

Раздел 2 СУДОВОЖДЕНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

УДК 656.61.052.4

СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗОНЫ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА

А.С. Васьков, доктор технических наук, профессор

М.А. Гаращенко, аспирант

Обобщаются методы представления зон навигационной безопасности (ЗНБ) по классификации линейные, прямоугольные, круговые, эллиптические. Анализируются количественные характеристики ЗНБ. Делается вывод о целесообразности представления пространств ЗНБ центрированным с судном или смещенным эллипсом. Дается обобщенное выражение элементов ЗНБ.

Ключевые слова: Зоны навигационной безопасности, линейные, прямоугольные, круговые, эллиптические.

Generalization of the methods for conception of ship's domain is performed in accordance with the following classification: linear, rectangular, circular, elliptical. Quantitative characteristics of ship's domain are analyzed. The conclusion is made about the expediency of conception the ship's domain centered with the vessel or a displaced ellipse. Generalized formulation of ship's domain elements is presented.

Key words: Ship's domain, linear, rectangular, circular, elliptical.

С целью обеспечения безопасности плавания необходимо выдерживать дистанцию между судами и объектами, которая позволит предпринять требуемое действие для предупреждения аварийной ситуации. Совокупность таких дистанций на всех курсовых углах образует пространство вокруг судна, являющееся специальным критерием безопасности плавания – зоной навигационной безопасности (ЗНБ) [1-17]. Граница образованного пространства формирует изолинию безопасности, контакт с которой другого объекта по идеологии [2] будет указывать на необходимость принятия действия для поддержания заданного уровня безопасности.

Для решения теоретических и практических задач обеспечения безопасности плавания ЗНБ должна представлять собой такую форму, которая позволит наиболее полно учитывать следующие обобщенные на основе анализа исследований [1-17] факторы:

1. Соответствие формализованному определению ЗНБ;
2. Простота математического описания и геометрического представление границы ЗНБ;
3. Внутренние факторы, определяющие состояние судна (маневренные и инерционные характеристики, параметры, курс и скорость);
4. Психологический фактор (принятие к учету практического опыта судоводителя);
5. Внешние факторы (МППСС-72, навигационная и гидрометеорологическая обстановка,

район плавания).

Анализ развития концепций ЗНБ [2-5] показывает применение различных их моделей и форм для моделирования идеализированного безопасного пространства вокруг судна. Целью данного исследования является дальнейшее обобщение идеологий концепций ЗНБ, сформулированных в работе [2].

Линейные ЗНБ. В практике судовождения широко используется понятие «дистанция кратчайшего сближения (distance to closest point of approach)» (D_{CPA}) [5] при постоянном курсе и скорости собственного судна, которое применяется при выборе маневра для расхождения с другими судами.

Таким образом, дистанция кратчайшего сближения является линейным (одномерным) эквивалентом ЗНБ. В морской практике ее значение не является общепринятым. По результатам исследований [1] безопасная дистанция пересечения курса по носу определяется следующими значениями:

$$D_n \geq 7L, \text{ при } V_j = 10 \text{ уз}; \quad D_n \geq 10L, \text{ при } V_j = 12 \text{ уз}, \quad (1)$$

где D_n – безопасная дистанция пересечения курса судна-цели по носу, м;

V_j – скорость судна-цели, уз.

На основе натуральных статистических исследований [10] была обоснована концепция «зон уклонения» – минимальных дистанций сближения, зависящих от параметров собственного судна и судна-цели:

$$D_{ij} = \frac{L_i V_j + L_j V_i}{V_{ij}} \sin \Theta + (B_i + B_j) \cdot \left(1 - \left(\frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \sin \Theta \right)^{0.5}; \quad (2)$$

$$V_{ij} = \sqrt{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \Theta}, \quad (3)$$

где L_i, B_i, V_i – длина, ширина и скорость собственного судна;

L_j, B_j, V_j – длина, ширина и скорость судна-цели;

Θ – угол между двумя путевыми углами, град;

V_{ij} – скорость сближения судов, м/с.

