

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910

THE USE OF CHARACTERISTICS OF MANEUVERING TO ENSURE THE SAFETY OF VESSEL TRAFFIC IN THE NARROWS

A. A. Ershov, A. V. Mikhnevich

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

This article proposes a method of taking into account the parameters of maneuvering the vessel in solving problems of ensuring the safety of ships in the narrowness. This method can be used in the development of ship navigation equipment, including those designed to control traffic safety and solve problems of divergence of ships (radar, ARPA etc.), including for ships operated without human intervention. In General, the concept of "safe maneuvering zone" (SMZ) of a vessel may be defined as a part of the water area within which the vessel can avoid immediate danger only by its maneuver. Another the concept of "area of safe movement" (ASM) of the vessel can be defined as the area within which the ship can carry out safe movement, keeping your course and speed. In this paper, we propose the use of zones of vessel movement, as well as safe maneuvering zones to solve the problems of ship safety in narrow waters, as well as problems on the differences of ships. The proposed method of using the ASM and SZM allows taking into account not only the current movement of the vessel, but also its possible maneuvering. for a certain period of time, which can be chosen equal to the interval of the ship's motion vector, is used in modern ARPA and radar to predict the movement and solve problems of traffic. The addition of the motion vector of the vessel with the parameters of the ASM and SZM can be used for a more accurate risk assessment of the movement of the vessel in the conditions of narrowness and the danger of collisions and used for development of navigation equipment and use modern navais (ARPA, radar etc). The article suggests ways to determine the parameters of the ASM and SZM for a certain period of time, and it is proposed to use the parameters of the extreme maneuvering zone included in the information on the maneuvering characteristics of each vessel (the table of maneuvering elements) in accordance with the requirements of IMO Resolution A. 601(15) at the first stage of implementation. With the accumulation of information on other vessels, specific LMS and LSA of each vessel can be calculated for use in advanced navigation AIDS (ARPA, radar etc.) in assessing the safety of vessel traffic in narrow areas and in solving problems of vessel divergence. The proposed method of using the maneuvering characteristics of the vessel to assess the safety of ships in the narrowness can be used, including for promising "unmanned" vessels operated without human intervention

Keywords: accounting for the manoeuvring of the vessel, the development of navigation technology, ensuring the safety of ships in the narrows

For citation:

Ershov, Andrey A., and Andrey V. Mikhnevich. "The use of characteristics of maneuvering to ensure the safety of vessel traffic in the narrows." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.5 (2018): 897–910. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.

УДК 655.62.052.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАНЕВРИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ В УЗКОСТЯХ

А. А. Ершов, А. В. Михневич

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

В настоящей статье предлагается способ учета параметров маневрирования судна при решении задач обеспечения безопасности судов в узкостях. Этот способ может быть использован в развитии судовой

навигационной техники, в том числе предназначенной для контроля безопасности движения и решения задач расхождения судов (БРЛС, САРП, РЛС и др.), в частности для судов, управляемых без участия человека. В общем случае предлагаемое понятие «зона безопасного маневрирования» (ЗБМ) судна может определяться как часть акватории, внутри которой судно может избежать непосредственной опасности только своим маневром. Другое понятие «зона безопасного движения» (ЗБД) судна может быть определено как зона, в пределах которой судно может осуществлять безопасное движение, сохраняя свои курс и скорость. В настоящей статье предлагается использование зон движения судна и зон безопасного маневрирования для решения проблем обеспечения безопасности движения судов в узкостях и задач о расхождении судов. Предлагаемый способ использования ЗБМ и ЗБД судна позволяет учитывать не только текущее движение судна, но и его возможное маневрирование в течение определенного промежутка времени, который можно принять равным промежутку вектора движения судна, используемого в современных САРП и РЛС для прогнозирования движения судна и решения задач расхождения. Дополнение этого вектора движения судна параметрами ЗБД и ЗБМ может быть использовано для более точной оценки опасности движения судна в узкости и опасности столкновения, а также для развития навигационной техники и использования в перспективных навигационных средствах (САРП, РЛС, БРЛС). В статье предложены способы определения параметров ЗБД и ЗБМ в течение определенного промежутка времени, а также рекомендовано на первом этапе внедрения использовать параметры зоны экстремального маневрирования, входящего в информацию о маневренных характеристиках каждого судна (Таблицу маневренных элементов), далее в тексте — Таблица маневренных характеристик в соответствии с требованиями Резолюции ИМО А.601(15). По мере накопления информации о других судах могут рассчитываться конкретные ЗБМ и ЗБД каждого судна для использования в перспективных навигационных средствах (САРП, РЛС, БРЛС и др.) при оценке безопасности движения судов в узкостях и при решении задач расхождения судов. Предлагаемый способ использования маневренных характеристик судна для оценки безопасности движения судов в узкостях может быть использован, в том числе для перспективных «беспилотных» судов, управляемых без участия человека.

Ключевые слова: учет маневрирования судна, развитие навигационной техники, обеспечение безопасности судов в узкостях.

Для цитирования:

Ершов А. А. Использование характеристик маневрирования для обеспечения безопасности движения судов в узкостях / А. А. Ершов, А. В. Михневич // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 897–910. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.

Введение (Introduction)

Совершенствование судовой и береговой навигационной техники, а также планируемое появление судов, управляемых без участия человека, приводит к появлению проблем, связанных с обеспечением безопасности движения судов в узкостях и ограниченных районах плавания. Проблемам повышения безопасности судов в узкостях посвящены работы [1] – [5], существенным недостатком которых является то, что они не учитывают параметры возможного маневрирования судов при оценке безопасности движения и решении задач расхождения в узкостях. Например, в работах [6], [7] предлагалось использование специальных зон маневрирования судов как способа решения задач безопасности. В работах [8] – [12] рассматривались маневры во избежание столкновения опасных ситуаций при различных условиях плавания. Предлагается использование нейронных сетей в решении задач мореплавания [13] – [16].

