

DOI: 10.12731/2227-930X-2019-4-32-44**УДК 656.611.2**

НАВИГАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Швецова А.Ф.

Данная статья посвящена вопросам происхождения понятия «зона навигационной безопасности». Подробно раскрывается значение термина для современной теории и практики судовождения, и описываются основные этапы его развития. Особое внимание обращается на трактовку понятия ведущими отечественными и зарубежными учеными, на основании взглядов которых прогнозируются передовые тенденции в развитии теории зоны навигационной безопасности.

Ключевые слова: зона навигационной безопасности; судовождение; интенсивность; столкновение; поток.

NAVIGATIONAL SAFETY

Shvetsova A.F.

This article is devoted to the origin of the concept of “navigation security zone”. The meaning of the term for modern theory and practice of navigation is described in detail, and the main stages of its development are described. Particular attention is paid to the interpretation of the concept by leading domestic and foreign scientists, on the basis of their views, advanced trends in the development of the theory of the navigation security zone are predicted.

Keywords: navigation security zone, navigation, intensity, collision, flow.

Происхождение термина

«зона навигационной безопасности»

Важное значение в современной теории и практике судовождения имеет понятие «зона навигационной безопасности» (ЗНБ), сформировавшееся в течение последних 40 лет в сфере теории управления движением судов (или Marine Traffic Engineering).

В научной литературе этот термин впервые был предложен в начале 1970-х годов в научных отчетах Союзморниипроекта, которые были разработаны при проектировании первой отечественной автоматизированной СУДС в заливе Находка. Результаты этих исследований появились в печати в 1974 г. в работе [1], которая и стала первым доступным для специалистов источником и использованием термина «зона навигационной безопасности» в русскоязычном варианте. В этой работе под ЗНБ подразумевается «пространство (вокруг судна), свободное от объектов, сооружений и прочих препятствий, обеспечивающих безопасное плавание».

На английском языке эквивалентом ЗНБ является термин «ship domain», впервые предложенный Е. Гудвин, определившей его как «эффективное пространство вокруг судна, которое судоводитель хотел бы держать чистым по отношению к другим судам и неподвижным объектам» [2]. Очевидно, что определения, данные в работах [1] и [2], являются идентичными.

Но все же авторами идеи, данной в этих определениях, (т. е., авторами концепции ЗНБ) следует считать группу японских учёных, работавших под руководством профессора Я. Фудзии. Именно они в 1966 г. в морском японском журнале напечатали статью, где теоретически обосновали существование ЗНБ в виде «двухмерного пространства вокруг судна, которого должны избегать другие суда» [3]. При этом авторы определили это пространство как «эффективную площадь» (effective domain). Данный термин использовался до второй половины 1970-х годов. Все это время и японские учёные, и другие авторы в работах, посвящённых ЗНБ, стали применять, в основном, термин «ship domain», а не «effective domain».

Справедливо будет отметить, что в специальной литературе встречается множество других терминов, созвучных с ЗНБ, среди них: «зона опасности», «область уклонения», «район столкновения», «зона последнего манёвра», «район сближения» (некоторые из них представлены в конце данной главы). Но они не совсем совпадают со значением ЗНБ, и ни ЗНБ, ни «ship domain» не могут использоваться в качестве термина, обобщающего эти понятия.

Таким образом, суть ЗНБ (или ship domain) заключается в том, что этот термин определяет пространство вокруг судна определённой формы и размеров, свободное от других судов и прочих объектов и обеспечивающее безопасное плавание своего судна.

Этап зарождения концепции зоны навигационной безопасности

Идея ЗНБ, как описано выше, зародилась в Японии, где в 60-х годах прошлого столетия выполнялись масштабные теоретические и практические исследования в области организации и управления движением судов. Позже они сформировались в новое отдельное научное направление, которое получило в исследованиях на английском языке название “Marine Traffic Engineering”. Результаты этих исследований были опубликованы в изданиях NSJ и журнале Navigation и на японском языке. Но все же широкому кругу ученых во всем мире данные исследования стали известны из статей, опубликованных в журналах Королевского института навигации (Великобритания). Достаточно полно список научных исследований того периода в области организации и управления движением судов представлен, например, в работе [4].