В зависимости от преобладающей ситуации в пределах «зон уклонения», представленных в табл. 1, возможно разрешение опасной ситуации маневром изменения курса своего судна.

Таблица 1 – Размеры «зон уклонения» в зависимости от ситуации

Ситуации	Размеры «зон уклонения»
При пересекающихся курсах	$(12 \div 16)L$
При встречных курсах	$9L$
При обгоне	$6L$

В обзоре [3] приведены формулы для расчета безопасной дистанции между судами при следовании в кильватер или почти в кильватер параллельными курсами на ограниченном по ширине фарватере с учетом тормозных путей взаимодействующих судов:

$$D_{без} \geq D_{min} + (S_{mi} - S_{mj}), \quad (4)$$

где D_{min} – минимальная безопасная дистанция между остановившимися судами, учитывающая разбросы тормозных путей, м;

S_{mi}, S_{mj} – тормозные пути судов при внезапном торможении впереди идущего судна, м.

Таким образом, для развития концепций ЗНБ необходимо учитывать важные аспекты их линейных вариантов:

1. Необходимость четких и регламентированных критериев, направленных на оценку ситуаций опасного сближения и дающих равноценные результаты для взаимодействующих судов;

2. Обоснованность не только на субъективном факторе, но и на совокупности объективных характеристик, касающихся особенностей самих судов, а также их комбинированном учете;

3. Особенности применения МППСС-72.

Прямоугольные ЗНБ. Одним из первых метод прямоугольной ЗНБ, предложил *K.Taguti*.

По результатам исследований получены средние

статистические безопасные дистанции в потоке судов впереди по курсу и в перпендикулярном боковом направлении, которые в работе [1] рекомендуется определять по следующим формулам рис. 1:

$$a_{np} = L + 0,33LV_0^{1,6} + M_0 \approx 8L; \quad b_{np} = 0,6LV_0^{0,44} \approx 3,5L, \quad (5)$$

где a_{np}, b_{np} – длина и ширина прямоугольной ЗНБ, м;

L – наибольшая (статическая) длина судна, м;

V_0 – скорость судна до начала торможения, м/с;

$M_0 = 0,125S_m$ – запас на возможное отклонение, м.