В настоящей статье предлагается способ учета параметров маневрирования судна при решении задач обеспечения безопасности судов в узкостях, который может быть использован в развитии или предложен в процессе усовершенствования судовой навигационной техники, в том числе предназначенной для контроля безопасности движения и решения задач расхождения судов (БРЛС, САРП, РЛС и др.). Предлагаемый способ может быть рекомендован для судов, управляемых без участия человека.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для обеспечения собственного движения с заданными курсом и скоростью, а также для выполнения других маневров судно занимает определенную часть акватории, на которой осуществляет движение или маневрирование. Размер этой части акватории, отсутствие внутри

опасностей в виде мелей, других судов или морских сооружений определяет возможность судна осуществить безопасное маневрирование или расхождение с другими судами при помощи только своих маневров.

В соответствии с Резолюцией ИМО А.601(15), в состав информации о маневренных характеристиках судна (Таблица маневренных характеристик) включена зона экстремального маневрирования (рис. 1), которая позволяет выполнить сравнение характеристик реверса судна на «полный задний ход» с выполнением циркуляций на правый или левый борт с максимальными углами перекладки руля. Эти маневры судна являются экстремальными, они выполняются во избежание судном непосредственной опасности, которая может возникнуть в процессе его движения или расхождения с другими судами. Таким образом, информация, которая требуется в соответствии с Резолюцией ИМО А.601(15), может быть определена как *зона экстремального маневрирования судна* (ЗЭМ). В общем случае может быть предложено понятие «зона безопасного маневрирования» (ЗБМ) судна, определяемая как часть акватории, внутри которой судно может избежать непосредственной опасности только своим маневром. Другое понятие «зона безопасного движения» (ЗБД) судна может быть определено как зона, в пределах которой судно может осуществлять безопасное движение, сохраняя свои курс и скорость.

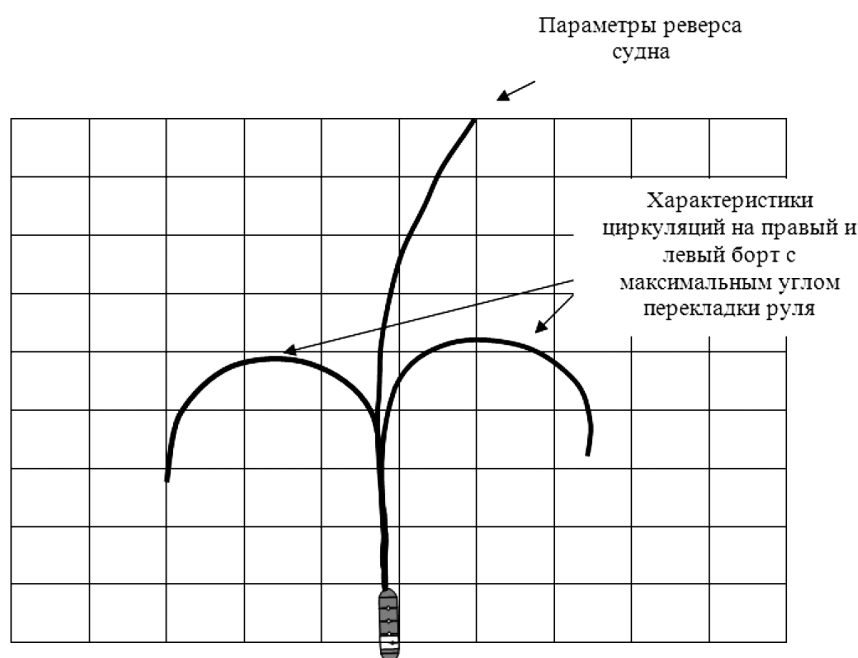


Рис. 1. Параметры зоны экстремального маневрирования

Параметры зон, в которых судно может осуществлять свое безопасное движение (параметры ЗБД) и / или избегать непосредственной опасности только своим маневром (параметры ЗБМ), применяя для этого в случае необходимости свои экстремальные возможности, а именно: реверсирование, уход на циркуляцию с наибольшим углом перекладки руля и другие, зависят от размеров судна, его маневренных характеристик, состояния моря, наличия ветра, течения, оборудования судна винтами регулируемого (ВРШ) или винтами фиксированного шага (ВФШ), загрузки судна, наличия и размеров его палубного груза, скорости движения, осадки носом и кормой и многих других факторов.

Размеры акватории с достаточными глубинами, обеспечивающими безопасность судна в различных ситуациях, которые должны предоставлять судну возможность движения с постоянным курсом и скоростью, позволять маневрировать в случае возникновения опасности, а при необходимости создавать условия для выполнения экстремального маневрирования во избежание непосредственной опасности, определяются параметрами ЗБД и ЗБМ конкретного судна.

Если размеры акватории, на которой судно осуществляет свое движение, не позволяют ему выполнить эти маневры, т. е. не соответствуют ЗБД и ЗБМ судна, то судно не может обеспечивать свою безопасность во всех случаях и всегда избегать опасности только собственным маневрированием, что характерно для перспективных навигационных средств обеспечения безопасности движения судов в узкостях. Таким образом, размеры акватории, на которой может быть обеспечено безопасное движение одного судна, должны быть такими, чтобы давать возможность судну осуществлять движение с постоянным курсом и скоростью, выполнять маневренные операции, осуществлять экстремальное маневрирование в случае возникновения опасности, т. е. они должны быть непосредственно связаны с параметрами движения судна ЗБД и ЗБМ судна, а также определяться точностью обсерваций.

При движении судна с постоянным курсом и скоростью ЗБД судна может определяться шириной акватории, занимаемой судном при своем движении. Ширина акватории, которую занимает судно при своем движении постоянным курсом и скоростью, приближенно может быть определена следующим образом (рис. 2):

$$\text{Ш} = L \sin \beta + B \cos \beta, \quad (1)$$

где Ш — ширина, акватории, которую занимает судно при своем движении, м; L — длина судна, м; B — ширина судна, м; β — угол дрейфа судна, град.

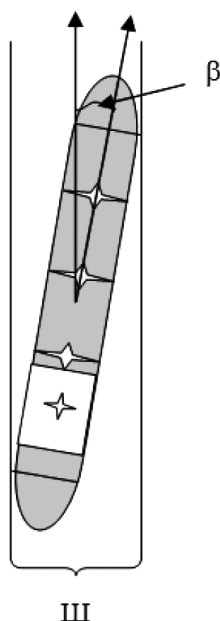


Рис. 2. Ширина полосы движения судна, двигающегося с постоянными курсом и скоростью

При движении судна в пределах определенной акватории его место в общем случае известно с ошибкой, которая при наличии случайных погрешностей может оцениваться либо элементами эллипса погрешностей, либо радиальной ошибкой обсервованного места судна (максимальной погрешностью обсервации (M)).

