

**ELECTRONIC CHARTS: DEVELOPMENT OF THE MULTIPURPOSE MODEL
FOR CROSS TRACK LIMIT DETERMINATION****A. R. Shoshin**Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

According to the requirements of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS-74) vessels must be equipped with Electronic Chart Display and Information System (ECDIS). This equipment is designed to improve safety of navigation and definitely has a number of indisputable advantages over the paper charts navigation. At the same time use of ECDIS requires navigators to have a sufficient level of competency for professional operation. Inadequate setting of safety parameters as well as incorrect interpretation of information from the display can lead to an accident. The determination of cross track limit (XTL) value as one of the route safety parameters in ECDIS is considered in the paper. Some companies navigational procedures are studied; it has been found out that companies have individual requirements regarding XTL value and they can vary. The issue of XTL value determination was recently studied and the authors of the previous research had proposed their own method of XTL calculation. This method is analysed in the paper and it has been concluded that this method is applicable for determining minimum XTL value, however in order to find the optimal value it is necessary to consider ship particulars and characteristics of a specific waterway as well as company requirements for under-keel clearance. The model structure, which integrates this information, is proposed in the paper, and the previously proposed method is used within the model. The model developed by the author is flexible: the input values can be adjusted, which allows to assess the safety of any size ship passage through any waterway. The incorporation of bottom contour information into the model through a piecewise function enables to assess the under-keel clearance for any values of XTL and to determine dangerous values of cross-track distance in particular conditions. The main disadvantage of the model is a necessity to define the piecewise function which adequately corresponds with the actual depth distribution in the waterway analysed, which restricts the application of this model to natural waterways with a difficult terrain of the bottom. It should be noted that with particular input values some «borderline cases» can take place, when the safety of passage is doubtful. In order to solve these uncertainties, the model can be later upgraded by including experts' opinions with the use of fuzzy logic methods.

Keywords: safety of navigation, cross track limit, navigation, electronic charts, multipurpose model, safety management system, under keel clearance, shipping, grounding, narrow channel transit.

For citation:

Shoshin, Artur R. "Electronic charts: development of the multipurpose model for cross track limit determination." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.5 (2022): 676–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-676-690.

УДК 656.61.052**ЭЛЕКТРОННЫЕ КАРТЫ: РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОЙ ШИРИНЫ
ИНТЕРВАЛА БОКОВОГО СМЕЩЕНИЯ****А. Р. Шошин**ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В основе предлагаемого исследования находятся положения Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74), предписывающие оснащение судов оборудованием ЭКНИС¹. Отмечается, что использование ЭКНИС призвано обеспечить безопасность мореплавания, обладает по сравнению с навигацией «на бумажных картах» рядом преимуществ. Подчеркивается, что профессиональное

¹ ЭКНИС — электронно-картографическая навигационно-информационная система.

использование электронных карт предполагает наличие у вахтенных помощников достаточной компетенции, позволяющей избежать неверного восприятия информации с дисплея или некорректной настройки ключевых параметров, которые могут привести к аварии. В статье рассмотрен вопрос определения допустимой величины бокового смещения судна (XTL) как одного из ключевых параметров маршрута в ЭКНИС. В процессе проведения настоящего исследования были изучены процедуры СУБ¹ нескольких компаний. Отмечается, что требования к величине XTL индивидуальны и могут различаться. Вопрос определения ширины «коридора» смещения был рассмотрен в недавнем исследовании [9], авторы которого также указывают на отсутствие единых рекомендаций по определению величины XTL и предлагают собственный метод ее вычисления. В настоящей статье выполнен анализ предложенного метода и установлено, что с его помощью можно определить минимальную величину XTL, но для подбора оптимального значения для конкретных условий необходимо учитывать габариты судна и размеры определенного водного пути, а также требования компании к запасу глубины под килем. Представлена структура модели, в которой эта информация объединена и дополняет предложенный ранее метод. Предложенная в исследовании модель является гибкой: путем изменения входных данных может быть дана оценка проходимости любого судна через любой водный путь. Включение информации о характере распределения глубин при помощи кусочно-линейной функции позволяет оценить запас воды под килем при любых значениях смещения судна и определить величину опасного смещения в конкретных условиях. Главным недостатком модели является необходимость построения функции, которая будет достоверно отражать распределение глубин на участке водного пути, что ограничивает ее применение для естественных водоемов со сложным рельефом. Следует отметить, что при определенных исходных данных могут возникать «пограничные случаи», когда безопасность перехода вызывает сомнения. Для разрешения таких неопределенностей модель в дальнейшем может быть модернизирована путем включения экспертных оценок при помощи аппарата нечеткой логики.

Ключевые слова: безопасность мореплавания, величина бокового смещения, навигация, судовождение, электронные карты, универсальная модель, система управления безопасностью, запас под килем, посадка на мель, плавание в узкости, мореплавание.

Для цитирования:

Шошин А. Р. Электронные карты: разработка универсальной модели для определения допустимой ширины интервала бокового смещения / А. Р. Шошин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 5. — С. 676–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-676-690.

Введение (Introduction)

Согласно требованиям Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (SOLAS-74, гл. V Правило 19.2.10) оснащение оборудованием ЭКНИС морских судов, задействованных в международных переходах, является обязательным. Исключение составляют суда валовой вместимостью менее 10000 рег. т, построенные до 1 июля 2013 г., которые не являются судами танкерного типа.

Переход от бумажных карт к электронной навигации явился началом современного этапа судовождения. Распространение ЭКНИС имеет цель создать условия для повышения безопасности мореплавания: снижение нагрузки на судоводителя за счет автоматизации рутинных задач и объединение ключевой навигационной информации на дисплее позволяют вахтенному помощнику капитана (ВПКМ) практически непрерывно и более эффективно осуществлять процесс наблюдения, что повышает уровень владения ситуацией у ВПКМ [1], [2]. Данное оборудование обладает широкой функциональностью. К объективным преимуществам ЭКНИС по сравнению с бумажными картами относятся: непрерывное отображение местоположения судна, возможность настройки параметров безопасности и предупредительной сигнализации, возможность наложения радиолокационного изображения, значительная экономия времени при разработке маршрута и корректуре карт и др. [3].

При этом следует отметить, что ввиду сложности и многофункциональности оборудования, профессиональная эксплуатация ЭКНИС требует от судоводителя высокого уровня подготовки (в этом состоит один из основных недостатков работы с этой системой). При этом нельзя утверждать, что в настоящий момент судоводители используют функции ЭКНИС в равной степени часто и эффективно — прослеживается зависимость объема используемых функций от компетентности (должности) ВПКМ, их возраста, а также от производителя (модели оборудования могут отличаться

¹ СУБ — система управления безопасностью.

по функциональности) [4]. Многие судоводители с недоверием относятся к ЭКНИС и электронной картографии в целом, по-прежнему отдавая предпочтение работе с бумажными картами, считая их незаменимыми, однако с течением времени их мнение меняется в положительную сторону [5].