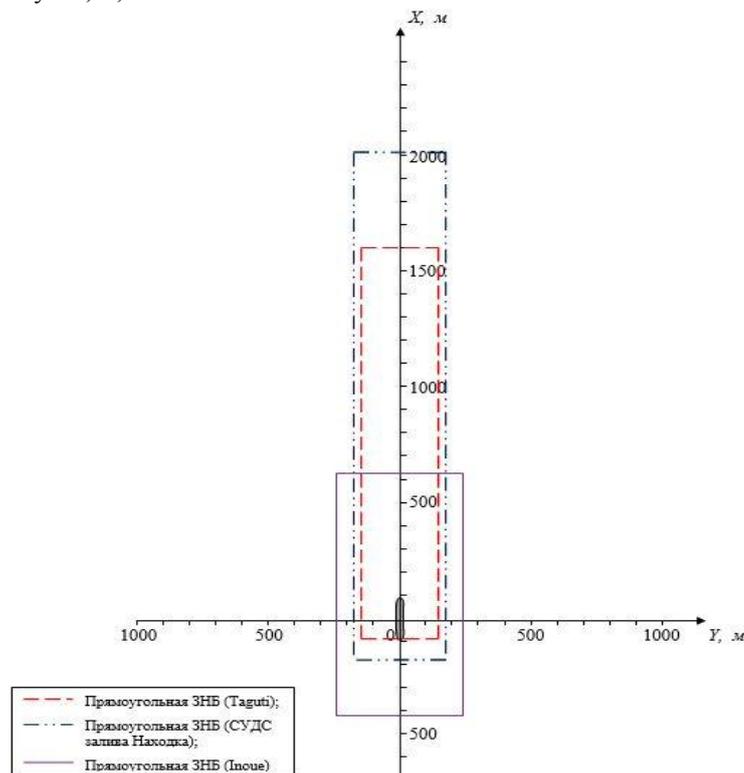


Рисунок 1 – Способы идеализации прямоугольной ЗНБ

В математическом обеспечении автоматизированной СУДС залива Находка в 1980-х годах использовалась прямоугольная ЗНБ, ориентированная по вектору скорости судна [1, 6]. Стороны прямоугольника представляются кратными длинам судна с соответствующими коэффициентами, которые уточнялись сравнением с осями эллиптической ЗНБ, предложенной С.Г. Погосовым, и с длинами прямоугольной ЗНБ, предложенной К. Taguti. В результате элементы этой ЗНБ определяются выражениями:

$$a_{np} = l_f + l_a; \quad b_{np} = b_1 L; \quad (6)$$

$$l_f = a_1 L + L \Delta a + V_0 t; \quad l_a = a_2 L; \quad (7)$$

$$a_1 = V_0^{1,26} - 0,5; \quad a_2 = 1; \quad b_1 = 0,75 V_0^{0,44}, \quad (8)$$

где l_f, l_a – длины передней и кормовой частей ЗНБ;

a_1, a_2, b_1 – безразмерные коэффициенты;

Δa – поправка на несоответствие величины коэффициента (a_1);

t – время обработки оператором СУДС информации до момента начала маневра судна.

В 1994 году японским исследователем К. Inoue [13] был предложен метод прямоугольной

ЗНБ при обгоне другого судна в узкостях, а также вблизи берега, на акваториях портов и рейдов, как прямоугольной области безопасных дистанций, в которую не должно попадать другое судно. Параметры этой области зависят как от длины собственного судна, так и от длины судна-цели:

$$a_{np} = (0,015L_j + 2,076)L_i; \quad b_{np} = (0,008L_j + 0,667)L_i \quad (9)$$

Однако, не ясно, каким образом согласуется размерность слагаемых выражений (9).

Достоинством всех прямоугольных ЗНБ является простота их математического описания и геометрического представления, возможность дифференцирования размеров ЗНБ по каждой из координат и смещения центра. Недостатком является наличие удаленных углов прямоугольника в диагональных направлениях, увеличивающих, без особых на то оснований, размеры ЗНБ.

Круговые ЗНБ. В исследованиях [2-5] показано, что на начальном этапе развития концепции круговые ЗНБ представляли центрированное пространство вокруг судна в виде постоянного радиуса окружности рис.2:

$$r_{ЗНБ} = const \approx 2 \div 3 \text{ мили}, \quad (10)$$

где $r_{ЗНБ}$ – радиус-вектор ЗНБ.