В случае, если выполняется учет ошибок навигационных измерений и эти ошибки неизменны во времени, полная (максимальная) ширина полосы безопасного движения судна может быть определена (рис. 3) в виде

$$\text{Ш} = L \sin \beta + B \cos \beta + 2M, \quad (2)$$

где M — радиальная ошибка обсервованного места судна, или максимальная погрешность обсервации, м.

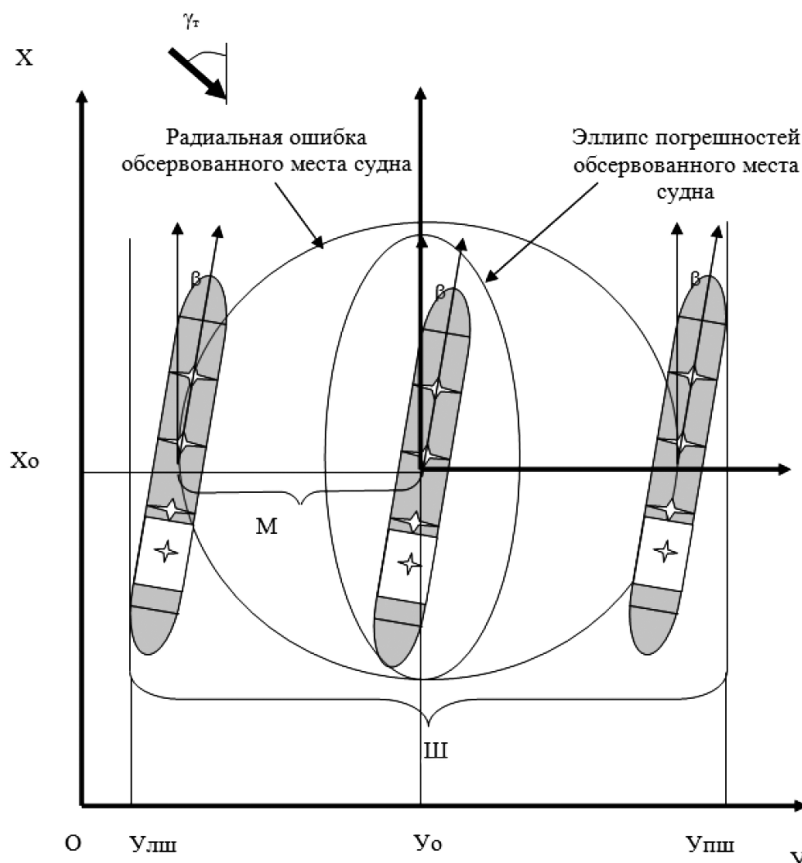


Рис. 3. Ширина полосы движения судна с учетом ошибок навигационных измерений

При наличии постоянного течения необходимо учесть изменение ширины полосы движения судна за счет сноса:

$$\Delta \Pi = \int_0^t v_t \sin \gamma_t dt, \quad (3)$$

где γ_t — направление течения, град.; v_t — скорость течения, м/с.

При определении границ ширины полосы безопасного движения судна относительно неподвижной системы координат XOY (см. рис. 3) координата правого края ширины (полосы) движения судна ($Y_{\text{пш}}$) может определяться в виде

$$Y_{\text{пш}} = Y_0 + M + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta + \int_0^t v_t \sin \gamma_t dt, \quad (4)$$

координата левого края ширины (полосы) движения судна ($Y_{\text{лш}}$) — в виде

$$Y_{\text{лш}} = Y_0 - M - \frac{L}{2} \sin \beta - \frac{B}{2} \cos \beta + \int_0^t v_t \sin \gamma_t dt, \quad (5)$$

где $Y_{\text{лш}}$ — левая координата ширины (полосы) движения судна при постоянных курсе и скорости, м; $Y_{\text{пш}}$ — правая координата ширины (полосы) движения судна при постоянных курсе и скорости, м; t — время движения судна данными курсом и скоростью, с.

При выполнении маневра на циркуляцию с максимальным углом перекладки на правый борт длина и ширина ЗБМ судна могут быть определены следующим образом (рис. 4). Ширина ЗБМ ($\Pi_{\text{ЗБМп}}$) при выполнении циркуляции на правый борт с учетом радиальной ошибки определения места судна M ориентировочно может быть определена в виде, показанном на рис. 4, а:

$$\text{Ш}_{\text{ЗБМп}} = \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta + M + D_{\text{пц}}, \quad (6)$$

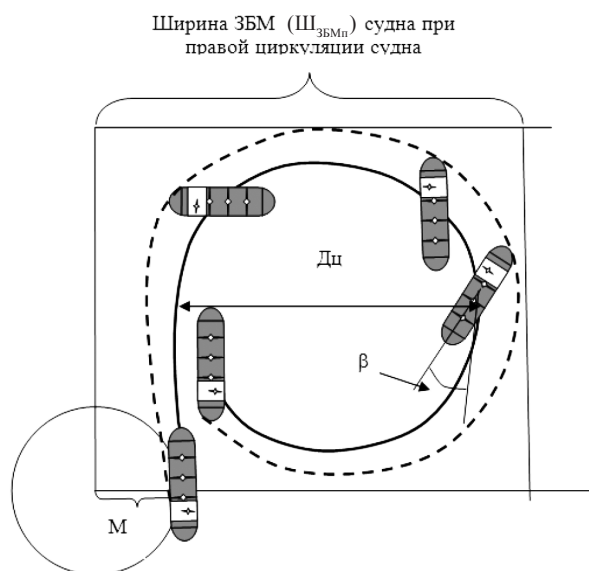
где β — угол дрейфа судна при движении на циркуляции при максимальном диаметре в направлении, поперечном курсу судна, град.; $D_{\text{пц}}$ — максимальный диаметр циркуляции при максимальном угле перекладки руля на правый борт (правой циркуляции судна), м.

