



ЗОНА НАВИГАЦИОННО-ПРОМЫСЛОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ «СУДНО-ТРАЛ»

М. А. Прудников, курсант
e-mail: markap99@mail.ru

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

С. В. Ермаков, канд. техн. наук, доц. кафедры судовождения
e-mail: esv.klgd@mail.ru

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье представлено обоснование зоны навигационно-промысловой безопасности (ЗНПБ) системы «судно-трал» с использованием принципов построения кватернионной зоны навигационной безопасности (ЗНБ) морского судна. Обоснование ЗНПБ состоит из двух частей, первая из которых заключается в аналитическом описании кватернионной модели ЗНБ. Кватернионная зона представляет собой площадь, ограниченную соединенными дугами четырех эллипсов, при этом каждая дуга располагается в соответствующем квадранте судовой системы координаты, а величины больших (носовой и кормовой) и малых (бортовых) полуосей зависят от скорости движения судна, его размеров и маневренных характеристик. Во второй части обоснования предложено вычислять кормовые эллипсы исходя из габаритных характеристик трала, не изменяя при этом методику расчета носовых эллипсов. В качестве примера приведены расчет и построение зон навигационно-промысловой безопасности БАТМ типа «Пулковский меридиан» для нескольких скоростей траления.

***Ключевые слова:** система «судно-трал», зона безопасности, кватернионная модель*

ВВЕДЕНИЕ

Безопасное расстояние, на котором должны расходиться суда, с давних пор является достаточно распространенным предметом исследования. Из года в год, из публикации в публикацию появляются и развиваются различные концепции, имеющие как практический, так и теоретический уклоны. В рамках подобных исследований появился термин «зона навигационной безопасности» – часть акватории вокруг судна, появление в которой встречного судна является опасным. Концепции таких зон, их математическое описание имеют свои достоинства и недостатки, но единого подхода к определению размеров и конфигурации этих зон к настоящему моменту так и не выработано.

Вместе с тем практически ни одна из существующих концепций не относится к судам, которые заняты тралением, т. е. к судам, буксирующим протяженный подводный объект. Очевидно, что конфигурация и размеры зон навигационной безопасности (ЗНБ) траулеров должны учитывать весь промысловый комплекс, и по этой причине принципы построения таких зон будут отличаться от применяемых для судов, не занимающихся тралением. Более того, в этом случае необходимо вести речь не о зонах навигационной безопасности, а о зонах навигационно-промысловой безопасности. Ведь нельзя считать расхождение судов безопасным, если орудия лова находятся в аварийной близости друг от друга.

Таким образом, использование существующих моделей ЗНБ не позволит организовать адекватную оценку безопасности плавания промысловых судов – частое выполнение «ма-

невра последнего момента» если и позволит избежать столкновения судов, то обязательно приведет к промысловой аварийной ситуации (заверт трала, намотка ваера или сетной части трала на винт, сцепление тралов и т.д.). Это, в свою очередь, может быть причиной и для столкновения судов.

Вместе с тем появление в научной литературе обоснования специализированных моделей зон безопасности для промысловых судов с тралом – редкое явление. Так, в работе [1] представлено подробное описание мультizonной модели для судна, занятого тралением. Представление ЗНБ здесь расширено за счет дополнительных требований. В частности, введено понятие «зоны опасного сближения» (ЗОС), под которой понимается свободное пространство вокруг системы «судно-орудие лова», необходимое для выполнения маневра безопасного расхождения с другим рыболовным судном и его орудием лова, без нарушения нормального технологического режима работы этой системы. Таким образом, ЗНБ является составной частью ЗОС. Формы и размеры ЗОС определяются соотношением курсов, скоростей, геометрических размеров конкретных расходящихся судов и буксируемых ими орудий лова. Построение ЗОС и ЗНБ приобретает смысл только тогда, когда постороннее судно находится в ЗСМ нашего судна и, следовательно, представляет потенциальную опасность. Кроме ЗОС в [1] предлагается дополнительно использовать образование «зона свободного маневрирования» (ЗСМ) – свободное пространство вокруг судна, в пределах которого оно может безопасно выполнять любые маневры, связанные с добычей рыбы. Любое судно, попавшее в ЗСМ, должно рассматриваться как потенциальная навигационная опасность, в той или иной степени ограничивающая свободный маневр нашего судна путем деформации ЗСМ. При этом деформация ЗСМ будет зависеть от курса, скорости длины ваеров, кабелей и сетной части трала этого судна. Очевидно, что указанные зоны связаны соотношением: $ЗНБ \subset ЗОС \subset ЗСМ$.