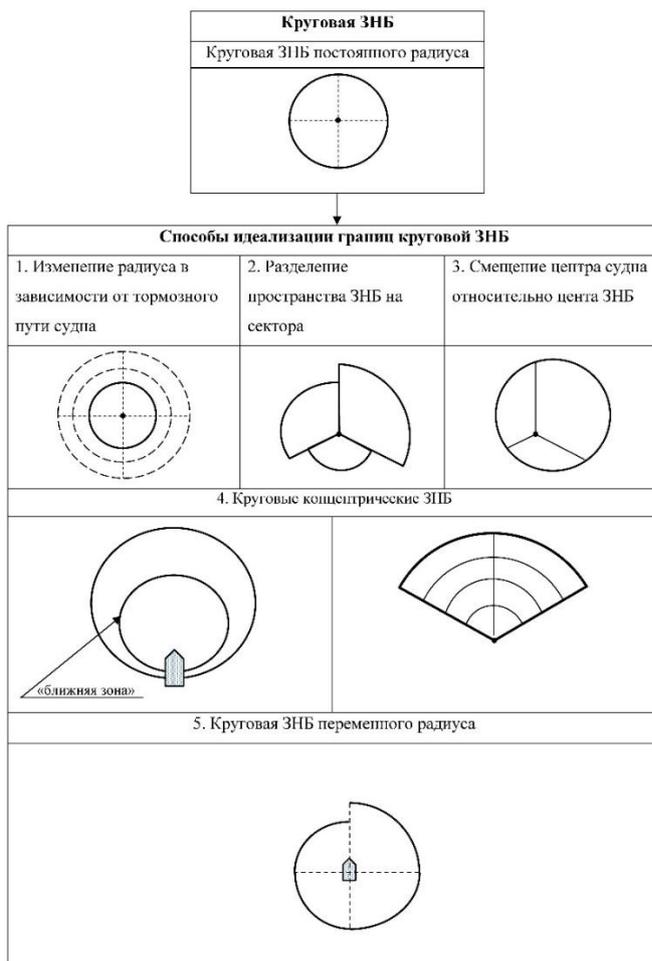


Рисунок 2 – Круговая ЗНБ и способы ее идеализации

В обзоре [3] также приводится метод централизованной круговой ЗНБ, радиус которой зависит от тормозного пути собственного судна:

$$r_{\text{ЗНБ}} \neq \text{const} = 2S_{mi} + \tau, \quad (11)$$

где τ – расстояние, проходимое судном, с момента обнаружения опасности до подачи реверса, м.

В работе [11] круговая ЗНБ представляет собой несимметричную фигуру, разделенную на три сектора разных радиусов, обусловленных особенностями МППСС-72. Наличие разрывов на границах секторов вносит сложность ее математической реализации при моделировании маневров.

Имеется идеализация пространства вокруг судна смещением центра судна относительно центра ЗНБ таким образом, чтобы площади секторов по направлениям совпадали с дугами освещения навигационных огней и соответствовали площадям трехсекторной ЗНБ [9].

В исследованиях [2, 3] приводятся ЗНБ, заданные концентрическими окружностями разного радиуса в зависимости от скорости судна со смещенными центрами, которая основывается на количественном определении понятия «ближняя зона» в условиях ограниченной видимости, предложенной ИМО. В дальнейшем различными ис-

следователями предлагалось дополнительно учитывать размеры и конфигурацию «зоны последнего маневра», «зоны определения опасности», «зоны чрезмерного сближения» и т.п. [5], в пределах которых судном должен быть совершен маневр для уклонения от столкновения. Японскими исследователями при обобщении был предложен сегмент круговой ЗНБ из четырех концентрических окружностей в секторе носовых курсовых углов ($\pm 90^\circ$).

Универсальным аналитическим обобщением может служить круговая ЗНБ переменного радиуса в функциональной зависимости от курсового угла, элементов движения судов и навигационной обстановки. Ее частным случаем является эллиптическая ЗНБ с радиус-вектором из ее центра:

$$r_{\text{ЗНБ}} = \frac{ab}{\sqrt{a^2 \sin^2 q + b^2 \cos^2 q}}, \quad (12)$$

где a, b – большая и малая полуоси эллипса ЗНБ, м; q – курсовой угол судна, град.

Эллиптические ЗНБ. Форма эллипса была впервые предложена профессором *Fujii* [10]. Данный вариант ЗНБ позволяет достаточно рационально распределить безопасное пространство вокруг судна, что является преимуществом по сравнению с круговой ЗНБ рис. 3.