Длина ЗБМ судна при выполнении правой циркуляции $D_{\text{ЗБМп}}$, м, с учетом радиальной ошибки определения места судна M ориентировочно может быть определена в виде, приведенном на рис. 4, б:

$$D_{\text{ЗБМп}} = L \sin \beta + B \cos \beta + M + B_{\text{пц}}, \quad (7)$$

где $B_{\text{пц}}$ — выдвиг судна при выполнении правой циркуляции, т. е. расстояние, проходимое средней точкой судна в направлении первоначального курса от позиции, в которой была отдана команда на руль, до позиции, когда курс изменится на 90° от своего первоначального значения, м; β — угол дрейфа судна при движении на циркуляции при максимальном диаметре в направлении по курсу судна, град.

а)



б)

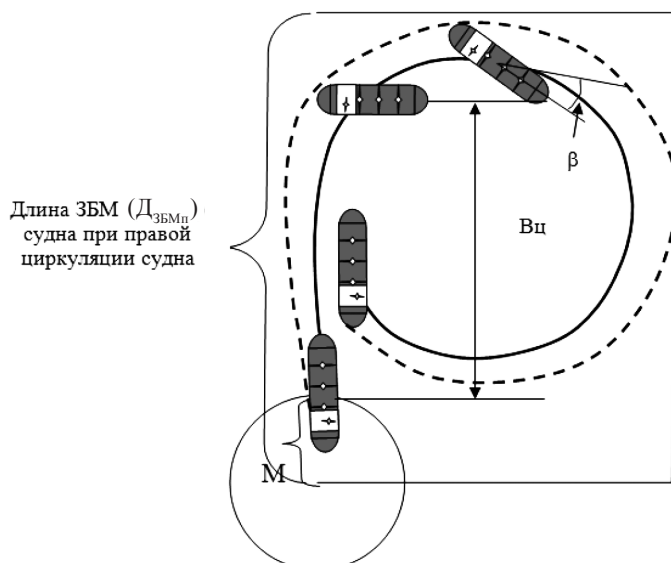


Рис. 4. Определение ширины (а) и длины (б) зоны безопасного маневрирования судна при выполнении циркуляции на правый борт с максимальным углом перекладки руля

При выполнении маневра ухода судна на левую циркуляцию формулы для определения ширины ($\Pi_{ЗБМл}$) и длины ($D_{ЗБМл}$) ЗБМ могут быть определены в виде

$$\Pi_{ЗБМл} = \frac{L}{2} \sin \theta + \frac{B}{2} \cos \theta + M + D_{лц}, \quad (8)$$

где $D_{лц}$ — максимальный диаметр циркуляции при максимальном угле перекаладки на левый борт (левой циркуляции судна); β — угол дрейфа судна при движении на циркуляции при максимальном диаметре в направлении, поперечном курсу судна;

$$D_{ЗБМл} = L \sin \beta + B \cos \beta + M + B_{лц}, \quad (9)$$

где $B_{лц}$ — выдвиг судна при выполнении левой циркуляции, т. е. расстояние, проходимое средней точкой судна в направлении первоначального курса от позиции, в которой был отдан приказ на руль, до позиции, когда курс изменится на 90° от своего первоначального значения, м; β — угол дрейфа судна при движении на циркуляции при максимальном диаметре в направлении по курсу судна, град.

Максимальные параметры ЗБМ при выполнении правой и левой циркуляции судна могут быть определены из суммирования $\Pi_{ЗБМп}$ и $\Pi_{ЗБМл}$, а также максимальной величины $D_{ЗБМп}$ и $D_{ЗБМл}$. В этом случае можно записать:

$$\begin{aligned} \Pi_{ЗБМц} &= \Pi_{ЗБМл} + \Pi_{ЗБМп}; \\ D_{ЗБМл} &= \max\{D_{ЗБМл}, D_{ЗБМп}\}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\Pi_{ЗБМц}$ — максимальная ширина ЗБМ судна при выполнении циркуляций на правый и левый борт во избежание непосредственной опасности, м; $D_{ЗБМц}$ — максимальная длина ЗБМ судна при выполнении циркуляций на правый и левый борт во избежание непосредственной опасности, м.

При равенстве углов дрейфа судна в процессе выполнения правой и левой циркуляции выражение для $\Pi_{ЗБМ}$ может быть записано следующим образом:

$$\Pi_{ЗБМц} = L \sin \beta + B \cos \beta + 2M + D_{пц} + D_{лц}, \quad (11)$$

Если во избежание непосредственной опасности судно использует маневр реверса, то параметры ЗБМ могут быть определены следующим образом (рис. 5):

$$\Pi_{ЗБМр} = \frac{L}{2} \sin \theta + \frac{B}{2} \cos \theta + M + B_{см.р}, \quad (12)$$

где $\Pi_{ЗБМр}$ — ширина зоны безопасного маневрирования при выполнении маневра реверса, м; $B_{см.р}$ — боковое смещение судна при выполнении реверса, м.

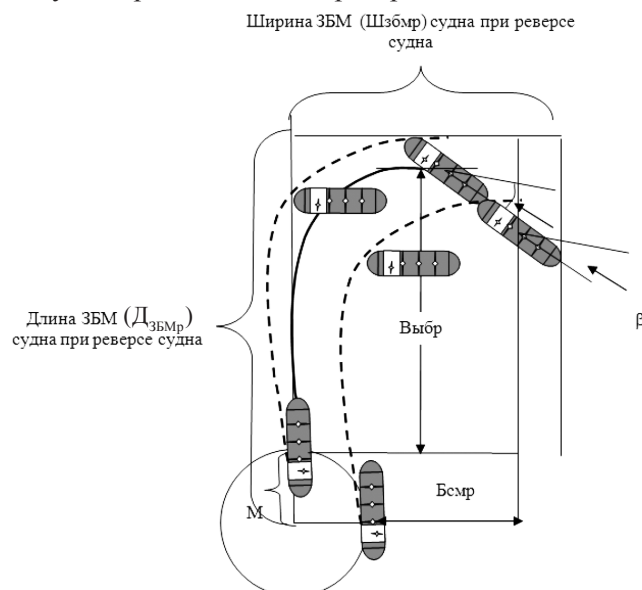


Рис. 5. Определение длины и ширины зоны безопасного маневрирования судна при выполнении маневра реверса на «Полный задний ход»

$$D_{\text{ЗБМр}} = \frac{L}{2} \sin \theta + \frac{L}{2} \cos \theta + M + \text{Выб}_p, \quad (13)$$

где $D_{\text{ЗБМр}}$ — длина зоны безопасного маневрирования при выполнении маневра реверса, м; Выб_p — выбег судна при выполнении реверса, м.