Кроме того, что мультizonная модель обладает определенной степенью сложности, она имеет еще два недостатка.

Во-первых, для ее реализации необходимо иметь информацию как о встречном судне, так и о характеристиках трала и траления.

Во-вторых, при расхождении траулеров на противоположных или близких к ним курсах мультizonная модель становится недееспособной.

Единственным нормативно-правовым документом, который регламентирует расхождение судов на промысле, являются Правила совместного плавания и промысла 1973 года [2]. Эти Правила устанавливают минимальное расстояние между судами, идущими параллельными курсами, равным 2 кбт, а для судов на пересекающихся курсах – 4 кбт. Однако за время, прошедшее после того, как документ начал действовать, промысловые комплексы тралового лова значительно увеличились, возросли скорости траления, основан лов поверхностных объектов и близких к поверхностным. Поэтому адекватность требований по минимальной дистанции расхождения судов, заключенных в Правилах совместного плавания и промысла, представляется как минимум спорной, а задача по разработке алгоритма построения зон навигационно-промысловой безопасности – актуальной.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом настоящего исследования является система, состоящая из морского рыбопромыслового судна (траулера) и буксируемого им промыслового трала (система «судно-трал»).

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – обоснование общих принципов формирования и методики расчета и построения зоны навигационно-промысловой безопасности судна, буксирующего трал (системы «судно-трал»).

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- проанализированы существующие подходы к описанию зон навигационной безопасности;
- обоснована методика расчета и построения зоны навигационно-промысловой безопасности судна при тралении.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

К настоящему времени разработано и в различных целях применяется большое количество методик расчета и построения зон навигационной безопасности морских судов, которые можно классифицировать в зависимости от их геометрической формы следующим образом:

- круговые (модели Гудвина, Дэвиса);
- эллиптические (модели Фуджи, Колдвелла, Кижимы);
- полигонные (модели Смиржальского, Петризиковского);
- комбинированные.

Различные модели принимают во внимание различные характеристики, среди которых, как правило, обязательно встречаются скорость движения судна и его размеры.

На первый взгляд, наиболее простым способом построения ЗНПБ видится здесь использование круговых или эллиптических моделей, где систему «судно-трал» необходимо рассматривать как очень длинное судно. Однако размеры всех круговых и эллиптических ЗНБ зависят от длины судна. По этой причине подобный подход оказывается абсурдным – как продольные (в первую очередь носовые), так и поперечные размеры ЗНБ будут настолько большими, что делает их неприемлемыми на практике. Вместе с тем несколько более сложные модели полигонных и комбинированных ЗНБ своими дифференцированными по секторам алгоритмами построения дают возможность адаптации к системе «судно-трал». Одной из таких моделей является кватернионная модель [3].

Размер кватернионной зоны навигационной безопасности определяется четырьмя полуосями – носовой R_n , кормовой R_k и двумя бортовыми $R_{пб}$ и $R_{лб}$. Форма ЗНБ определяется замкнутой кривой, соединяющей указанные четыре элемента, и может иметь вид либо комбинированного эллипса, либо четырехугольника (рис. 1).