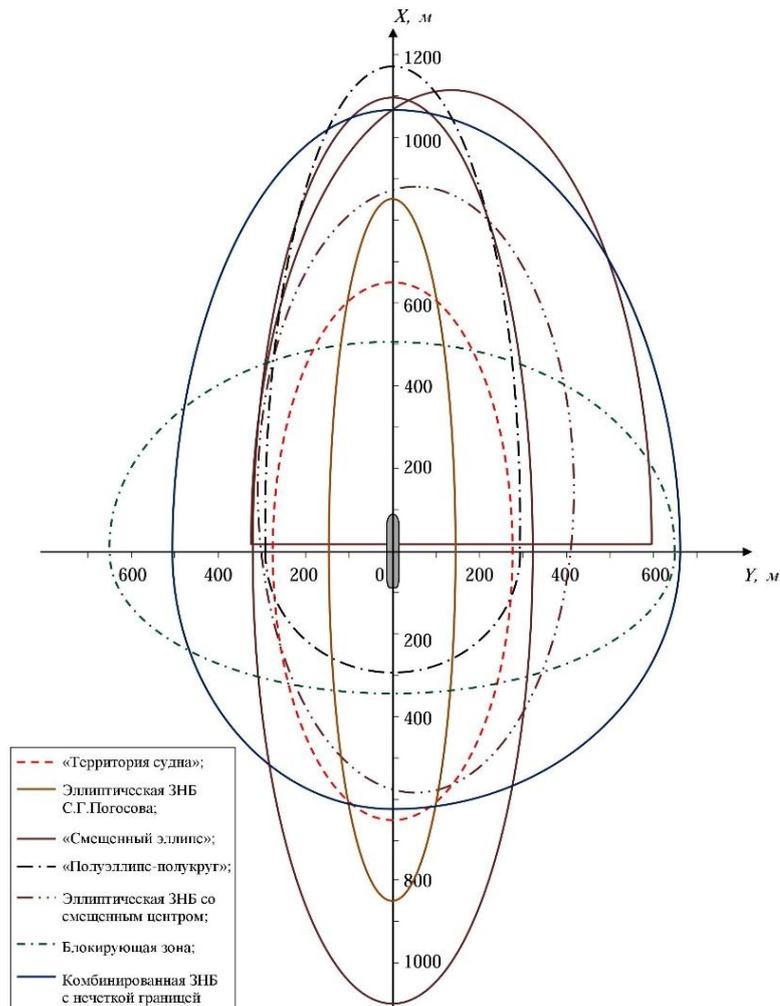


Рисунок 3 – Способы идеализации эллиптической ЗНБ

В исследованиях [1-3, 5-7, 10, 12, 15, 17] показано, что для определения элементов эллиптической ЗНБ используются различные подходы. В частности, в работе [6] С.Г. Погосовым предложена центрированная ЗНБ, главные оси которой определялись с учетом тормозного пути судна и безопасного траверзного расстояния, аналогично прямоугольной ЗНБ (5):

$$\begin{cases} a = L + 0,335LV_0^{1,596} + M_0 \approx 8L; \\ b = 0,6LV_0^{0,44} \approx 3,5L. \end{cases} \quad (13)$$

Применительно к практике расхождения на пересекающихся курсах в работе [8] предложен метод «смещенного эллипса», т.е. полуэллипса впереди судна относительно его центра. Такое условие задания границы ЗНБ не соответствует ее формализованному определению, поскольку не определяет степени опасности объектов на кормовых курсовых углах судна.

В работе [7] предлагается метод комбинированной ЗНБ в виде полуэллипса на носовых курсовых углах и полукруга – на кормовых, что позволяет учесть опасность объектов, находящихся позади судна в отличие от предыдущего метода.

В исследовании [12] используется эллиптическая ЗНБ со смещенным центром с целью автоматизации процессов принятия решений для предупреждения столкновений с судами при сближении на противоположных курсах с учетом особенностей МППСС-72. Это объясняется тем, что относительная скорость сближения с судами на носовых направлениях больше, чем на кормовых. ЗНБ представляет собой комбинацию «территории судна» и круговой ЗНБ со смещенным центром.

Согласно концепции *Kijima*, в работе [15] ЗНБ состоит из двух полуэллипсов, а сама ЗНБ названа им «блокирующей зоной (blocking area)»:

$$a_{fore} = L + T_{90} \cdot \frac{V_0}{2}; \quad a_{aft} = L + T_{90} \cdot \frac{V_0}{4}; \quad b = B + D_T, \quad (14)$$

где a_{fore} , a_{aft} – носовая и кормовая полуоси эллипса блокирующей зоны, соответственно, м;

T_{90} – время поворота судна на 90° , с;

D_T – тактический диаметр циркуляции судна, м.

Параметры такой ЗНБ определяются не только длиной судна, как в методе, предложенным *Fujii*, а также скоростью и параметрами циркуляции судна, как в методе, предложенным С.Г. Погосовым, которые являются определяющими факторами при совершении маневра.