В неподвижной системе координат $X1O1Y1$ (рис. 6) параметры ЗБМ при различном маневрировании судна вправо и влево могут быть определены из следующих основных соотношений:

$$\begin{aligned} Y1_{\text{п}} &= Y1_0 + M + Y1_{\text{сп max}} + \frac{L}{2} \sin \theta + \frac{B}{2} \cos \theta; \\ Y1_{\text{л}} &= Y1_0 - M Y1_{\text{сл max}} - \frac{L}{2} \sin \theta - \frac{B}{2} \cos \theta; \\ Y1_{\text{п}} &= X1_0 + M + X1_{\text{сп max}} + \frac{L}{2} \sin \theta + \frac{B}{2} \cos \theta; \\ Y1_{\text{л}} &= X1_0 + M + X1_{\text{сл max}} + \frac{L}{2} \sin \theta + \frac{B}{2} \cos \theta, \end{aligned} \quad (14)$$

где $X1_0$ — начальная координата по оси $X1$ центра тяжести (ЦТ) судна, м; $Y1_0$ — начальная координата по оси $Y1$ ЦТ судна, м; M — радиальная ошибка обсервованного места судна, м; $X1_{\text{сп max}}$ — максимальное смещение ЦТ судна вдоль оси $X1$ при маневрировании судна вправо, м; $Y1_{\text{сп max}}$ — максимальное смещение ЦТ судна вдоль оси $Y1$ при маневрировании судна вправо, м; $X1_{\text{сл max}}$ — максимальное смещение ЦТ судна вдоль оси $X1$ при маневрировании судна влево, м; $Y1_{\text{сл max}}$ — максимальное смещение ЦТ судна вдоль оси $Y1$ при маневрировании судна влево, м; $X1_{\text{п}}$ — максимальное значение координаты по оси $X1$ ЗБМ судна при маневрировании вправо с учетом радиальной ошибки обсервованного места (M) и движения кормовой оконечности судна с углом дрейфа β , м; $X1_{\text{л}}$ — минимальное значение координаты по оси $X1$ ЗБМ судна при маневрировании вправо с учетом радиальной ошибки обсервованного места (M) и движения кормовой оконечности судна с углом дрейфа β , м; $Y1_{\text{п}}$ — максимальное значение координаты по оси $Y1$ ЗБМ судна при маневрировании вправо с учетом радиальной ошибки обсервованного места (M) и движения кормовой оконечности судна с углом дрейфа β , м; $Y1_{\text{л}}$ — минимальное значение координаты по оси $Y1$ ЗБМ судна при маневрировании вправо с учетом радиальной ошибки обсервованного места (M) и движения кормовой оконечности судна с углом дрейфа β , м.

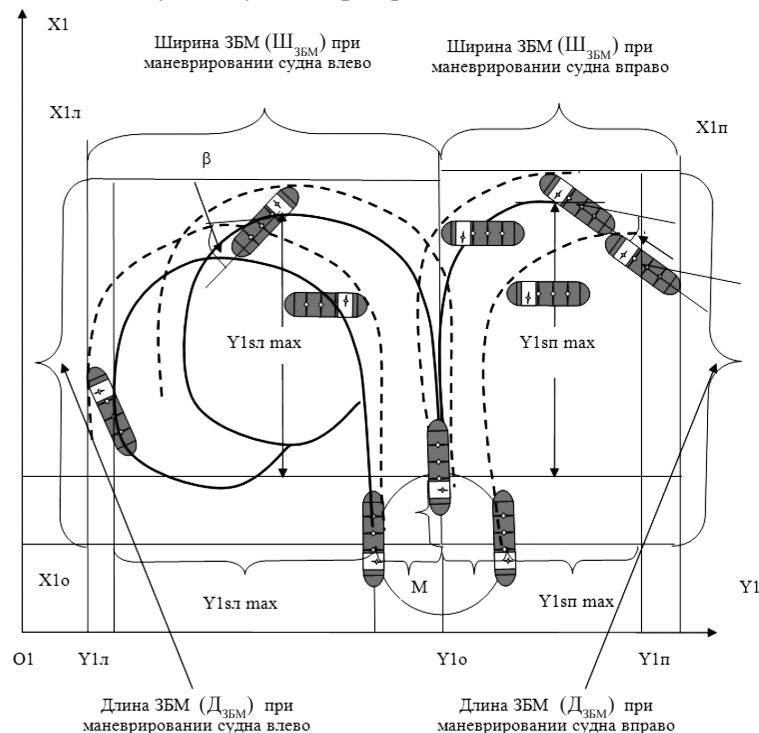


Рис. 6. Определение координат зоны безопасного маневрирования судна в неподвижной системе координат $X1O1Y1$

Движение кормовой оконечности относительно ЦТ при различных углах дрейфа судна β может оказывать существенное влияние на параметры ЗБМ, особенно для судов больших размеров. Максимальные координаты движения ЦТ судна с учетом движения кормовой оконечности в неподвижной системе координат $X1O1Y1$ можно вычислить из соотношений, объединяющих кинематические характеристики движения судна в подвижной системе координат, связанной с судном (xoy), и неподвижной системе координат $X1O1Y1$ (рис. 7):

$$X1_n = X1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^t (v_x(t) \cos \text{ИК}(t) - v_y(t) \sin \text{ИК}(t) - v_t(t) \cos \gamma_t) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta \right) \right\};$$

$$X1_n = X1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^t (v_x(t) \cos \text{ИК}(t) - v_y(t) \sin \text{ИК}(t) - v_t(t) \cos \gamma_t) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta \right) \right\}; \quad (15)$$

$$Y1_n = Y1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^t (v_y(t) \cos \text{ИК}(t) + v_x(t) \sin \text{ИК}(t) + v_t(t) \cos \gamma_t) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta \right) \right\},$$

$$Y1_n = Y1_0 - M - \max \left\{ \left(\int_0^t (v_y(t) \cos \text{ИК}(t) + v_x(t) \sin \text{ИК}(t) + v_t(t) \cos \gamma_t) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta \right) \right\},$$

где $v_y(t)$, $v_x(t)$ — проекции скорости движения судна на подвижные оси координат, связанные с судном (xoy), м/с; $\text{ИК}(t)$ — истинный курс судна, град.; v_t — скорость течения, м/с; γ_t — направление течения, град.; t — интервал (время) интегрирования, с.