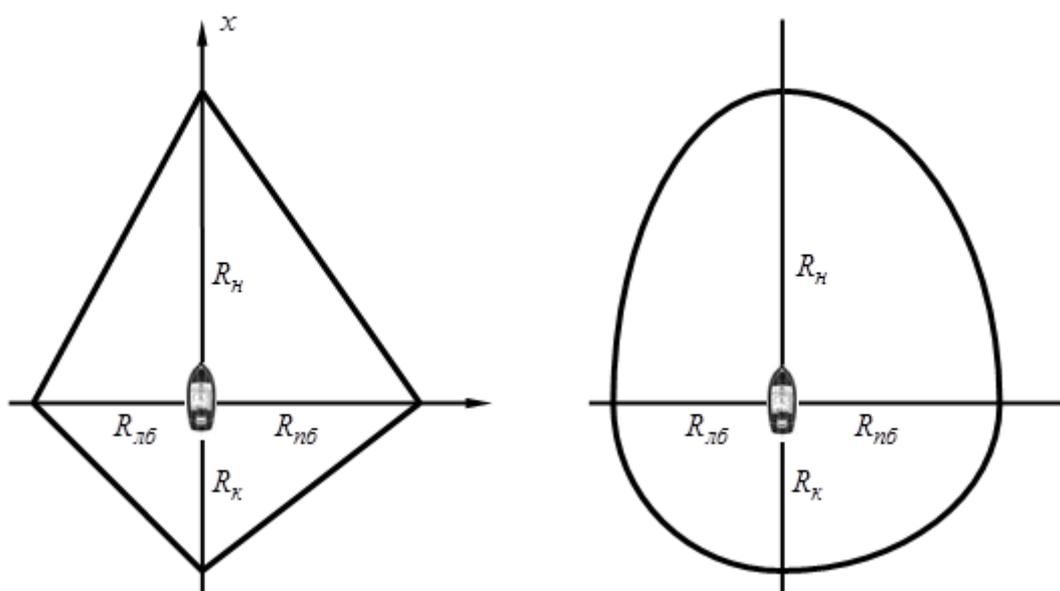


Рисунок 1 – Виды кватернионной зоны навигационной безопасности

Полуоси кватерниона определяются следующим образом [3]:

$$R_H = (1 + 1,34 \cdot \sqrt{k_{AD}^2 + \frac{k_{DT}^2}{4}}) \cdot L, \quad (1)$$

$$R_K = (1 + 0,67 \cdot \sqrt{k_{AD}^2 + \frac{k_{DT}^2}{4}}) \cdot L, \quad (2)$$

$$R_{пб} = (0,2 + k_{DT}) \cdot L, \quad (3)$$

$$R_{лб} = (0,2 + 0,75 \cdot k_{DT}) \cdot L, \quad (4)$$

где L – длина нашего судна, k_{AT} , k_{DT} – коэффициенты, определяемые формулами:

$$k_{AT} = 10^{0,359 \log_{10} V + 0,0952}, \quad (5)$$

$$k_{DT} = 10^{0,544 \log_{10} V - 0,0795} \quad (6)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описанная кватернионная модель в настоящей работе положена в основу методики расчета и построения зоны навигационно-промысловой безопасности системы «судно-трал».

В процессе обоснования этой методики будем поэтапно ее использовать с целью построения ЗНПБ для БАТМ типа «Пулковский меридиан» ($L_c = 104,5$ м), который осуществляет траление со скоростью 5 уз. При этом для трала примем следующие характеристики: длина $l_m = 400$ м, горизонтальное раскрытие $l_r = 150$ м, «горизонтальная» длина ваеров $l_b = 800$ м, длина кабелей $l_k = 150$ м.

Впереди плоскости мидель-шпангоута ЗНПБ будет определяться двумя эллипсами (по четвертям – впереди траверза левый борт и впереди траверза правый борт) с общей большой полуосью, расположенной в диаметральной плоскости. Таким образом, основываясь на выражениях (1)-(3) и (5)-(6), для элементов эллипса по носовым курсовым углам левого и правого борта можно записать следующие выражения:

$$a_{н.V} = (1 + 1,34 \cdot \sqrt{10^{0,7182 \log_{10} V_c + 0,25} \cdot 10^{1,0882 \log_{10} V_c - 0,159}}) \cdot L_c, \quad (7)$$

$$b_{нл.V} = (0,2 + 0,75 \cdot 10^{0,5441 \log_{10} V_c - 0,0795}) \cdot L_c, \quad (8)$$

$$b_{нп.V} = (0,2 + 10^{0,5441 \log_{10} V_c - 0,0795}) \cdot L_c \quad (9)$$

Рассчитаем элементы эллипсов для БАТМ типа «Пулковский меридиан»: $a_{н.5} = 445,3$ м, $b_{нл.5} = 180,1$ м, $b_{нп.5} = 233,2$ м, построим их на рис. 2 (красная кривая). На этом рисунке схематично изображено судно, относительно геометрического центра которого и построены рассчитанные дуги эллипса, а также траловые доски и «кормовая» оконечность траловой системы. При построении учтено, что начало отсчета длины ваеров идет с кормы судна (то есть с координаты $x = -52,25$ м). В итоге первый этап построения границы ЗНПБ будет закончен.