Недостаточная компетентность в области использования ЭКНИС может приводить к потенциально-опасным ситуациям и навигационным авариям. Это подтверждается выделением в международной статистике по авариям группы происшествий «ECDIS-related accidents», связанных с некорректным использованием ЭКНИС. Ошибки судоводителей при работе с электронными картами включают некорректную настройку ключевых параметров для проверки и обеспечения безопасности маршрута, среди которых *безопасная глубина (Safety Depth)*, *безопасный контур (Safety Contour)*, *допустимое смещение судна от оси маршрута (Cross-Track Limit (XTL))* и *радиус поворота (Turn Radius)*. Также высокая доля ошибок связана с настройкой звуковых предупреждений. Кроме того, часть аварий происходит из-за чрезмерного доверия к оборудованию, игнорированию или недостаточному пониманию конструктивных ограничений ЭКНИС [6]–[8].

В настоящей статье рассматривается вопрос выбора ширины «коридора безопасности» *XTL*, как одного из ключевых параметров, настраиваемых при построении маршрута. В ходе исследования были изучены требования к *XTL*, содержащиеся в СУБ нескольких современных судоходных компаний, а также выполнен обзор других исследований в области определения величины *XTL*. В частности, в исследовании [9] указывается, что в СУБ современных компаний отсутствует единый подход к определению величины *XTL*, при этом компании ограничиваются минимальными или максимальными значениями, оставляя судоводителю выбор и, как следствие, возможность ошибки. Авторами указанного исследования предлагается вычислительный метод определения ширины коридора *XTL*, который может эффективно использоваться для определения минимального значения ширины коридора бокового смещения. Однако для того, чтобы выполнить оценку безопасности судна в пределах коридора установленной ширины, необходимо учитывать не только габариты и характеристики судна, но и величину запаса под килем при различных вариантах смещения, а значит, необходима информация о распределении глубин на исследуемом участке маршрута.

Целью данной работы является построение модели, объединяющей информацию о размерах судна, габаритах водного пути, требованиях компании к запасу под килем и, таким образом, позволяющей оценить безопасность того или иного значения *XTL*.

Задачи настоящего исследования заключаются в анализе ранее предложенного метода, определении его преимуществ и недостатков, формировании структуры новой модели и определении ее ограничений.

Ранее отмечалось, что неправильная настройка ключевых параметров часто служит причиной морских аварий. Предложенная в настоящем исследовании модель позволяет произвести подбор оптимального значения *XTL* в зависимости от габаритов судна и рельефа на участке водного пути и может быть использована как на судне при планировании перехода, так и компаниями для разработки рекомендаций к величине *XTL* для конкретных судов и определенных районов плавания.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Параметр *XTL* используется при работе с оборудованием ЭКНИС как во время построения маршрута перехода, так и при выполнении рейса. Данную величину можно определить как максимально допустимое поперечное (боковое) смещение судна от оси маршрута в сторону левого или правого борта (рис. 1). Величина *XTL* задается отдельно для каждого борта и не обязательно означает половину ширины коридора.

В терминологии ЭКНИС также используется параметр *XTD (Cross Track Distance)*, означающий величину фактического смещения судна от оси маршрута в данный момент времени. При $XTD > XTL$ происходит выход судна за пределы коридора. Иногда термины *XTL / XTD* используются как взаимозаменяемые, что является не вполне корректным.

Настройка ограничения бокового смещения выполняет две функции. Первая функция *XTL* состоит в том, что при разработке маршрута в оборудовании ЭКНИС выполняется автомати-

ческая проверка на наличие опасностей, причем поиск опасностей производится только в пределах коридора установленной ширины. На рис. 1 опасности обозначены звездочками и пронумерованы. Так, при выполнении автоматической проверки опасность 1 будет определена ЭКНИС, и оператор (навигационный помощник) будет предупрежден о ней специальным сообщением. Необходимо учитывать, что при увеличении ширины коридора может быть идентифицировано большее количество опасностей, каждая из которых также будет сопровождаться сообщением, и для проработки маршрута в таком случае может потребоваться значительно больше времени.

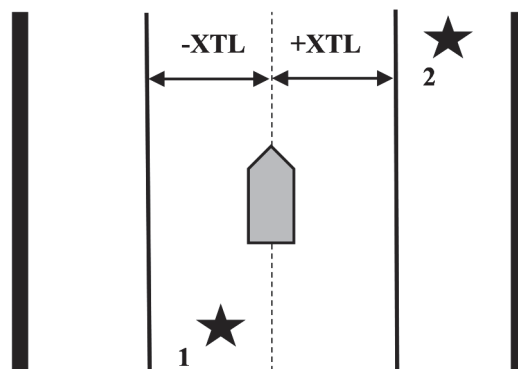


Рис. 1. Коридор бокового смещения XTL

Задачей навигационного помощника является построение безопасного маршрута. В идеале маршрутный коридор предполагаемого движения судна не должен содержать никаких опасностей. Поэтому намеренное увеличение ширины коридора в некоторых случаях может приводить к чрезмерному сближению с опасностями и, как следствие, к потенциально опасным ситуациям. Следует отметить, что опасность 2 расположена за пределами маршрутного коридора и при автоматической проверке определена не будет. В данном случае также следует отметить, что при просмотре карты на шкале более крупной, чем общий масштаб (*Compilation Scale*) символ опасности может быть значительно меньше ее реальных размеров, и часть опасности может лежать в пределах построенного коридора, представляя угрозу для судна.

Вторая функция XTL заключается в визуальной индикации маршрутного коридора на дисплее электронной карты: вахтенный помощник наблюдает положение судна относительно границ коридора и, доверяя безопасности установленной ширины, может маневрировать в пределах коридора, в том числе и приближаться к его границам. Выход судна за пределы маршрутного коридора, т. е. при $XTD > XTL$, будет сопровождаться специальным звуковым сигналом в соответствии с настройками оборудования ЭКНИС.

Очевидно, значение XTL должно быть таким, чтобы обеспечить достаточную ширину коридора: судно не может двигаться абсолютно прямолинейно вследствие рыскания, циркуляции, а также сноса из-за дрейфа или течения. Нельзя исключать случаи вынужденного изменения курса вследствие расхождения судов. Также в случае, если управление рулевым устройством выполняется вручную, то существует риск ошибки рулевого. Однако маршрутный коридор должен быть не только достаточно широким, но и безопасным на всем его протяжении вследствие чрезмерного увеличения ширины XTL . При этом, как отмечалось ранее, данный принцип может быть нарушен, и приближение к границам коридора может привести к потенциально-опасной ситуации или действительной посадке судна на грунт. При прохождении участков повышенной навигационной сложности (прибрежное плавание, плавание в узкостях) определение оптимальной величины XTL играет особую роль.