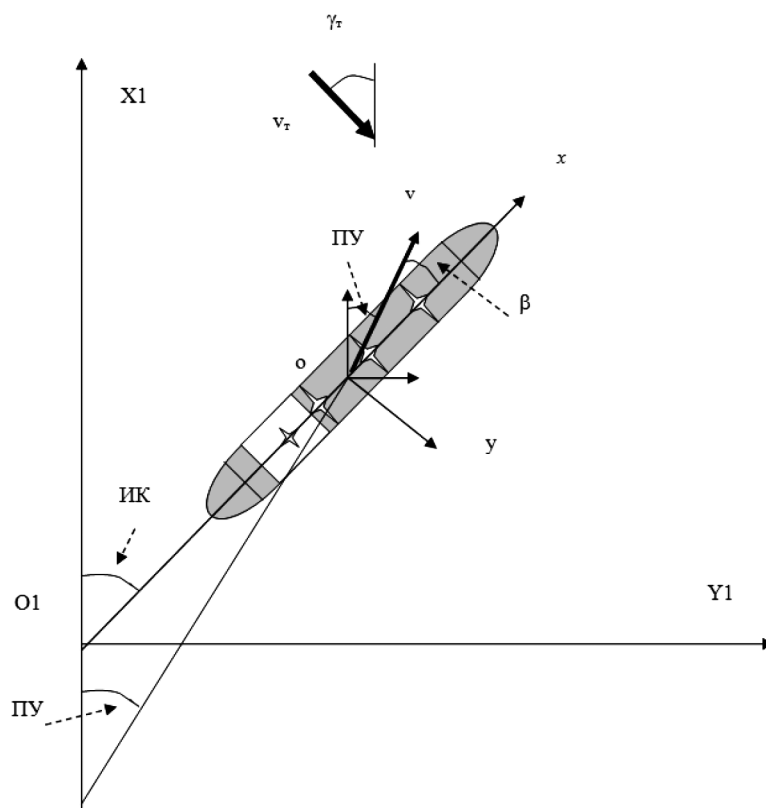


Рис. 7. Движение судна относительно подвижной (xoy) и неподвижной системы координат $X1O1Y1$

Выражения (15) получены исходя из предположения о том, что за время маневра судна скорость и направление течения не изменились. При решении практических задач интервал инте-

гирирования t удобно принимать равным, соответственно, 3 мин (180 с), 6 мин (360 с) или времени окончания маневра.

Для определения «трехминутной» ($t = 180$ с) ЗБМ судна выражения (15) примут вид:

$$\begin{aligned}
 X1_{\pi} &= X1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{180} (v_x(t) \cos \text{ИК}(t) - v_y(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\}; \\
 X1_{\pi} &= X1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{180} (v_x(t) \cos \text{ИК}(t) - v_y(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\}; \\
 Y1_{\pi} &= Y1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{180} (v_y(t) \cos \text{ИК}(t) + v_x(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\}; \quad (16) \\
 Y1_{\pi} &= Y1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{180} (v_y(t) \cos \text{ИК}(t) + v_x(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\},
 \end{aligned}$$

где $0 < t < 180$ с.

ЗБМ судна за 6 мин ($t = 360$ с) маневра на правый (п) и левый (л) борт может быть определена в виде:

$$\begin{aligned}
 X1_{\pi} &= X1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{360} (v_x(t) \cos \text{ИК}(t) - v_y(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\}; \\
 X1_{\pi} &= X1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{360} (v_x(t) \cos \text{ИК}(t) - v_y(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\}; \\
 Y1_{\pi} &= Y1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{360} (v_y(t) \cos \text{ИК}(t) + v_x(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\}; \quad (17) \\
 Y1_{\pi} &= Y1_0 + M + \max \left\{ \left(\int_0^{360} (v_y(t) \cos \text{ИК}(t) + v_x(t) \sin \text{ИК}(t) - v_{\tau}(t) \cos \gamma_{\tau}) dt + \frac{L}{2} \sin \beta + \frac{B}{2} \cos \beta_{\pi} \right) \right\},
 \end{aligned}$$

где $0 < t < 360$ с.

Зона ЗБД, как было определено ранее, представляет собой зону, в пределах которой судно сохраняет свой курс и скорость. Таким образом, ЗБД представляет собой частный случай ЗБМ при $v_y(t) = \text{const}$, $v_x(t) = \text{const}$, $\text{ИК}(t) = \text{const}$.

Характеристики маневрирования в виде ЗБМ и ЗБД, рассчитанные в течение определенного промежутка времени, которые могут быть использованы для решения задач оценки безопасности движения судна и опасности столкновения в узкостях, могут применяться в перспективных видах навигационной техники, так как позволяют оценивать не только движение, но и возможное маневрирование судна.

На начальном этапе внедрения данной технологии в качестве ЗБМ могут использоваться параметры зоны экстремального маневрирования, входящей в Таблицу маневренных характеристик каждого судна в соответствии с Резолюцией ИМО А.601 (15) — см. рис. 1. По мере накопления информации о других судах могут рассчитываться конкретные ЗБМ и ЗБД каждого судна для использования в перспективных навигационных средствах (СРАП, РЛС, БРЛС и др.) при оценке безопасности движения судов в узкостях и при решении задач расхождения судов.

Результаты (Results)

В статье предлагается использование зон безопасного движения и безопасного маневрирования судна для решения проблем обеспечения безопасности движения судов в узкостях и задач расхождения судов. Данный способ использования ЗБМ и ЗБД судна позволяет учитывать не только текущее движение судна, но и его возможное маневрирование за определённый промежуток времени, который можно выбрать равным промежутку вектора движения судна, используемого в современных САРП и РЛС для прогнозирования движения судна и решения задач расхождения. Дополнение этого вектора движения судна параметрами ЗБД и ЗБМ может быть использовано для более точной оценки опасности движения судна в узкости и опасности столкновения для развития навигационной техники и применения в перспективных навигационных средствах (САРП, РЛС, БРЛС).