На втором этапе воспользуемся все той же кватернионной моделью. При этом в расчетные формулы вместо длины судна будем подставлять сумму длины трала и длины кабелей, т. е. будем рассматривать трал как судно длиной $l_k + l_r$ и шириной l_r . Однако малые полуоси эллипсов сместим на базовую прямую, соединяющую траловые доски, так как наибольшая опасность тралу в поперечном направлении имеет место как раз в месте расположения траловых досок.

В итоге элементы эллипсов, расположенных позади траловых досок симметрично продольной оси трала, с учетом (2-6) будут определяться формулами:

$$a_{к.V} = (1 + 0,67 \cdot \sqrt{10^{0,7182 \log_{10} V_c + 0,1904} + 0,25 \cdot 10^{1,0882 \log_{10} V_c - 0,159}}) \cdot (l_k + l_T), \quad (10)$$

$$b_{кл.V} = (0,2 + 0,75 \cdot 10^{0,5441 \log_{10} V_c - 0,0795}) \cdot (l_k + l_T), \quad (11)$$

$$b_{кп.V} = (0,2 + 10^{0,5441 \log_{10} V_c - 0,0795}) \cdot (l_k + l_T) \quad (12)$$

Рассчитаем элементы «кормовых» эллипсов для описанного выше трала: $a_{к.5} = 1446,9$ м, $b_{кл.5} = 948,0$ м, $b_{кп.5} = 1227,3$ м и построим их на рис. 2 (зеленая кривая).