Несмотря на актуальность вопрос определения ширины XTL не освещается широко в научной литературе. Наиболее приближенным к данной теме является исследование [9], в котором указывается на факт отсутствия единых рекомендаций по определению величины XTL в СУБ современных компаний и предлагается новый метод определения ширины «безопасного коридора». В табл. 1 приведены выдержки требований СУБ нескольких современных компаний относительно величины XTL .

**Требования СУБ современных компаний
в отношении ширины маршрутного коридора *XTL***

Условия плавания	Значения <i>XTL</i>		
	Компания <i>A</i>	Компания <i>B</i>	Компания <i>C</i>
Открытое море / океанский переход	Не менее 1 морской мили	Не более 0,5 морских миль	Не менее 2 морских миль
Прибрежное плавание	Не менее 0,5 морских миль	Не более 0,2 морских миль	Безопасный максимум
Акватории порта, каналы	0,03–0,1 морских миль	Не более 0,1 морских миль	Безопасный максимум, но не менее 0,01 морских миль

Следует отметить, что компания *A*, согласно комментариям авторов [9], в большинстве случаев управляет крупнотоннажными судами, и требования в области *XTL* установлены именно для них. Компании *B* и *C* управляют флотом судов различного размера, включая крупнотоннажные суда типа VLCC/VLGC¹, и их требования, предъявляемые к ширине коридора безопасности, применимы ко всем судам без исключения.

«Безопасный максимум» в СУБ компании *C* означает соответствие рекомендациям в морских публикациях по работе с ЭКНИС, согласно следующему принципу: «*XTL* должен быть настолько широким, насколько это возможно, но при этом настолько узким, насколько это практически необходимо». При этом, разумеется, ширина коридора должна быть выбрана таким образом, чтобы свести к минимуму риск чрезмерного сближения с опасностями.

В отличие от СУБ компании *C* требования компаний *A* и *B* содержат опорные (минимальные и максимальные) значения *XTL*. Однако противоречия очевидны: компания *A* устанавливает значение минимальной ширины коридора, допуская его расширение согласно личному выбору судоводителя, а компания *B*, наоборот, устанавливает максимальную ширину, и навигационный помощник может выбрать только меньшее значение.

Авторами [9] указывается, что СУБ некоторых компаний содержит лишь общие рекомендации по выбору величины *XTL*, без «опорных» значений, а в некоторых компаниях требования *XTL* отсутствуют вовсе — в этом случае настройка данного параметра зависит исключительно от профессионализма судоводителя. Таким образом, к вопросу определения *XTL* современные компании подходят индивидуально, причем их требования могут быть диаметрально противоположными (единый подход и общие базовые рекомендации в этой области отсутствуют).

В исследовании [9] авторами предложен расчетный метод определения *XTL*, м, и выполнен его анализ. Выполнять вычисление ширины интервала бокового смещения предлагается по следующей формуле:

$$XTL = d_{zoc} + d_b + d_{pos} + d_{na} + d_{so}, \quad (1)$$

где d_{zoc} — точность местоположения согласно атрибуту CATZOC;

d_b — половина ширины судна;

d_{pos} — точность определения местоположения судна;

d_{na} — поправка на район плавания (из руководств компании или по мнению навигационного помощника или капитана);

d_{so} — поправка на ориентацию судна относительно оси маршрута.

Поправку d_{so} предлагается рассчитывать следующим образом:

$$d_{so} = \frac{(LOA \cdot \sin \alpha)}{2}, \quad (2)$$

где α — угол ориентации судна относительно оси маршрута.

¹ VLCC — Very Large Crude Carrier — тип крупнотоннажного нефтяного танкера;
VLGC — Very Large Gas Carrier — тип крупнотоннажного танкера-газовоза.

Следует отметить, что в целом формула (1) является справедливой. Действительно, для оценки положения судна относительно опасности (например, береговой черты) необходимо учитывать как точность картографических данных (*ZOC*), так и точность определения места самого судна, габариты судна и их приращения при изменении ориентации судна относительно оси маршрута (для определения минимальной ширины коридора смещения ни один из параметров не может быть исключен). В исследовании также показано, что наибольшее влияние на определение величины *XTL* оказывает точность батиметрической информации.

В терминологии ЭКНИС точность представления данных на карте (в частности значений глубин и местоположения глубин) характеризуется параметром *CATZOC* (*Category of Zone of Accuracy*), который «закодирован» в электронную навигационную карту в соответствии со стандартом S-67 и доступен для пользователя. Виды *CATZOC* в современных электронных картах указаны в табл. 2 [10].

Таблица 2

Категории зон доверия данным

ZOC	Точность местоположения глубины	Точность глубины		Степень покрытия зоны исследования
A1	$\pm 5 \text{ м} + 5 \% \text{ от } h$	0,5 м + 1 % от h		Произведено полное исследование области. Определены примечательные особенности морского дна, выполнен замер глубин
		Глубина, м	Точность, м	
		10	$\pm 0,6$	
		30	$\pm 0,8$	
		100	$\pm 1,5$	
		1000	$\pm 10,5$	
A2	$\pm 20 \text{ м}$	1 м + 2 % от h		Произведено полное исследование области. Определены примечательные особенности морского дна, произведен замер глубин
		Глубина, м	Точность, м	
		10	$\pm 1,2$	
		30	$\pm 1,6$	
		100	$\pm 3,0$	
		1000	$\pm 21,0$	
B	$\pm 50 \text{ м}$	1 м + 2 % от h		Не обеспечено полное покрытие зоны исследования. Не нанесенные на карту опасные для навигации участки не ожидаются, но могут существовать
		Глубина, м	Точность, м	
		10	$\pm 1,2$	
		30	$\pm 1,6$	
		100	$\pm 3,0$	
		1000	$\pm 21,0$	
C	$\pm 500 \text{ м}$	2 м + 5 % от h		Не обеспечено полное покрытие зоны исследования. Могут наблюдаться аномалии глубины
		Глубина, м	Точность, м	
		10	$\pm 2,5$	
		30	$\pm 3,5$	
		100	$\pm 7,0$	
		1000	$\pm 52,0$	
D	Хуже, чем для категории «C»	Хуже, чем для категории «C»		Не обеспечено полное покрытие зоны исследования. Могут наблюдаться крупные аномалии глубины
U	Неисследованная зона — степень качества данных неизвестна			

В настоящее время параметр *CATZOC* используется судоводителями при построении плана перехода и расчете запаса глубины под килем (*UKC*): учитываются «вертикальные» погрешности глубины и точность ее измерения. Для расчета *XTL*, в соответствии с формулой (1), используются «горизонтальные» погрешности, т. е. точность местоположения глубины. Точность определения местоположения судна d_{pos} не является постоянной величиной. Для непрерывного определения места судна используются ГНСС, погрешности которых зависят от многих факторов. Тем не менее информацию о минимальной погрешности можно получить из сопроводительных руководств производителя, а также необходимо руководствоваться требованиями

Резолюции ИМО А.1046 (27), согласно которым точность определения места не должна превышать 100 м при переходе в открытом море (океане), и 10 м — в акваториях порта, на подходах к порту и в прибрежном плавании [11].