В предлагаемом исследовании рассматриваются способы определения параметров ЗБД и ЗБМ в течение определённого промежутка времени, а также предлагается на первом этапе внедрения использовать параметры зоны экстремального маневрирования, входящего в информацию о маневренных характеристиках каждого судна (Таблица маневренных элементов) в соответствии с требованиями Резолюции ИМО А.601(15). По мере накопления информации о других судах могут рассчитываться конкретные ЗБМ и ЗБД каждого судна для использования в перспективных навигационных средствах (САРП, РЛС, БРЛС и др.) при оценке безопасности движения судов в узкостях и решении задач расхождения судов. Предлагаемый способ использования маневренных характеристик судна для оценки безопасности движения судов в узкостях может быть применен в том числе для перспективных «беспилотных» судов, управляемых без участия человека.

Обсуждение (Discussion)

Несмотря на развитие современных технологий и проникновение их практически во все сферы деятельности современного морского судна, включая навигацию, управление судном, его механизмами и устройствами, расхождение с другими судами, а также другие проблемы, связанные с навигационными авариями и столкновениями судов в узкостях, остаются актуальными для современного флота.

Проблемам повышения безопасности судов в узкостях было посвящено много работ [1]–[5], [8]–[12], однако наиболее перспективным является использование нейронных сетей в решении задач мореплавания [13]–[16]. Существенным недостатком способов, предлагаемых в этих работах, является то, что они не полностью учитывают параметры возможного маневрирования судов при оценке безопасности движения и решении задач расхождения в узкостях.

В настоящей статье предлагается способ учета параметров маневрирования судна при решении задач обеспечения безопасности судов в узкостях, который может быть использован в развитии судовой навигационной техники, в том числе предназначенной для контроля безопасности движения и решения задач расхождения судов (БРЛС, САРП, РЛС и др.), в том числе для судов, управляемых без участия человека. В общем случае может быть предложено понятие ЗБМ судна, определяемое как часть акватории, внутри которой судно может избежать непосредственной опасности только своим маневром. Другое понятие ЗБД судна может быть определено как зона, в пределах которой судно имеет возможность осуществлять безопасное движение, сохраняя свои курс и скорость.

Параметры зон, в которых судно может осуществлять свое безопасное движение (параметры ЗБД) и / или избегать непосредственной опасности только своим маневром (параметры ЗБМ), применяя для этого в случае необходимости свои экстремальные возможности: реверсирование, уход на циркуляцию с наибольшим углом перекладки руля и другие, зависят от размеров судна, его маневренных характеристик, состояния моря, наличия ветра, течения, оборудования судна ВРШ или ВФШ, загрузки судна, наличия и размеров его палубного груза, скорости движения, осадки носом и кормой и многих других факторов.

Размеры акватории с достаточными глубинами, обеспечивающие безопасность судна в различных ситуациях, должны предоставлять судну возможность движения с постоянным курсом и скоростью, позволять маневрировать в случае возникновения опасности, а при необходимости

обеспечивать возможность выполнения экстремального маневрирования во избежание непосредственной опасности определяются параметрами ЗБД и ЗБМ конкретного судна. Также использование ЗБД и ЗБМ позволяет судоводителю планировать и осуществлять маневры для расхождения с учетом маневренных возможностей как своего, так и других судов.

Предлагаемый в настоящей статье способ использования ЗБД и ЗБМ для оценки безопасности движения судов в узкостях и решения задач расхождения судов может быть использован в том числе для перспективных «беспилотных» судов, управляемых без участия человека.

Выводы

1. Предлагаемый в настоящей статье способ, основанный на использовании параметров ЗБД и ЗБМ для решения проблем обеспечения безопасности движения в узкостях и задач расхождения судов, может применяться при создании новой и развитии существующей навигационной техники (СРАП, РЛС, БРЛС и др.).

2. Предлагаемый способ использования ЗБМ и ЗБД судна позволяет учитывать не только текущее движение судна, но и его возможное маневрирование в течение определенного промежутка времени, который может быть равен промежутку вектора движения судна, используемого в современных СРАП и РЛС для прогнозирования движения судна и решения задач расхождения.

3. Характеристики маневрирования в виде ЗБМ и ЗБД, рассчитанные в течение определённого промежутка времени, могут быть использованы при решении задач оценки безопасности движения судна и опасности столкновения в узкостях в перспективных видах навигационной техники, так как позволяют оценивать не только движение, но и возможное маневрирование своего и другого судна (судов).

4. На первом этапе внедрения ЗБМ рекомендуется использовать параметры зоны экстремального маневрирования, входящего в информацию о маневренных характеристиках каждого судна (Таблицу маневренных элементов) в соответствии с требованиями Резолюции ИМО А.601(15).

5. По мере накопления информации о других судах могут рассчитываться конкретные ЗБМ и ЗБД каждого судна для их дальнейшего использования в перспективных навигационных средствах (СРАП, РЛС, БРЛС и др.) при оценке безопасности движения судов в узкостях и решении задач расхождения судов.

6. Предлагаемый способ использования маневренных характеристик судна для оценки безопасности движения судов в узкостях может быть использован в том числе для перспективных «беспилотных» судов, управляемых без участия человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев С. И. Полифакторный анализ процесса предупреждения столкновения судов / С. И. Кондратьев, А. Л. Боран-Кешишьян // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 2 (21). — С. 7–13.
2. Некрасов С. Н. Определение навигационных рисков при имитационном моделировании управления судном при проходе узкости / С. Н. Некрасов, К. И. Ефимов, Д. В. Трененков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 1 (23). — С. 34–36.
3. Бурмака И. А. Управление группой судов в ситуации опасного сближения / И. А. Бурмака, А. Ю. Булгаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 1–13.
4. Некрасов С. Н. Вычисление гарантированного курса расхождения при опасности сближения вплотную / С. Н. Некрасов, Д. В. Трененков, К. И. Ефимов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 1 (29). — С. 1–15. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-1-15.
5. Некрасов С. Н. Навигационные риски буксировки судна в стесненных навигационных условиях / С. Н. Некрасов, К. И. Ефимов, Д. В. Трененков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 13–19.

6. Ершов А. А. Использование зон безопасного расхождения для движения судов на подходах к портам и внутренних водных путях // Сб. науч. тр. проф.-преп. сост. ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2014. — С. 6–13.