В 1966 г. группа японскими учёными под руководством профессора Я. Фудзии в журнале NSJ была опубликована статья, в которой дано теоретическое обоснование ЗНБ [3]. Для объяснения факта существования ЗНБ авторы использовали известное положение классической физики о сближении двух одинаково заряженных частиц в результате взаимодействия электрических полей, окружающих эти частицы, когда возникают силы отталкивания. Было предположено, что аналогичным образом вокруг каждого судна существует потенциальное поле опасности, которое, по мнению авторов, вызывает воображаемые силы отталкивания по отношению к приближающимся судам. Эти силы вынуждают суда отклоняться от своего курса, чтобы пройти на безопасном расстоянии от других объектов. Тогда возникает следующая ситуация.

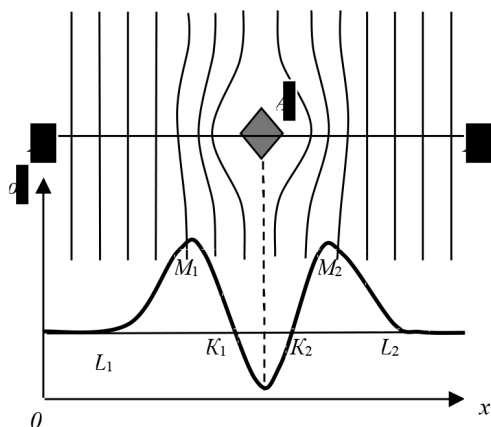


Рис. 1. К определению границы ЗНБ [10]

Предполагается, что на водном пути судна имеется препятствие A , это может быть затонувшее судно, мель, опора моста и т. п. (рис.1). Суда (для простоты рассмотрим случай одностороннего движения), следующие на достаточно большом расстоянии от препятствия, проходят этот район, «не обращая внимания на него».

Однако суда, идущие прямо на препятствие, вынуждены огибать его. Тогда плотность движения по линии $X_1 X_2$ принимает вид распределения, показанного кривой (рис. 1). Следовательно, на большом удалении от препятствия плотность движения является равномерной, но по мере приближения к препятствию она увеличивается с обеих сторон от него и в точках M_1 и M_2 достигает максимума, резко уменьшаясь при дальнейшем сближении с препятствием. Предложим, что условия безопасности плавания будут обеспечены, если суда не будут приближаться к препятствию на расстояние, меньше соответствующего точкам M_1 и M_2 . Если точки максимума плотности движения определить по всему горизонту, при условии их стабилизации, то геометрическое место этих точек будет определять водное пространство для безопасного плавания, т. е. ЗНБ.

Другого теоретического обоснования ЗНБ во время зарождения данной концепции не было предложено, но в процессе её развития

появились и альтернативные подходы, которые представлены, например, в работах Погосова С.Г., Васькова А.С., о них говорится ниже.

Последующие этапы развития теории зоны навигационной безопасности

Рассмотренная выше теоретическая модель была проверена в ходе комплексных практических исследований, проводившихся в конце 1960-х годов несколькими группами японских учёных. В их числе был и один из авторов этой модели – профессор Я. Фудзии [5]. Исследования были проведены во время плавания научно-исследовательского судна в районах Внутреннего Японского моря. Тогда в Токийском заливе фотографировались изображения экрана РЛС с дискретностью 1–3 мин. Несколько сотен тысяч фотографий, полученные таким образом, были обработаны с целью определения точек кратчайшего сближения с окружающими судами. Эти точки были нанесены на график, аналогичный маневренному планшету. В центре планшета находится судно. При этом кривая, которая соединяет районы с максимальными плотностями точек кратчайшего сближения, может быть аппроксимирована эллипсом, центр которого совпадает с собственным судном, а направление большой оси – с его диаметральной плоскостью (рис. 2).