Поправка на район плавания d_{na} , как отмечается в исследовании [9], определяется капитаном или устанавливается в соответствии с требованиями СУБ компании применительно к текущим условиям плавания. При этом следует заметить, что существующие требования компании (см. табл. 1) определяют не поправку, а конечное значение XTL . В качестве примера авторы использовали минимальные значения XTL , установленные в компании А, применив их как слагаемое-поправку. Это не противоречит требованиям данной компании, так как в ее СУБ определены лишь минимальные значения XTL . Рассматривая СУБ компании В аналогичный расчет выполнить нельзя, так как эта компания устанавливает максимальное значение XTL , которое невозможно использовать как поправку. В этом случае значение d_{na} будет выбрано навигационным помощником в соответствии с его опытом и согласовано с капитаном.

В качестве примера для рассчитаем XTL по формуле (1) для следующих условий:

- компания В (см. табл. 1);
- район плавания — судоходный канал;
- зона доверия данных А2;
- судно типа VLGC (длина 225 м, ширина 37 м);
- точность определения места судна не более 10 м;
- угол ориентации судна относительно оси маршрута $\alpha = 20^\circ$.

Чтобы оценить минимальное объективное значение XTL , поправку на район плавания d_{na} примем равной нулю.

Таким образом,

$$XTL_{\min} = d_{zoc} + d_b + d_{pos} + d_{na} + d_{so} = 20 + 18,5 + 10 + \frac{225 \sin(20^\circ)}{2} \approx 87 \text{ м.}$$

Значит, согласно требованиям компании В, значение XTL , м, должно находиться в следующих пределах:

$$XTL = [XTL_{\min} + d_{na}; 0,1 \text{ морская миля}] = [87 + d_{na}; 185].$$

Данные выполненного вычисления показывают, что применение формулы (1) не является конечным решением задачи определения величины XTL , так как в случае ограничения максимального значения XTL возникает неопределенность, которую при построении маршрутного коридора разрешает вахтенный помощник или капитан на основе собственного опыта. Таким образом, задача по определению величины XTL не является решенной полностью при использовании метода, предложенного авторами в исследовании [9].

Ранее отмечалось, что оптимальный подбор параметра XTL играет особую роль при плавании в условиях повышенной навигационной сложности, т. е. при наличии большого числа опасностей по маршруту (прибрежное плавание, подходы к порту) или в стесненных условиях (прохождение узкости), когда существует повышенный риск посадки судна на мель. Ввиду разнообразия судов и уникальности водных путей разработать одинаковые требования, применимые ко всем маршрутам для всех судов, не представляется возможным.

В данном исследовании предлагается построение новой модели, которая позволяет рассчитать XTL для конкретного участка водного пути, учитывая его характеристики (глубина, ширина, рельеф), характеристики судна, а также требования компании в области минимального запаса глубины под килем. Описание данной модели представлено далее.

Результаты (Results)

Связь между шириной коридора бокового смещения XTL и запасом под килем (UKC)¹ показана на рис. 2.

¹ UKC — Under Keel Clearance — вертикальное расстояние от нижней точки корпуса судна до грунта.

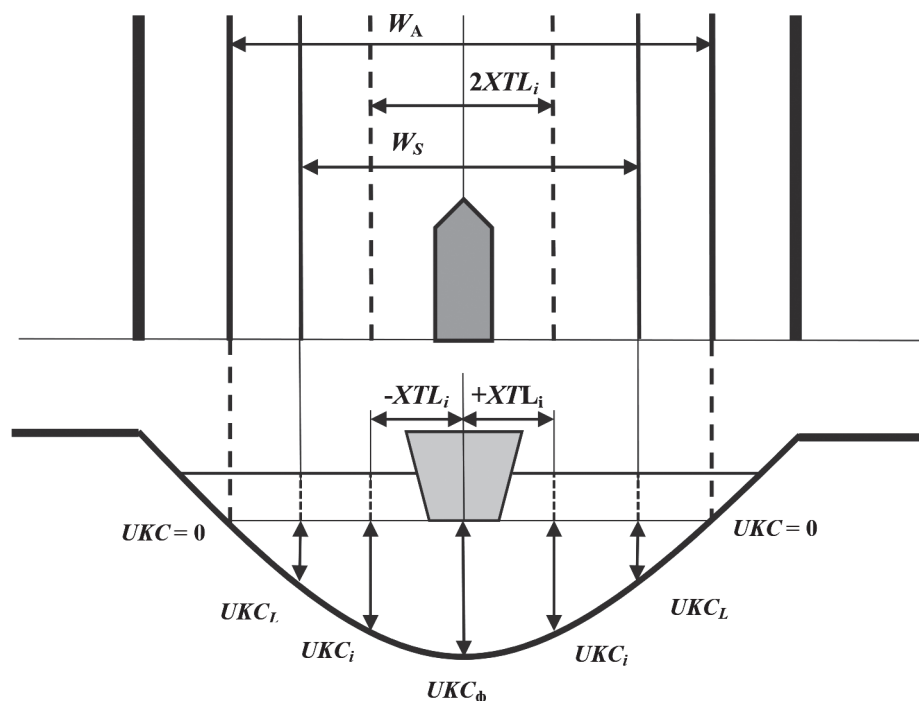


Рис. 2. Судно в узкости: вид сверху и в профиле узкости.

Запас глубины под килем (UKC), ширина коридора бокового смещения (XTL):
 W_A (*Actual Width*) — ширина водного пространства, в пределах которого судно с данной осадкой имеет запас воды под килем ($UKC > 0$); UKC_L (*Limit*) — минимальный запас воды под килем, который может иметь судно с данной осадкой в данном районе, согласно требованиям Компании; W_S (*Safe Width*) — ширина водного пространства, в пределах которого судно с данной осадкой имеет достаточный запас воды под килем, согласно требованиям Компании ($UKC_i \geq UKC_L$); UKC_i — произвольное значение запаса глубины под килем в пределах $[0; UKC_\phi]$ для судна с данной осадкой при смещении судна на величину $\pm XTL_i$ от оси маршрута; UKC_ϕ — наибольшее значение запаса глубины под килем для судна с данной осадкой (обычно в центре канала / фарватера); $2XTL_i$ — произвольное значение ширины коридора бокового смещения

Примечание. В условных обозначениях рис. 2 имеется в виду именно максимальная навигационная осадка.

Ранее при описании понятия XTL отмечалось, что ширина коридора бокового смещения должна быть выбрана таким образом, чтобы на протяжении всего коридора была обеспечена безопасность перехода. В данном случае таким критерием может служить наличие достаточного запаса воды под килем, т. е. XTL_i можно увеличивать до тех пор, пока по всей ширине коридора (особенно на его границах) будет соблюдаться условие $UKC_i \geq UKC_L$ для судна с данной осадкой.