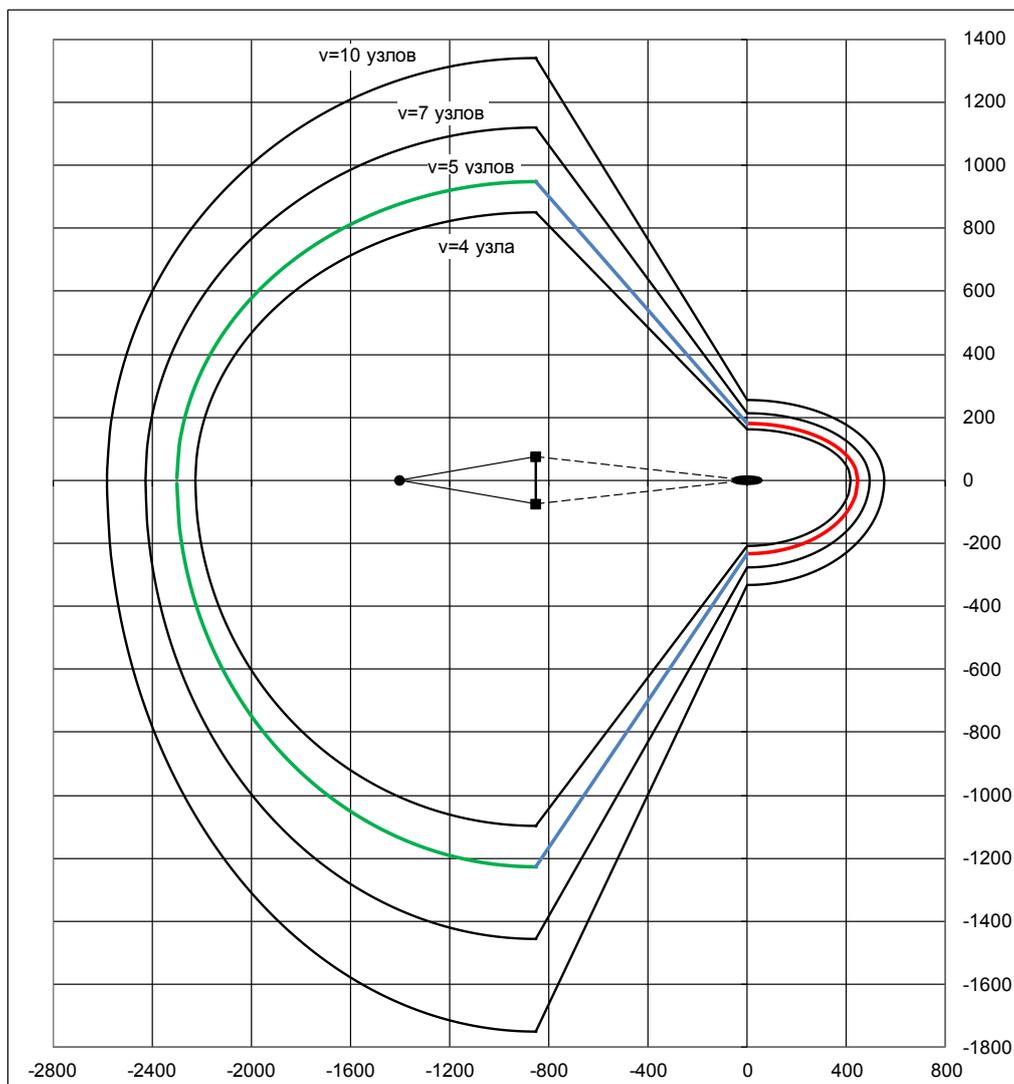


Рисунок 2 – Зоны навигационно-промысловой безопасности БАТМ типа «Пулковский меридиан», следующего с тралом

На последнем этапе построения зоны навигационно-промысловой безопасности на каждой из сторон системы «судно-трал» соединим попарно точки, ограничивающие дуги эллипсов и находящиеся на их малых полуосях (рис. 2, синие линии). В итоге получаем замкнутую зону навигационно-промысловой безопасности.

Перечислим несколько очевидных допущений, принятых при обосновании ЗНПБ:

- линии пути судна и трала совпадают, снос трала течением отсутствует;
- ваера, трал и траловые доски расположены симметрично относительно линии пути;
- проекции длин трала, кабелей и ваеров приняты равными самим длинам.

Для наглядности все для той же системы «судно-трал» рассчитаем и построим графики зависимости значений полуосей эллипсов от скорости (рис. 3) и три ЗНПБ – для скоростей

траления 4, 7 и 10 уз (рис. 2).