Идея применения нечеткой логики с целью определения наличия и оценки риска столкновения, а также упрощения моделирования пути

судна предложена *N.Wang* в работе [17]. Комбинированная эллиптическая ЗНБ с нечеткой границей «fuzzy quaternion ship domain» (FQSD) представлена значениями четырех различных радиусов относительно центра ЗНБ в зависимости от маневренных характеристик, размеров судна, района и условий плавания, уровня квалификации и опыта судоводителя, особенностей применения МППСС-72:

$$\begin{cases} R_n = L \left(1 + 1,34 \sqrt{k_i^2 + \left(\frac{k_D}{2}\right)^2} \right) = L \left(1 + 1,34 \sqrt{1,55V^{0,72} + 0,17V^{1,09}} \right); \\ R_k = L \left(1 + 0,67 \sqrt{k_i^2 + \left(\frac{k_D}{2}\right)^2} \right) = L \left(1 + 0,67 \sqrt{1,55V^{0,72} + 0,17V^{1,09}} \right); \\ R_{n/\bar{\sigma}} = L(0,2 + k_i) = L(0,2 + 0,83V^{0,5441}); \\ R_{k/\bar{\sigma}} = L(0,2 + 0,75k_i) = L(0,2 + 0,62V^{0,5441}); \\ k_i = \frac{l_i}{L} \approx 10^{0,359H_{8V} + 0,0952}; \quad k_D = \frac{D_T}{L} \approx 10^{0,544H_{8V} - 0,0795}, \end{cases} \quad (15)$$

где R_i , l_i – радиусы ЗНБ по основным направлениям (н – нос, к – корма, п/б – правый борт, л/б – левый борт) и выдвиг судна на циркуляции, м;

k_i , k_D – размерные коэффициенты;

V – скорость судна, уз.

В зависимости от ситуации и уровня навигационной безопасности граница комбинированной нечеткой ЗНБ формулируется следующим образом:

$$FQSD_k(\gamma) = \{(x, y) \mid f(x, y; Q(\gamma) \leq 1, k \geq 1)\}; \quad (17)$$

$$f(x, y; Q(\gamma)) = \left(\frac{2x}{(1 + \operatorname{sgn} x)R_n(\gamma) + (1 - \operatorname{sgn} x)R_k(\gamma)} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1 + \operatorname{sgn} y)R_{n/\bar{\sigma}}(\gamma) + (1 - \operatorname{sgn} y)R_{k/\bar{\sigma}}(\gamma)} \right)^k; \quad (18)$$

$$Q(\gamma) = \{R_n(\gamma), R_k(\gamma), R_{n/\bar{\sigma}}(\gamma), R_{k/\bar{\sigma}}(\gamma)\}, \gamma \in (0;1); \quad (19)$$

$$R_i(\gamma) = R_n \left(\ln \frac{1}{\gamma} / \ln 2 \right)^{\frac{1}{k}}; \quad i \in \{n; k; n/\bar{\sigma}; k/\bar{\sigma}\}; \quad (20)$$

$$\operatorname{sgn} x \vee y = \begin{cases} 1, & x \vee y \geq 0; \\ -1, & x \vee y < 0, \end{cases} \quad (21)$$

где x , y – прямоугольные координаты, связанные с ЗНБ;

R_n (н, к, п/б, л/б) – базовые значения основных радиусов;

k – коэффициент формы ЗНБ;

γ – уровень навигационной безопасности.

Уровень навигационной безопасности определяет размеры ЗНБ с учетом наличия опыта, профессионализма и психологических особенностей судоводителя для оценки ситуации и принятия действий по расхождению: чем больше его значение, тем меньше размер ЗНБ:

$\gamma = 0$ – самая безопасная ситуация (маневрирование не требуется);

$\gamma = 1$ – самая опасная ситуация (явный риск столкновения).