Нарушение требований компании в области минимального запаса под килем создает потенциально опасную ситуацию и может привести к посадке на грунт. Построение и использование коридора, на границах которого нарушаются требования к UKC , создает для судоводителя ложное представление о безопасности маршрута и также может расцениваться как *потенциально опасная ситуация*. В качестве примера в табл. 3 приведены требования одной из современных компаний в области безопасного запаса воды под килем.

Таблица 3

Требования судоходной компании N в области UKC (минимального запаса под килем)

Условия плавания	UKC
Открытое море / океанский переход	100 % от максимальной навигационной осадки
Прибрежное плавание	15 % от максимальной навигационной осадки
Акватории порта, каналы	10 % от максимальной навигационной осадки

Расчет максимальной навигационной осадки $d_{\text{нав}}$ выполняется с использованием статической осадки и вычислением поправок на плотность воды, на угол бортовой качки (и крена при циркуляции) и на проседание судна. Таким образом, допустимая величина бокового смещения принципиально может быть рассчитана по формуле (1), однако для оценки возможности перехода через конкретный район, а также для подбора оптимального значения поправки $d_{\text{на}}$ необходимо учитывать характеристики водного пути и размерения судна.

Для выполнения такого анализа может быть построена модель, состоящая из блоков «Исходные данные», «Промежуточные расчеты», «Блок сравнений и поиска решения». Состав каждого из блоков рассмотрен далее.

Блок «Исходные данные»

Блок исходных данных в рассматриваемой модели включает следующие параметры:

- длина судна L ;
- ширина судна B ;
- статическая осадка в солёной воде $d_{\text{ст}}^{\text{сол}}$;
- плотность воды ρ ;
- коэффициент общей полноты C_b (для данной осадки);
- поправка для расчета осадки в пресной воде FWA;
- ожидаемый угол бортовой качки θ , в том числе крена при циркуляции;
- ожидаемая амплитуда килевой качки ψ ;
- скорость судна v ;
- угол ориентации судна относительно оси маршрута α ;
- погрешность определения местоположения судового приемника ГНСС d_{pos} ;
- зона доверия данным CATZOC Δ_{zoc} и соответствующая ей точность глубины (точность местоположения глубины) d_{zoc} ;
- район плавания (прибрежное плавание, плавание в узкости) — данная характеристика оказывает влияние на выбор применяемых формул и не является самостоятельной величиной, поэтому не требует обозначения;
- поправка на район плавания $d_{\text{на}}$;
- глубина на карте (ноль глубин) $H_{\text{к}}$, зависящая от смещения судна относительно оси маршрута (XTL), которая может быть описана функцией $H_{\text{к}} = f(XTL)$.

Данные исходные параметры позволяют выполнить расчет для разных типов судов и разных условий плавания путем изменения соответствующих параметров.

Блок «Промежуточные расчеты»

В данном блоке выполняются следующие промежуточные расчеты:

1. По формуле (1) рассчитывается минимальная ширина коридора бокового смещения XTL_{min} (для данного расчета поправка на район плавания $d_{\text{на}}$ принимается нулевой);
2. Расчет максимальной навигационной осадки $d_{\text{нав}}$ выполняется по следующей формуле:

$$d_{\text{нав}} = d_{\text{ст}}^{\text{сол}} + \Delta_{\rho} + \Delta_{\theta} + \Delta_{\nu}, \quad (3)$$

где Δ_{ρ} — поправка на плотность воды (мм), $\Delta_{\rho} = \frac{FWA(1,025 - \rho)}{1,025 - 1,000} \cdot \frac{1}{1000}$;

$d_{\text{ст}}^{\text{сол}} + \Delta_{\rho} = d_{\text{ст}}^{\rho}$ — статическая осадка судна при плотности ρ ;

Δ_{θ} — поправка на статический крен, $\Delta_{\theta} = \left(\frac{B}{2} \sin \theta + d_{\text{ст}}^{\rho} \cos \theta \right) - d_{\text{ст}}^{\rho}$;

Δ_{ν} — поправка на «просадку» судна, $\Delta_{\nu} = \frac{2v^2 C_b}{2}$.

3. В соответствии с требованиями компании определяется минимально допустимый запас под килем UKC_{min} . В качестве примера соответствующие требования приведены в табл. 3. Таким образом, $UKC_{\text{lim}} = 0,15d_{\text{нав}}$ для прибрежного плавания и $UKC_{\text{lim}} = 0,1d_{\text{нав}}$ для плавания в узкостях и акваториях портов.

4. Выполняется расчет минимальной глубины $H_{\min}$ на отрезке маршрута в коридоре, ограниченном $[-XTL_{\min}; XTL_{\min}]$:

$$H_{\min} = H_{\kappa} + \Delta_{\Pi} - \Delta_{\Phi} - \Delta_{\Theta} - \Delta_{\Psi} - \Delta_{\text{zoc}}, \quad (4)$$

где H_{κ} — глубина с карты; значение функции $H_{\kappa} = f(XTL)$ в точках $\pm XTL = XTL_{\min}$;

Δ_{Π} — поправка на высоту прилива в данном районе;

Δ_{Φ} — поправка на различные факторы среды (погодные условия, изменения глубины вследствие перемещений частиц грунта, например, «песчаные волны»);

Δ_{Θ} — поправка на динамический крен (бортовая качка), $\Delta_{\Theta} = \left(\frac{B}{2} \sin \theta + d_{\text{нав}} \cos \theta \right) - d_{\text{нав}}$;

Δ_{Ψ} — поправка на килевую качку, $\Delta_{\Psi} = \frac{\Psi}{2}$;

Δ_{zoc} — поправка на точность данных (в соответствии с зоной доверия CATZOC).

5. Рассчитывается минимальный запас под килем $UKC_{\min}$ на отрезке маршрута в коридоре, ограниченном $[-XTL_{\min}; XTL_{\min}]$:

$$UKC = H_{\min} - d_{\text{нав}}. \quad (5)$$

В данном блоке выполняется расчет минимального запаса глубины под килем в пределах минимальной расчетной ширины коридора XTL с учетом всех исходных данных и поправок, определенных в предыдущем блоке. При изменении значений входных параметров представленные промежуточные вычисления выполняются заново.

Блок «Сравнение и поиск решения»

В данном блоке выполняется сравнение величин, рассчитанных на предыдущем этапе, дается оценка безопасности маршрута с выбранным значением XTL , определяются контрольные значения XTL и UKC .