Размеры этого эллипса определяются следующим образом:

$$\text{большая полуось} - \log r_y = \lambda + 0,85 \pm 0,6 \text{ или } r_y = 7L_c \pm L_c;$$

$$\text{малая полуось } \log S_y = \lambda + 0,48 \pm 0,0 \text{ или } S_y = 3L_c \pm 0,5L_c,$$

где $\lambda = \log L_c$; L_c – длина судна.

Эти оценки приемлемы для так называемой «нормальной скорости» (V_{nc}), под которой имеется в виду скорость судов на напряжённых участках Внутреннего Японского моря, которая зависит от длины судов следующим образом: $\log V_{nc} = 0,29\lambda + 3,78 \pm 0,6$, (1), где V_{nc} – «нормальная скорость» судна.

Теоретическое обоснование этого способа подтверждается многочисленными практическими наблюдениями. Но у данного способа есть существенный недостаток: невозможность оценить ЗНБ при движении судна со скоростью, отличной от «нормаль-

ной». Однако этот способ характеристики ЗНБ и его модификации активно использовались в 1970–1980-х годах в программах математического обеспечения автоматизированных СУДС для того, чтобы оценить ситуации аварийного сближения и приближения к опасному району, а также в прикладных научных исследованиях.

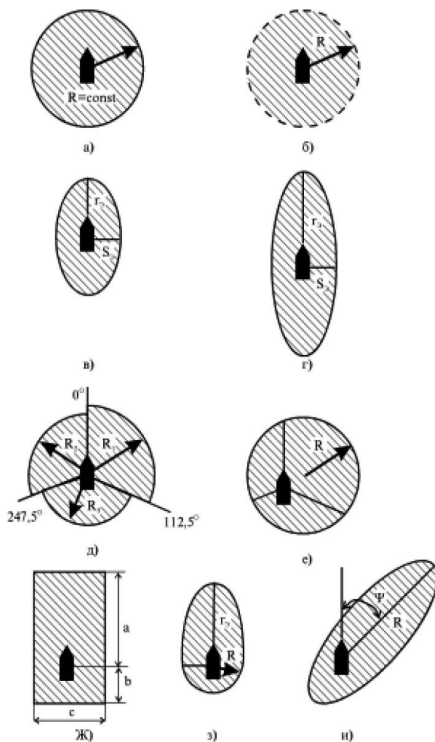


Рис. 2. Двухмерные варианты представления формы и размеров ЗНБ

При этом нужно отметить, что в практику судовождения еще в 1950-х годах вошло понятие «расстояния кратчайшего сближения», $D_{кр}$ (Distance to Closest Point of Approach), которое применяется до сих пор, если нужно выполнить маневрирование судном для расхождения с другими судами. Причем, если сравнить суть расстояния кратчайшего сближения с определением зоны навигационной безопасности,

то видно, что по смыслу эти понятия эквивалентны. Также можно утверждать, что $D_{кр}$ – это линейный (одномерный) эквивалент ЗНБ.

К тому же, если представить маневренный планшет с большим количеством сохранившихся радиолокационных прокладок с целью выбора маневра на расхождение с другим судном, то получится иная картина – ближайшие к собственному судну точки кратчайшего сближения будут находиться на окружности радиусом $D_{кр}$, часто это – 4, 3 или 2 мили. Если эти точки соединить, то полученная окружность будет определять круговую зону, которая полностью соответствует определению ЗНБ. Таким образом, можно считать, что ЗНБ в виде круга постоянного радиуса, равного $D_{кр}$ (рис. 2), неявным образом применялась в практике судовождения задолго до возникновения концепции ЗНБ.

