [Текст]/ С.Г. Погосов, Е.В. Борисов, В.П. Королева// Мор. транспорт: Обзорная информация Сер. Судовождение и связь ЦБНТИ ММФ. – 1974.– 41 с.
11. Таратынов, В.П. Судовождение в стесненных районах [Текст].– М.: Транспорт, 1980. – 128 с.
12. Smierchalski, R. Ships' domains as a collision risk at sea in the evolutionary trajectory planning [Text].- Gdynia: Gdynia Maritime Academy, 2000.- P. 43-52.
13. Standards for Ship Manoeuvrability/ IMO Resolution MSC.137(76), adopted on 4 December 2002.

УДК 629.5.072

ГЕНЕРАЦИЯ ЛИНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПРОКЛАДКИ В ЭКНИС С ПОМОЩЬЮ СУММАРНОГО ПОТЕНЦИАЛА

А.А. Антонов, аспирант

Д.Е. Студеникин, кандидат технических наук, доцент

Н.А. Маковецкая, аспирант

Р.Г. Филатова, кандидат технических наук, доцент

В данной статье проанализированы возможности создания и применения комплексных судовых систем генерации предварительно прокладки, выведены требования к таким системам и составлен математический алгоритм поиска пути и генерации линии предварительно прокладки для математической модели судна с учетом параметров судна и данных электронной карты, удовлетворяющий этим требованиям. Алгоритм был реализован в программном виде и прошел проверку работоспособности.