В случае, если на отрезке маршрута в интервале $[-XTL_{\min}; XTL_{\min}]$ расчетный запас под килем (пп. 5) оказывается меньше допустимого (пп. 3), т. е. $UKC_{\min} < UKC_{\text{lim}}$, то это означает, что требования компании в области минимального запаса воды под килем не соблюдаются на границах (или по всей ширине) маршрутного коридора — при текущих исходных данных переход через исследуемый участок изначально является опасным. Так как значение $XTL_{\min}$ определяет минимально допустимую ширину коридора безопасности (в соответствии с формулой (1) и условием $d_{\text{на}} = 0$) уменьшение XTL невозможно и необходимо провести дополнительное исследование, в результате которого должно быть определено следующее:

- могут ли быть изменены какие-либо факторы (например, скорость на участке), чтобы увеличить UKC ;
- будет ли наблюдаться сокращение UKC на границах коридора при увеличении его ширины XTL ;
- возможен ли переход судна при данной степени нарушения требований компании?

Чтобы принять окончательное решение относительно перехода в условиях нарушения требований компании, необходимо провести полную процедуру оценки рисков — плавание судна с изначально недостаточным запасом под килем имеет больше шансов закончиться посадкой на грунт при воздействии дополнительных факторов (например, погодных).

В случае, если на отрезке маршрута в интервале по ширине $[-XTL_{\min}; XTL_{\min}]$ требования компании в области UKC соблюдены ($UKC_{\min} \geq UKC_{\text{lim}}$), рассматривается дальнейшее расширение коридора на величину $d_{\text{на}i}$, и действия пп. 1–5 в блоке «Промежуточные расчеты» выполняются заново при новом значении $XTL_i = XTL_{\min} + d_{\text{на}i}$. Увеличение значения XTL должно быть прекращено, как только запас глубины под килем на границах коридора приблизится к минимально допустимому или величина XTL_i превысит установленный компанией максимум.

Следует отметить, что плавание судна на мелководье или в узкости, в принципе, является операцией повышенной опасности, и качественная оценка рисков должна в любом случае предшествовать выполнению такого перехода.

Структура и принцип работы модели представлены в виде блок-схемы на рис. 3.

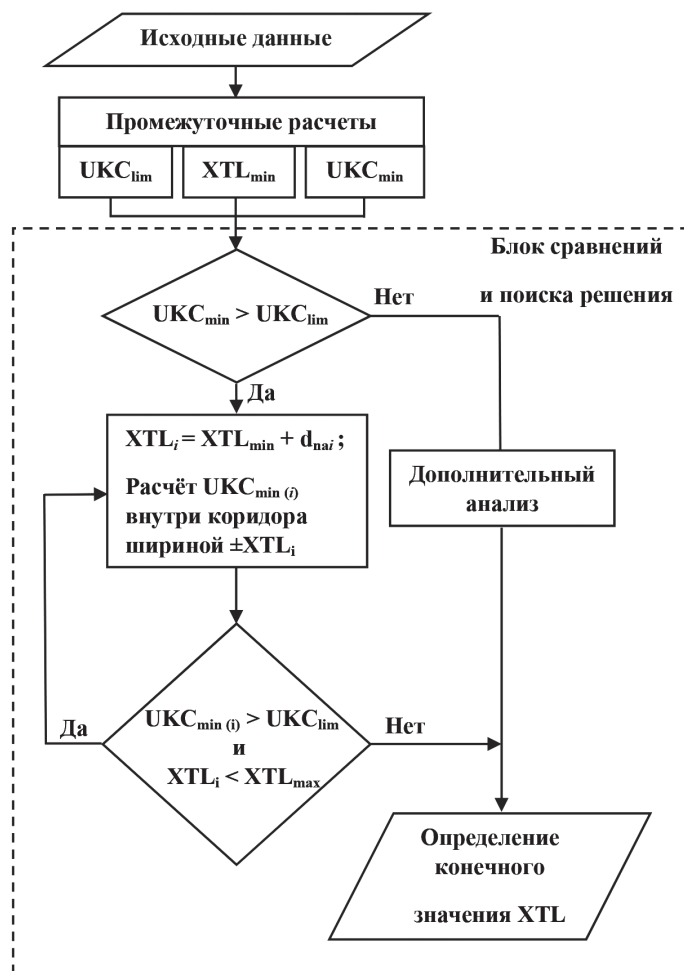


Рис. 3. Состав и принцип работы модели по расчету XTL (блок-схема)

Ранее отмечалось, что прежде всего рассчитывается значение XTL_{min} — минимальной ширины коридора бокового смещения, обусловленной габаритами судна и погрешностями местоположения судна и глубин, далее — минимальный запас под килем, ожидаемый в пределах коридора заданной ширины, затем выполняется оценка возможности прохождения судна через данный участок. В случае нарушения требований компании экспертами производится дополнительный анализ и устанавливается возможность перехода. В случае, если минимальный запас под килем в пределах коридора является достаточным, ширина коридора увеличивается на величину d_{na} и снова производится оценка запаса воды под килем в пределах расширенного коридора. Ширина коридора может быть увеличена до тех пор, пока в его пределах соблюдаются требования компании к UKC , или достигается максимальное значение XTL , установленное компанией (при его наличии). Техническая реализация данной модели возможна как в среде программирования на основе построения смешанного алгоритма (разветвляющегося, циклического), так и в среде Excel, где переход от одного блока к другому осуществляется оператором оператором.

Обсуждение (Discussion)

Главным преимуществом предложенной модели перед решением, представленным в исследовании [9], является математическое описание распределения глубин в профиле узкости, что дает возможность «геометрически» оценить проходимость того или иного водного пути судами различного размера.

Информация о типовом рельефе внедрена в модель через функцию $H_k = f(XTL)$. В качестве примера построим такую функцию для профиля Хьюстонского судоходного канала (США). На рис. 4 приведены проектные характеристики канала, содержащиеся в руководстве по транзиту через данный водный путь [12].

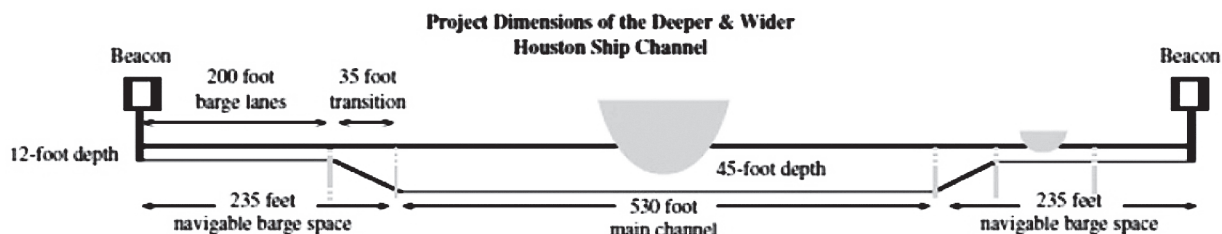


Рис. 4. Проектные характеристики водного пути Хьюстонского судоходного канала (США)

На основе глубин и расстояний, приведенных на рис. 4, может быть построена следующая функция распределения глубины $H_k = f(XTL)$ зависимости от поперечного смещения судна (футы следует перевести в метры при необходимости):

$$H_k(XTL) = \begin{cases} 12 \text{ фт при } XTL \in [-500; -300] \cup [300; 500]; \\ -\frac{33}{35} XTL + \frac{2064}{7} \text{ фт при } XTL \in [265; 300]; \\ \frac{33}{35} XTL + \frac{2064}{7} \text{ фт при } XTL \in [-300; -265]; \\ 45 \text{ фт при } XTL \in [-265; 265]. \end{cases}$$

Графический пример функции H_k показан на рис. 5.