Недостаток «японского» варианта можно увидеть в отсутствии возможности расчета размера ЗНБ при скорости, отличной от «нормальной». Этому недостатка лишен способ, предложенный группой отечественных специалистов под руководством капитана дальнего плавания Погосова С.Г. [1]. Моряки проанализировали таблицы маневренных элементов нескольких сотен судов Министерства морского флота СССР первой половины 1970-х годов. При этом цель заключалась в определении зависимости тормозного пути S_m от скорости перед началом торможения V_o . В результате анализа собранных статистических данных была получена следующая зависимость: $S_m = L_c 0,355 V_o^{1,596}$ (3)

Как и в «японском» варианте, авторы предложили представить ЗНБ в виде эллипса (рис. 2), большая полуось которого определялась тормозным путём, исправленным поправкой: $r_s = S_m + 2M_\delta = L_c(0,355 V_o^{1,596} + 2M_\delta)$, (4), где M_δ – поправка на вероятное отклонение среднего тормозного пути от его фактического значения, равная $0,125S_m$.

За малую полуось эллипса предлагается принять ширину водной полосы, необходимой для безопасного движения судна по линии заданного направления, формула для ее расчёта была получена аналогичным образом $S_s = L_c 0,9 V_o^{0,44}$ (5).

Кроме зависимости размеров ЗНБ от скорости судна, такой вариант отличается тем, что он основан на принципе взаимодействия ЗНБ, т. е. ЗНБ собственного судна не должна перекрываться ЗНБ встречного судна, тогда как способ, предложенный японскими учеными, определяет, что встречное судно не должно пересекать границу ЗНБ собственного судна. Однако, в многочисленных зарубежных публикациях, посвящённых проблеме ЗНБ, нет ни одного упоминания работы С.Г. Погосова и его группы. Причина проста и кроется она в том, что результаты этой работы не были опубликованы в англоязычных журналах.

Принципиально новое положение в развитие концепции ЗНБ привнесла английский специалист Е. Гудвин в середине 1970-х годов. Исследователь задалась вопросом, почему ЗНБ должна быть симметричной относительно диаметральной плоскости судна? Ведь при плавании суда следуют правилам МППСС-72, в соответствии с которыми самым опасным является сектор справа по носу, следовательно, и граница ЗНБ в этом секторе должна отойти дальше, чем слева по носу или по корме. Для проверки этой гипотезы выполнялись натурные наблюдения, аналогичные тем, которые проводились японскими учёными. При этом, обрабатывая статистическую информацию, точки кратчайшего сближения ученые наносили по всему горизонту, а не только в первой четверти, как это было при обосновании эллиптической ЗНБ.

В итоге получилась интересная картина: если весь горизонт разбить на три сектора по зонам видимости бортовых и гакабортного огней, то в этих секторах максимальные плотности точек кратчайшего сближения располагались примерно по окружностям разного радиуса. Вот Е. Гудвин и предложила использовать ЗНБ в виде комбинированной фигуры из трех сегментов различного радиуса. Но в отличие от метода, разработанного японскими учёными, в данном случае рекомендовано размеры ЗНБ определять точками пересечения линии $X-X_1$ и линии нормальной (а не максимальной) плотности, т. е. точками K и K_1 (рис. 1).

Однако, аналитических выражений, с помощью которых можно было бы рассчитать радиусы секторов, получить не удалось. Но

были составлены таблицы для выбора радиусов в зависимости от типа судна, его длины и района плавания.

После того, как Е. Гудвин высказала идею о несимметричности формы ЗНБ, появились работы с дальнейшим разработкой этой идеи в части устранения очевидного её недостатка, связанного с наличием разрывов на границах секторов. Так, в начале 1980-х годов П. Дэвис и др., чтобы исследовать процесс движения судов с помощью компьютерного моделирования, предложили ЗНБ в виде круга, составленного из трёх секторов. При этом судно смещено обратно и влево от курса так, что площади секторов равны площадям соответствующих секторов модели Е. Гудвин [7].