Анализируя выражений (15), (16) можно сделать вывод, что размеры ЗНБ зависят от характеристик судна: статическая длина, скорость и маневренные качества. Выражения (19), (20) показывают нелинейные зависимости формы и размеров ЗНБ от района плавания. Линейные и нелинейные характеристики позволяют сделать ЗНБ более «гибкой» и максимально приближенной к существующей ситуации, а с точки зрения теоретической значимости – наиболее точно идеализировать ее границу.

На рис. 1 и 3 наглядно представлены параметры ЗНБ различных конфигураций, смоделированных при учете натуральных данных танкера-химовоза «РАМІR». На приведенных моделях ЗНБ видно, что судно располагается относительно изолинии безопасности таким образом, что в большинстве методов позволяет рационально формализовать безопасное пространство вокруг судна, а в некоторых – учесть специфику правил МППСС – 72. Величины параметров ЗНБ с левого борта, как видно из рисунков, соответствуют примерно единым значениям, в то время как с правого борта они в дифференцированной степени учитывают факторы, влияющие на положения изолинии безопасности относительно судна. Величины параметров ЗНБ в направлении носовой и кормовой оконечностей судна так же имеют всевозможные вариации в зависимости от метода их расчета. Значит в различной степени и масштабе учитывают факторы, влияющие на формализацию изолинии безопасности.

Анализ различных способов [1-17] идеализации безопасного пространства вокруг судна при использовании линейной, прямоугольной, круговой, эллиптической ЗНБ позволяет сделать следующие принципиальные выводы:

1. В соответствии с требованиями ИМО к маневренным качествам судна [14], тормозной путь и тактический диаметр циркуляции должны быть в пределах

$$S_m \leq 15L; \quad D_T \leq 5L. \quad (22)$$

Элементы рассмотренных ЗНБ (5) – (8), (13) – (16) соответствуют этим требованиям.

2. Параметры ЗНБ различных форм предлагается представить обобщенными выражениями:

$$\begin{cases} a = L + S_m + M_0 = L + k_1 L V_0^{k_2}; \\ b = k_3 L V_0^{k_4}, \end{cases} \quad (23)$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 – безразмерные коэффициенты.

Варианты значений безразмерных коэффициентов представлены в табл. 2:

Таблица 2 – Значения безразмерных коэффициентов

Источ-ник	Значения коэффициентов			
	k_1	k_2	k_3	k_4
[1]	0,335	1,596	0,6	0,44
[2]	1	1,26	0,75	0,44
[3]	0,33	1,6	0,6	0,44
[3]	1	1,26	0,75	0,44
[5]	0,335	1,596	0,9	0,44
[6]	0,33	1,6	0,6	0,4
[17]	1	1,26	1	0,44

Различие коэффициентов объясняется разнообразными подходами к учету натуральных данных судна для размеров ЗНБ. Следует отметить, что значения коэффициентов для тормозных путей и диаметров циркуляции судна не вполне соответствуют маневренным качествам новых типов крупнотоннажных судов, поэтому требуется их дополнительная идентификация.

3. Ни один метод не позволяет в полной мере учесть влияние внешних факторов при планировании движения и маневрировании судна, не учитывает возможных динамических препятствий, ограничиваясь предположением, что все они являются либо статическими, либо движутся прямолинейно и равномерно.

4. Все методы учитывают лишь статические факторы и не принимают во внимание динамические свойства движения судна.

В качестве перспективных направлений развития концепций ЗНБ предлагается формирование эллиптической ЗНБ с законами смещения ее центра, как фигуру наилучшим образом обобщающую все другие формы ЗНБ на основе кинематических характеристик и маневренных качеств судна в зависимости от ситуаций и условий плавания. Второй подход – динамический: развивать концепцию ЗНБ на основе представления ее свойств как абстрактной сплошной среды [2], и по ее взаимодействию со встречными объектами формировать управляющие воздействия на движение судна.