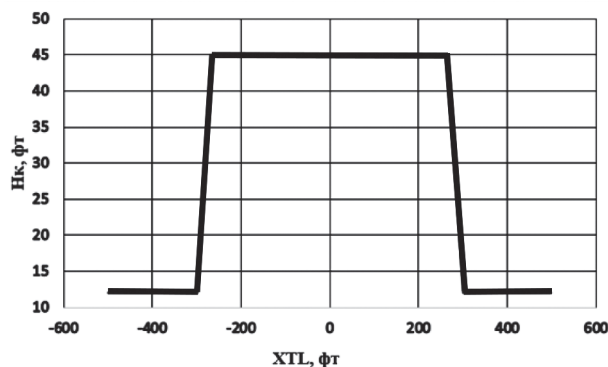


Рис. 5. График функции H_k

Функция H_k построена на основе следующих допущений:

1. Начало отсчета оси смещения (XTL) расположено на центральной оси фарватера, при этом ось предполагаемого маршрута также совпадает с центральной осью.
2. Профиль рельефа в канале симметричен относительно центральной оси.
3. Наибольшие глубины расположены по центру канала (фарватера).
4. Ось маршрута параллельна береговой черте.

Следует отметить, что горизонтальная ось сознательно обозначена XTL , а не XTD , как было бы корректнее. Это вызвано тем, что при оценке безопасности той или иной ширины коридора бокового смещения, реализуемой при помощи данной модели, рассматривается положение судна на границе коридора, устанавливаемого пользователем, которым и является XTL .

Разумеется, действительное распределение глубин не является однородным на всем протяжении водного пути, поэтому выполнить адекватное математическое описание рельефа не представляется возможным ввиду его сложности и изменчивости. На рис. 4 приведены проектные характеристики, которые должны поддерживаться при обслуживании канала, но это не означает, что именно такой рельеф присутствует на любом его участке, тем более, когда речь идет о естественном водоеме (например, реке). В этом случае построение функции распределения глубин будет затруднено из-за отсутствия проектных — «опорных» характеристик. Кроме того, современные электронные карты не содержат подробной информации о рельефе (например, распределение глубин в канале на ЭКНИС представлено полосами с указанием минимального значения глубины, и судоводитель может лишь оценить ширину безопасного водного пространства).

Предложенная в статье модель может использоваться как на борту судов, так и в компаниях для общей оценки безопасности перехода через тот или иной водный путь судами различных габаритов. Это может послужить основанием для разработки частных рекомендаций относительно величины XTL для перехода конкретных узкостей определенным типом судов, а также для построения полноценного маршрута через водный путь и его закреплении на уровне СУБ. Кроме того, модель может применяться для анализа проходимости судна через «отличительные» участки водного пути (например, более узкие или менее глубокие). Для получения информации о рельефе и дальнейшем построении функции H_k следует обращаться к картам свежих гидрографических промеров — материалы такого рода могут быть запрошены у агента или администрации порта / канала. В случае, если будет установлена проходимость данных участков, то более широкие и глубокие участки водного пути также могут быть безопасно пройдены.

Дальнейшая оптимизация модели предполагает внедрение экспертных оценок — в настоящей версии конечное значение XTL , которое может достигаться «перебором» поправки d_{na} . Опыт экспертов (например, капитанов, старших помощников или лоцманов) может учитываться при формировании рекомендаций по построению маршрута для перехода конкретного водного пути определенным типом судов. Также опыт экспертов может быть полезен при рассмотрении «пограничных» ситуаций (например, при возможном нарушении требований компании к минимальному запасу под килем). В соответствии с новой моделью такие случаи предполагают выполнение дополнительного анализа, а также проведение оценки рисков — использование опыта экспертов повысит эффективность как самих оценок, так и разработки мер по снижению риска и управлению им, что в целом будет способствовать повышению безопасности мореплавания.

Заключение (Conclusion)

Переход от использования бумажных карт к работе с оборудованием ЭКНИС послужил началом нового этапа в области судовождения. Использование данной системы призвано повысить безопасность плавания и имеет ряд преимуществ по сравнению с работой на бумажных картах: объединение и удобство представления ключевой навигационной информации, снижение нагрузки на судоводителя, настройка предупредительной сигнализации. Однако эффективность использования оборудования ЭКНИС в значительной степени зависит от компетентности вахтенного помощника в вопросах работы с данной системой — неверная интерпретация информации на дисплее или некорректная настройка параметров могут привести к аварии.

В настоящей статье рассмотрен вопрос об определении ширины маршрутного коридора XTL , при этом амплитуда бокового смещения судна должна быть ограничена таким образом, чтобы движение судна по коридору выбранной ширины было полностью безопасным с точки зрения наличия достаточного запаса под килем. В результате обзора литературы и проведенных исследований было установлено, что требования к XTL в процедурах разных компаний могут значительно отличаться друг от друга. Данное обстоятельство указывает на отсутствие единых рекомендаций к определению данной величины. Среди научных работ выделено исследование [9], в котором предлагается метод вычисления величины XTL .

Анализ предложенного метода показал, что формула (1) может применяться для расчета минимальной ширины коридора бокового смещения, однако для определения оптимального значения XTL для конкретных условий необходимо также оценивать запас воды под килем (для этого необходимо знать распределение глубин по ширине узкости). В настоящем исследовании предложена модель, объединяющая данную информацию. В построенной модели формула (1) используется для вычисления минимальной ширины коридора и ее дальнейшей настройки, однако модель также включает исходные данные о судне и математическое описание рельефа дна в профиле узкости, благодаря чему полученная система позволяет подобрать оптимальное значение XTL , при котором движение судна в пределах коридора данной ширины будет безопасным с точки зрения выполнения требований по UKC .

Описание распределения глубин через кусочно-линейную функцию позволяет выполнять оценку запаса глубины под килем при различных вариантах смещения судна. В качестве примера в статье использована схема типового распределения глубин в профиле Хьюстонского канала, однако подобное математическое описание рельефа естественных водных путей может быть затруднительным ввиду их сложности.