На основе модели П. Дэвиса в работе Б.А. Колли и др. [7, 8] с учётом идей, используемых в системах обеспечения безопасности воздушного движения, разработана модель, получившая название «range-to-domain over range-rate (RDRR)». В основу данной модели положено отношение расстояния от встречного судна до домена управляемого судна (range-to-domain) к скорости изменения данного расстояния (range-rate). Чтобы определить точку или время начала маневра уклонения, необходимо сравнить эту величину с критическим значением. Эта концепция получила широкое распространение и использовалась другими авторами, например, в работе [16], где модель RDRR модифицирована для автоматического обнаружения опасного сближения и определения типа такого сближения (обгон или встречное движение) путем дополнительного учета расстояния и времени до сближения.

Таким образом, в ближайшее время вряд ли следует ожидать появления революционных идей в общей теории развития ЗНБ. Работы в этой области будут иметь продолжение в направлении применения тех или иных моделей ЗНБ, используемых для решения прикладных проблем организации движения судов, структурирования путей, оценки рисков навигации и безопасности мореплавания.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело финансовой поддержки.

Список литературы

1. Погосов С.Г., Борисов Е.В., Королева В.П. Обеспечение безопасности движения судов в портовых водах // Морской транспорт: Обзорная информация Сер. Судовождение и связь / ЦБНТИ ММФ. 1974. 41 с.
2. Goodwin E. A Statistical Study of Ship Domain. Journal of Navigation. 1975. V. 28, pp. 328–341.
3. Fujii Y., Seki M., Tanaka K., Yamada K., Watanabe K. Effective areas of ships. Journal of Nautical Society of Japan. 1966. № 35, pp. 71–86.
4. Toyoda S., Fujii Y. Marine Traffic Engineering. Journal of Navigation. 1971. V. 24. № 1, pp. 24–34.
5. Yamaguchi A., Sakaki S. at all. Studies in Marine Traffic Engineering. Journal of Navigation. 1971. № 4, pp. 521–552.
6. Лентарёв А.А. Навигационные критерии безопасности плавания / Дальне-вост. высш. инж. мор. уч-ще. Владивосток, 1988. 26 с.
7. Davis P.V., Dove M.J., Stockel C.T. A Computer Simulation of Marine Traffic Using Domains and Arenas. Journal of Navigation. 1980. V. 33. № 2, pp. 215–222.
8. Colley B.A., Curtis R.G., Stockel C.T. Maneuvering Times, Domains and Arenas. Journal of Navigation. 1983. V. 36. № 2, pp. 324–328.
9. Pietrzykowski Z., Uriasz J. The Ship Domain – A Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area. Journal of Navigation. 2009. V. 62. № 4, pp. 93–108.
10. Kijima K., Furukawa Y. Automatic Collision Avoidance System Using the Concept of Blocking Area. Proceedings of IFAC Conference on Maneuvering and Control of Marine Craft. 2003. Girona, Spain.
11. Spaans J.A., A Model for Calculating a Maritime Risk Criterion Number. Journal of Navigation. 1977. V. 30. № 2, pp. 287–295.

12. Сугисаки А. Микро моделирование морских транспортных потоков. Кокай. 1984. № 80. С. 14–19.
13. Система УДС залива Находка. Научное обеспечение разработки и ввода в эксплуатацию системы. Том 2. Разработка методики использования информации для радиолокационной лоцманской проводки судов в заливе Находка: Отчет о НИР / Дальневост. высш. инж. мор. уч-ще (ДВВИМУ); Руководитель Ю.М. Улькин. ХДТ 4/77; № ГР 79029740; Инв. № Б758046. Владивосток, 1978. 48 с.
14. Goodwin E.M., Lamb W.G.P., Kemp J.F. Quantitative Measurements of Navigational Safety. *Journal of Navigation*. 1983. V. 36. № 3, pp. 418–429.
15. Coldwell T.G. Marine Traffic Behaviour in Restricted Waters. *Journal of Navigation*. 1983. V. 36. № 3, pp. 430–444.
16. Васьков А.С. Методы управления движением судна и конфигурацией зоны навигационной безопасности. Новороссийск: НГМА, 1997. 248 с.
17. James M. Modelling the Decision Process in Computer Simulation of Ship Navigation. *Journal of Navigation*. 1986. V. 39. № 1, pp. 32–49.