7. Паринов П. П. Новые способы обеспечения безопасного движения судов в Большом порту Санкт-Петербург и на подходах к порту: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19; защищена 21.12.2010; утв. 12.06.2011 / Петр Петрович Паринов. — СПб., 2010. — 120 с.

8. Ершов А. А. Разработка системы интеллектуальной поддержки судоводителя для снижения опасности столкновений судов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.19; защищена 19.11.2012; утв. 20.05.2013 / Андрей Александрович Ершов. — СПб., 2012. — 366 с.

9. Hasegawa K. On harbor maneuvering and neural control system for berthing with tug operation / K. Hasegawa, T. Fukutomi // Proc. 3rd International Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft. — 1994. — Pp. 197–210.

10. Kijima K. A. Ship Manoeuvring Motion in the Proximity of Pier / K. Kijima, Y. Furukawa // Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC'94). 3rd International Conference. — Southampton, UK, 1994. — Pp. 211–222.

11. Zubova A. A. Methodology for the Ship to Ship Hydrodynamic interaction Investigation Applying the CFD Methods / A. A. Zubova, D. V. Nikushchenko // Proceedings of the 11th International Conference on Hydrodynamics (ICH 2014). — Singapore, 2014. — Pp. 328–340.

12. Zubova A. A. Hydrodynamic interaction phenomena investigations during the ship overtaking maneuver for marine related simulators with the use of CFD methods / A. A. Zubova, D. V. Nikushchenko // Proceedings of International Conference on Marine Simulation and Ship Manoeuvrability 2015 (MARSIM 2015). — Curran Associates, Inc., 2016. — Pp. 672–684.

13. Guliyev N. J. On the approximation by single hidden layer feedforward neural networks with fixed weights / N. J. Guliyev, V. E. Ismailov // Neural Networks. — 2018. — Vol. 98. — Pp. 296–304. DOI: 10.1016/j.neunet.2017.12.007.

14. Haykin S. S. Neural Networks and Learning Machines / S. S. Haykin. — Third Edition. — Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2009. — 906 p.

15. Дерябин В. В. Нейро-нечёткая модель счисления пути судна / В. В. Дерябин, А. Е. Сазонов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 1–16.

16. Дерябин В. В. Нейронная сеть как алгоритм прогноза скорости дрейфа судна // Вестник компьютерных и информационных технологий / В. В. Дерябин. — 2015. — № 6 (132). — С. 11–17. DOI: 10.14489/vkit.2015.06.pp.011-017.

REFERENCES

1. Kondrat'ev, S. I., and A. L. Boran-Keshish'yan. "Multifactorial analysis of ships collision prevention process." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(21) (2013): 7–13.

2. Nekrasov, S. N., K. I. Efimov, and D. V. Trenenkov. "Navigational risks calculation when modeling of sailing through the narrows." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(23) (2014): 34–36.

3. Burmaka, I. A., and A. Yu. Bulgakov. "Management of the group of vessel in the situation of dangerous approach." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 1–13.

4. Nekrasov, S. N., D. V. Trenenkov, and K. I. Efimov. "Vychislenie garantirovannogo kursa raskhozhdeniya pri opasnosti sblizheniya vplotnuyu." *Vestnik Gosudarstvennogo uni-versiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(29) (2015): 1–15. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-1-15.

5. Nekrasov, S. N., K. I. Efimov, and D. V. Trenenkov. "Navigation risks towing in cramped navigational conditions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(28) (2014): 13–19.

6. Ershov, A. A. "Usage zones of safe passage in approaches to ports and inland waterways." *Sb. nauch. tr. prof.-prep. sost. GUMRF im. adm. S. O. Makarova*. SPb.: Izd-vo GUMRF imeni admirala S. O. Makarova, 2014: 6–13.

7. Parinov, P. P. *Novye sposoby obespecheniya bezopasnogo dvizheniya sudov v Bol'shom portu Sankt-Peterburg i na podkhodakh k portu*. PhD diss. SPb., 2010.
8. Ershov, A. A. *Razrabotka sistemy intellektualnoj podderzhki sudovoditelja dlja snizheniya opasnosti stolknovenij sudov*. Dr. diss. SPb., 2012.
9. Hasegawa, Kazuhiko, and T. Fukutomi. "On harbor maneuvering and neural control system for berthing with tug operation." *Proc. 3rd International Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft*. 1994: 197–210.
10. Kijima, K., and Y. Furukawa. "A Ship Manoeuvring Motion in the Proximity of Pier." *Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC'94). 3rd International Conference*. Southampton, UK, 1994: 211–222.
11. Zubova, A. A., and D. V. Nikushchenko. "Methodology for the Ship to Ship Hydrodynamic interaction Investigation Applying the CFD Methods." *Proceedings of the 11th International Conference on Hydrodynamics (ICHD 2014)*. Singapore, 2014: 328–340.
12. Zubova, A. A., and D. V. Nikushchenko. "Hydrodynamic interaction phenomena investigations during the ship overtaking maneuver for marine related simulators with the use of CFD methods." *Proceedings of International Conference on Marine Simulation and Ship Manoeuvrability 2015 (MARSIM 2015)*. Curran Associates, Inc., 2016: 672–684.
13. Guliyev, Namig J., and Vugar E. Ismailov. "On the approximation by single hidden layer feedforward neural networks with fixed weights." *Neural Networks* 98 (2018): 296–304. DOI: 10.1016/j.neunet.2017.12.007
14. Haykin, S. S. *Neural Networks and Learning Machines*. Third Edition. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2009.
15. Deryabin, V. V., and A. E. Sazonov. "Neuro-fuzzy vessel's dead reckoning model." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S.O. Makarova* 4(32) (2015): 1–16.
16. Deryabin, V.V. "Neural Network Algorithm of Vessel's Drift Speed Prediction." *Herald of computer and information technologies* 6(132) (2015): 11–17. DOI: 10.14489/vkit.2015.06.pp.011-017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ершов Андрей Александрович —
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: ershov_63@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru
Михневич Андрей Викторович — аспирант
Научный руководитель:
Ершов Андрей Александрович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_mus@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ershov, Andrey A. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: ershov_63@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru
Mikhnevich, Andrey V. — postgraduate
Supervisor:
Ershov, Andrey A.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_mus@gumrf.ru

*Статья поступила в редакцию 13 сентября 2018 г.
Received: September 13, 2018.*