Литература

- 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.
- 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.
- 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, В.А. Технологии множественного анализа формирования навигационной обстановки и маршрута судна [Текст]/ В.А. Васьков, А.А. Мироненко// Изв. ВУЗов. Сев. –Кавказ. Регион. Техн. науки: Проблемы водного транспорта. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 35-38.
 5. Лентарев, А. А. Развитие концепции зоны навигационной безопасности [Текст]/ Вестник Морского государственного университета. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – Вып. 50. – С. 75-86.
 6. 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.
 7. Сугисаки, А. Микромоделирование морских транспортных потоков [Текст]. – Кокай, 1984.– № 80. – С. 14-19.
 8. Coldwell, T.G. Marine traffic behaviour in restricted waters [Text]/ Journal of Navigation, 1983.–Т.36(3). – P. 430 – 444.
 9. Davis, P.V. A computer simulation of marine traffic using domains and arenas [Text]/ P.V.Davis, M.J.Dove, C.T.Stockel// Journal of Navigation.– 1980.– V.33.– P. 215 – 222.
 10. Fujii, Y. [et al.] Effective areas of ships [Text]/ Journal of Nautical Society of Japan. – 1966. – № 35. – P. 71 – 86.
 11. Goodwin, E.M. A statistical study of ship domains [Text]/ Journal of Navigation. – 1975. – V. 28. – P. 328 – 341.
 12. He, Y. The Research of Ship ACA Actions at Different Stages on Head-On Situation Based on CRI and COLREGS [Text]/ Journal of Coastal Research, 73 (sp1). – 2011. – P. 735 – 740.
 13. Inoue, K. Modelling of Mariners' Senses on Minimum Passing Distance between Ships in Harbour (in Japanese) [Text]/ J.JIN (90), 1994. – P. 297 – 306.
 14. IMO Resolution A.751(18). IMO Interim Standards for Ship Manoeuvrability, 1993.
 15. Kijima K. Automatic Collision Avoidance System using the Concept of Blocking Area [Text]/ K.Kijima, Y.Furukawa// Proceeding of IFAC conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft. – Girona, Spain, 2003.
 16. Smierzchalski R. Ships' domains as a collision risk at sea in the evolutionary trajectory planning, Gdynia Maritime Academy, Gdynia, 2000. – pp. 43 – 52,
 17. Wang, N. An Intelligent Spatial Collision Risk Based on the Quaternion Ship Domain [Text]/ The Journal of Navigation, 63. – 2010. – P. 733 – 749.

УДК 656.61.052.7

СПОСОБ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

Ю.И. Юдин, доктор технических наук, профессор

С.В. Пашенцев, кандидат физико-математических наук, профессор

Количественное расхождение между результатами моделирования процесса движения судна с использованием его движительно-рулевого комплекса и результатами аналогичного движения выполненного в натуральных условиях заставляют задуматься об эффективности использования математической модели судна, построенной на основе данных модельных испытаний в опытовых бассейнах, в аэродинамической трубе, в автоматизированных системах управления. Поэтому проблема параметрической идентификации математической модели судна является весьма актуальной. В настоящей статье авторами предложен один из подходов к решению данной проблемы, для решения которой используется математический аппарат вариационного исчисления.

Ключевые слова: управление морским подвижным объектом, математическая модель судна, параметрическая идентификация, вариационное исчисление.

The quantitative discrepancy between the results of the simulation of vessel motions using his propulsion-steering complex and the results of similar movements performed under natural conditions and are forced to wonder about the effectiveness of using mathematical models of the ship based on these model tests in towing tank basin in the wind tunnel, control systems. Therefore, the problem of parametrical identification of mathematical model of ship is very important. In this article, the authors propose one approach to solving this problem, which uses mathematical apparatus of calculus of variations.

Key words: management of marine moving object, the ship mathematical model, parametrical identification, the calculus of variations.

Введение

Создание адекватной математической модели морского подвижного объекта (МПО), например, судна – насущное требование интеллектуализации управления его движением в водной среде. Существует общепринятая структура

математической модели МПО, сформированная с учётом известных принципов гидродинамической теории, а также ряд её разновидностей определяемых особенностями решаемых с их помощью прикладных задач.