References

1. Pogosov S.G., Borisov E.V., Koroleva V.P. Obespechenie bezopasno-sti dvizheniya sudov v portovykh vodakh // *Morskoy transport: Obzornaya in-formatsiya Ser. Sudovozhdenie i svyaz' / TsBNTI MMF*. 1974. 41 s.
2. Goodwin E. A Statistical Study of Ship Domain. *Journal of Navigation*. 1975. V. 28, pp. 328–341.
3. Fujii Y., Seki M., Tanaka K., Yamada K., Watanabe K. Effective areas of ships. *Journal of Nautical Society of Japan*. 1966. № 35. R. 71–86.
4. Toyoda S., Fujii Y. Marine Traffic Engineering. *Journal of Navigation*. 1971. V. 24. № 1, pp. 24–34.
5. Yamaguchi A., Sakaki S. at all. Studies in Marine Traffic Engineering. *Journal of Navigation*. 1971. № 4, pp. 521–552.
6. Lentarev A. A. Navigatsionnye kriterii bezopasnosti plavaniya / *Dal'nevost. vyssh. inzh. mor. uch-shche*. Vladivostok, 1988. 26 s.

7. Davis P.V., Dove M.J., Stockel C.T. A Computer Simulation of Marine Traffic Using Domains and Arenas. *Journal of Navigation*. 1980. V. 33. № 2, pp. 215–222.
8. Colley B.A., Curtis R.G., Stockel C.T. Maneuvering Times, Domains and Arenas. *Journal of Navigation*. 1983. V. 36. № 2, pp. 324–328.
9. Pietrzykowski Z., Uriasz J. The Ship Domain – A Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area. *Journal of Navigation*. 2009. V. 62. № 4, pp. 93–108.
10. Kijima K., Furukawa Y. Automatic Collision Avoidance System Using the Concept of Blocking Area. *Proceedings of IFAC Conference on Maneuvering and Control of Marine Craft*. 2003. Girona, Spain.
11. Spaans J.A., A Model for Calculating a Maritime Risk Criterion Number. *Journal of Navigation*. 1977. V. 30. № 2, pp. 287–295.
12. Sugisaki A. Mikromodelirovanie morskikh transportnykh potokov. *Kokay*. 1984. № 80. S. 14–19.
13. Sistema UDS zaliva Nakhodka. Nauchnoe obespechenie razrabotki i vvoda v ekspluatatsiyu sistemy. Tom 2. Razrabotka metodiki ispolzovaniya informatsii dlya radiolokatsionnoy lotsmanskoj provodki sudov v zalive Nakhodka: Otchet o NIR / Dal'nevost. vyssh. inzh. mor. uch-shche (DVVIMU); Rukovoditel' Yu. M. Ul'kin. *KhDT 4/77*; № GR 79029740; Inv. № B758046. Vladivostok, 1978. 48 s.
14. Goodwin E.M., Lamb W.G.P., Kemp J.F. Quantitative Measurements of Navigational Safety. *Journal of Navigation*. 1983. V. 36. № 3, pp. 418–429.
15. Coldwell T.G. Marine Traffic Behaviour in Restricted Waters. *Journal of Navigation*. 1983. V. 36. № 3, pp. 430–444.
16. Vas'kov A.S. Metody upravleniya dvizheniem sudna i konfiguratsiyey zony navigatsionnoy bezopasnosti. Novorossiysk: NGMA, 1997. 248 s.
17. James M. Modelling the Decision Process in Computer Simulation of Ship Navigation. *Journal of Navigation*. 1986. V. 39. № 1, pp. 32–49.

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Швецова Анастасия Федоровна, аспирант

ФБОУВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

*ул. Верхнепортовая, 50а, г. Владивосток, 690003, Россий-
ская Федерация
shvecos69@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Shvetsova Anastasia Fedorovna, Graduate student

Maritime State University

*50A, Verkhneportovaya str., Vladivostok, 690003, Russian Fed-
eration*

shvecos69@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9704-2095