Предложенная в работе модель может использоваться как для общей оценки проходимости конкретного водного пути различными по размеру судами, так и для анализа «сомнительных» участков — в этом случае рекомендуется использовать карты гидрографических промеров для построения более достоверной функции распределения глубин. Дальнейшая работа над моделью может предполагать включение экспертных оценок — использование опыта экспертов будет особенно полезно для разрешения «пограничных» ситуаций, когда безопасность прохождения того или иного участка подвергается сомнению. Кроме того, учет мнений экспертов позволит повысить эффективность процедур оценки рисков, включая разработку мер по управлению риском, что будет способствовать повышению безопасности мореплавания в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Čolak M. Current Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS) In Use / M. Čolak, I. Toman, T. Bielić // Proceedings of the 7th International Maritime Science Conference. — Split, Croatia: Faculty of maritime studies split, 2017. — Pp. 474–480.
2. Asyali E. The Role of ECDIS in Improving Situation Awareness / E. Asyali // 13th Annual General Assembly of the International Association of Maritime Universities — Expanding Frontiers: Challenges and Opportunities in Maritime Education and Training. — AGA-IAMU, 2012. — Pp. 123–136.
3. Дорохин А. И. Использование ЭКНИС — как одна из мер повышения безопасности судоходства, перспективы для судов смешанного плавания / А. И. Дорохин, В. В. Волков // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (TRANSPORT 2021): Материалы II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Под редакцией Е. В. Чабановой. — Пермь: Пермский филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021. — С. 370–376.
4. Kum S. A case study for using operational ECDIS functions / S. Kum, B. A. Başar, Y. E. Şenol // Marine reports (MAREP). — 2022. — Vol. 1. — No. 1. — Pp. 13–25. DOI: 10.5281/zenodo.6594091.
5. Car M. The navigator's aspect of PNC before and after ECDIS implementation: Facts and potential implications towards navigation safety improvement / M. Car, D. Brčić, S. Žuškin, B. Svilicic // Journal of Marine Science and Engineering. — 2020. — Vol. 8. — Is. 11. — Pp. 842. DOI: 10.3390/jmse8110842.
6. Pipchenko O. Identification of weak links in the ECDIS-operator system based on simulator training / O. Pipchenko, O. Burenkov, M. Tsymbal, V. Pernykoza // TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. — 2021. — Vol. 15. — No. 1. — Pp. 83–88. DOI: 10.12716/1001.15.01.07.
7. Lušić Z. Human errors in ECDIS related accidents / Z. Lušić, M. Bakota, Z. Mikelić // Proceedings of the 7th International Maritime Science Conference. — Split, Croatia: Faculty of maritime studies split, 2017. — Pp. 230–242.
8. Turna Ć. A causative analysis on ECDIS-related grounding accidents / Ć. Turna, O. B. Öztürk // Ships and Offshore Structures. — 2020. — Vol. 15. — Is. 8. — Pp. 792–803. DOI: 10.1080/17445302.2019.1682919.
9. Kristić M. Zone of confidence impact on cross track limit determination in ECDIS passage planning / M. Kristić, S. Žuškin, D. Brčić, S. Valčić // Journal of Marine Science and Engineering. — 2020. — Vol. 8. — Is. 8. — Pp. 566. DOI: 10.3390/jmse8080566.

10. IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data. Publication S-57. Supplementary Information for the Encoding of S-57 Edition 3.1 ENC Data (S-57 Supplement No. 3). — Monaco: International Hydrographic Bureau, 2014. — 20 p.
11. Resolution A.1046(27). Worldwide Radionavigation System. — IMO, 2011 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.1046\(27\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.1046(27).pdf) (дата обращения: 15.06.2022).
12. Navigating the Houston Ship Channel: a reference for commercial users. — Houston-Galveston Navigation Safety Advisory Committee, 2011. — 20 p.

REFERENCES

1. Čolak, Marko, Ivan Toman, and Toni Bielić. "Current Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS) in Use." *Proceedings of the 7th International Maritime Science Conference*. Split, Croatia: Faculty of maritime studies split, 2017. 474–480.
2. Asyali, Ender. "The role of ECDIS in improving situation awareness." *13th Annual General Assembly of the International Association of Maritime Universities — Expanding Frontiers: Challenges and Opportunities in Maritime Education and Training*. AGA-IAMU, 2012. 123–136.
3. Dorokhin, A. I., and A. A. Volkov. "The use of ECDIS — as one of the measures to improve the safety of navigation, prospects for mixed navigation vessels." *Transport: problemy, tseli, perspektivy (TRANSPORT 2021): Materialy II Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Perm': Permskii filial FGBOU VO «VGUVT», 2021. 370–376.
4. Kum, Serdar, Bartu Alperen BAŞAR, and Yunus Emre ŞENOL. "A case study for using operational ECDIS functions." *Marine reports (MAREP)* 1.1 (2022): 13–25. DOI: 10.5281/zenodo.6594091.
5. Car, Maro, David Brčić, Srđan Žuškin, and Boris Svilicic. "The navigator's aspect of PNC before and after ECDIS implementation: Facts and potential implications towards navigation safety improvement." *Journal of Marine Science and Engineering* 8.11 (2020): 842. DOI: 10.3390/jmse8110842.
6. Pipchenko, O., O. Burenkov, M. Tsybal, and V. Pernykoza. "Identification of weak links in the ECDIS-operator system based on simulator training." *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 15.1 (2021): 83–88. DOI: 10.12716/1001.15.01.07
7. Lušić, Zvonimir, Mario Bakota, and Zoran Mikić. "Human errors in ECDIS related accidents." *Proceedings of the 7th International Maritime Science Conference*. Split, Croatia: Faculty of maritime studies split, 2017. 230–242.
8. Turna, İdris, and Orkun Burak Öztürk. "A causative analysis on ECDIS-related grounding accidents." *Ships and Offshore Structures* 15.8 (2020): 792–803. DOI: 10.1080/17445302.2019.1682919.
9. Kristić, Miho, Srđan Žuškin, David Brčić, and Sanjin Valčić. "Zone of confidence impact on cross track limit determination in ECDIS passage planning." *Journal of Marine Science and Engineering* 8.8 (2020): 566. DOI: 10.3390/jmse8080566.
10. IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data. Publication S-57. Supplementary Information for the Encoding of S-57 Edition 3.1 ENC Data (S-57 Supplement No. 3). Monaco: International Hydrographic Bureau, 2014.
11. Resolution A.1046(27). Worldwide Radionavigation System. IMO, 2011. Web. 15 June 2022 <[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.1046\(27\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.1046(27).pdf)>.
12. Navigating the Houston Ship Channel: a reference for commercial users. Houston-Galveston Navigation Safety Advisory Committee, 2011.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шошин Артур Романович — аспирант
Научный руководитель:
 Дерябин Виктор Владимирович —
 доктор технических наук, доцент
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: artshoshin@rambler.ru, kaf_nav@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Shoshin, Artur R. — Postgraduate
Supervisor:
 Deryabin, Viktor V. —
 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: artshoshin@rambler.ru, kaf_nav@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 26 августа 2022 г.
 Received: August 26, 2022.