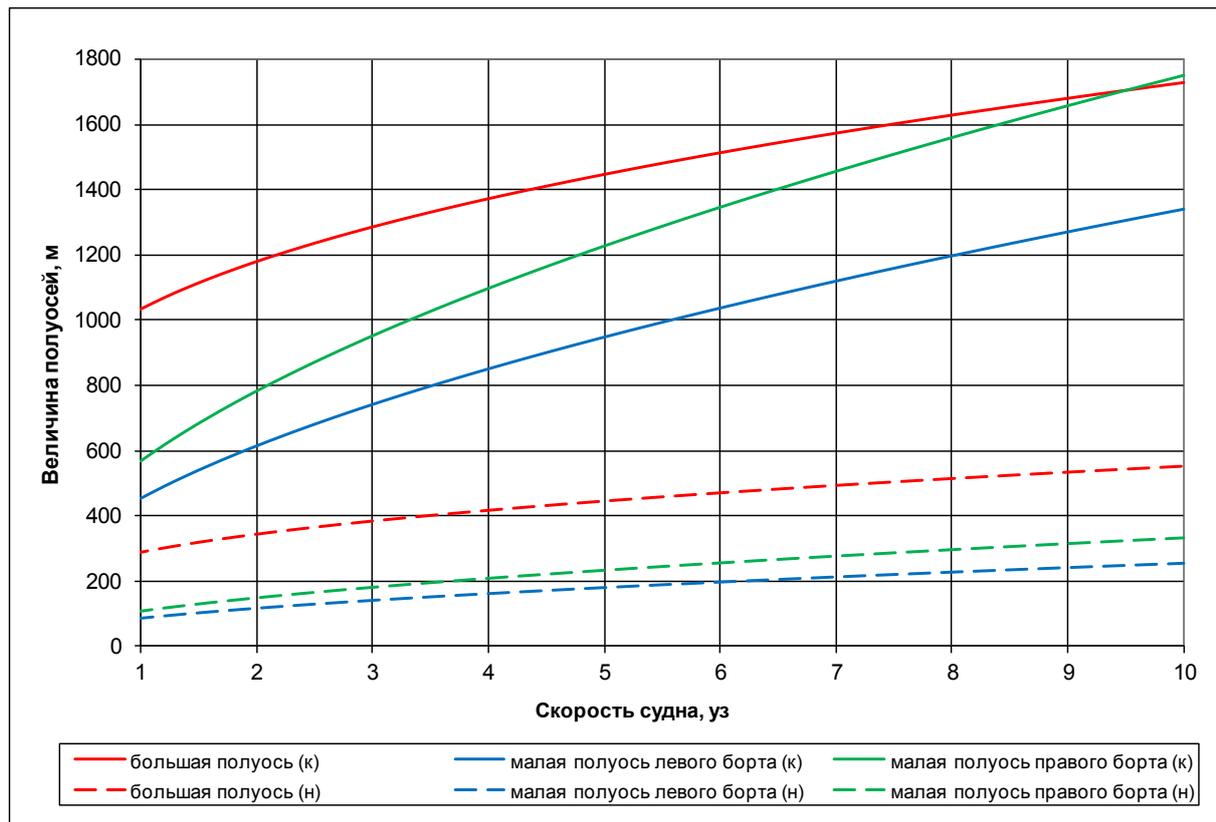


Рисунок 3 – Зависимость полуосей эллипсов ЗНПБ от скорости судна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аварийность мирового рыболовного флота в настоящее время не имеет тенденций, отличных от всего мирового флота – количество различных аварий, в которых задействованы рыболовные суда, не уменьшается. Вместе с тем Правила совместного плавания и промысла устарели, а требования по минимальной дистанции расхождения уже давно перестали отражать действительность. Для судов, ведущих траловый промысел в группе, необходимы новые инструменты по оценке безопасности расхождения, один из которых и разработан в настоящей статье. Он представляет собой зону навигационно-промысловой безопасности судна, ведущего траление (системы «судно-трал»). Следует заметить, что обоснованная методика построения зоны навигационно-промысловой безопасности основана на ряде допущений. Одно из допущений заключается в отсутствии поперечного сноса трала течением. Учет этого сноса, а также особенностей движения системы на циркуляции являются перспективным направлением продолжения настоящего исследования.

Обоснованная модель ЗНПБ может иметь ряд приложений различного характера. Так, представленная методика вполне применима для установления новых нормативных требований по дистанции расхождения судов, занимающихся тралением. Кроме того, заложенный в модели алгоритм может быть использован в системах поддержки принятия решений судоводителем рыболовного судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев, А.А. Теоретические принципы обеспечения безопасного маневрирования судна при прицельном траловом лове: автореф. дис. ...док. техн. наук: 05.22.16 / Соловьев Андрей Аркадьевич. – Санкт-Петербург, 1999. – 43 с.
2. Правила совместного плавания и промысла судов флота рыбной промышленности СССР. – Санкт-Петербург: Транспорт, 1973. – 22 с.

3. Ning Wang. An Intelligent Spatial Collision Risk Based on the Quaternion Ship Domain.
– The Journal of Navigation. – 2010. – № 63. – pp. 733-749.

SHIP-TRAWL SYSTEM DOMAIN

M.A. Prudnikov, cadet
e-mail: markap99@mail.ru
Baltic Fishing Fleet State Academy,
Kaliningrad State Technical University

S.V. Ermakov, PhD, assistant professor
e-mail: esv.klgd@mail.ru
Baltic Fishing Fleet State Academy,
Kaliningrad State Technical University

The article presents the rationale behind ship-trawl system domain (STSD) using the principles of building quaternion ship domain (QSD). The rationale behind STSD consisted of two parts. The first part was an analytical description of the QSD. Quaternion ship domain is the area bounded by the connected arcs of four ellipses. Each arc is located in the corresponding quadrant of the ship's coordinate system, and the values of the large (bow and stern) and small (port and starboard) axle shafts depend on the speed of the vessel, its size and maneuverable characteristics. In the second part of the rationale, it is proposed to calculate the stern ellipses based on the overall characteristics of the trawl, without changing the method of calculating bow ellipses. As an example, the calculation and building of the ship-trawl system domain of the «Pulkovskiy meridian» type trawler for several trawling speeds are given.

Key words: *ship-trawl system, quaternion ship domain, navigation and fishing safety*