

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-7-20

EDN EUJJNV

ENHANCING NAVIGATIONAL SAFETY ON LIMITING ROUTES OF INLAND WATERWAYS WITH 3D ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHARTS

V. V. Karetnikov, K. I. Efimov, A. A. Prokhorenkov

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

The review study focuses on piloting vessels on inland waterways that presents persistent challenges due to the influence of variable external factors on vessel passage. Under such conditions, a navigator must possess a clear understanding of the vessel's present state and anticipate its behavior over a predictive time horizon. Therefore, expertise in ship handling is critically important not only for navigating particularly challenging routes but also for routes where extremely low water levels necessitate a reduction in the ship's maximum draught and require minimal ship speed. Routes affected by low water levels, which require a reduction of the permitted draught, are considered limiting routes. These routes, due to their length, can include sections that are difficult to navigate. Extremely low water levels, coupled with unpredictable currents and winds, can amplify the influence of external factors on a vessel. A navigator's thorough assessment of prevailing navigation conditions influenced by external factors is paramount for ensuring the navigational safety of the voyage. A potentially transformative approach to enhance navigational safety is the use of 3D electronic navigational charts (ENCs). Successfully performing essential navigation duties on limiting inland waterways requires proper assessment of modern methods of electronic chart use, and potentially modifying existing methods to perform specific navigation tasks in new ways.

Keywords: inland waterways, piloting, reduced draught, navigation equipment, high-tech cartographic data, Electronic Navigational Charts (ENCs), navigational safety, navigational and hydrographic conditions, hydrometeorological conditions.

For citation:

Karetnikov, Vladimir V., K. I. Efimov and A. A. Prokhorenkov "Enhancing navigational safety on limiting routes of inland waterways with 3D electronic navigational charts." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.1 (2025): 7–20. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-7-20.

УДК 656.628

ПОВЫШЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ ПО ЗАТРУДНИТЕЛЬНЫМ ДЛЯ СУДОХОДСТВА УЧАСТКАМ ВВП ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ 3D ЭЛЕКТРОННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ

В. В. Каретников, К. И. Ефимов, А. А. Прохоренков

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

Темой обзорного исследования являются особенности выполнения проводки судна по внутренним водным путям, сопряженной со значительными сложностями, вызванными следованием судов в условиях воздействия переменных внешних факторов. Отмечается, что в таких условиях каждый судоводитель должен иметь четкое понимание того, что происходит с судном, находящимся под его управлением не только на текущий момент времени, но и о том, что будет происходить с ним в течение некоторого упреждающего интервала времени. Рассмотрены особенности следования судна как по отдельным участкам ВВП, являющимся затруднительными для судоходства, так и по участкам с характерными для ВВП условиями плавания, требующими при пониженном уровне воды снижения значения проходной осадки судна и минимальной

скорости его движения. Отмечается, что участки, на которых снижение уровня воды вызывает необходимость ограничения проходимой осадки, следует также относить к затруднительным для судоходства. Обращается внимание на то, что снижение уровня воды не исключает влияние неправильных течений, которые в совокупности с действием ветра приводят к возрастанию степени влияния внешних факторов на судно. Полнота оценки судоводителем текущих условий плавания, обусловленных внешними факторами, определяет навигационную безопасность проводки. Отмечается, что одним из радикальных способов повышения навигационной безопасности плавания является применение 3D электронных навигационных карт. Подчеркивается, что внедрение на флоте новой аппаратуры, позволяющей эффективно решать задачи безопасной проводки судна по затруднительным для судоходства участкам, требует проведения исследования методов ее применения, и при необходимости может возникнуть необходимость модифицировать их для выполнения конкретных прикладных задач судовождения.

Ключевые слова: внутренние водные пути, проводка судов, уменьшенная осадка, навигационное оборудование, высокотехнологичные картографические данные, навигационная безопасность, навигационно-гидрографические условия, гидрометеорологические условия.

Для цитирования:

Каретников В. В. Повышение навигационной безопасности плавания по затруднительным для судоходства участкам внутренних водных путей при использовании 3D электронных навигационных карт / В. В. Каретников, А. А. Прохоренков, Ю. Г. Андреев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 1. — С. 7–20. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-7-20. — EDN EUJNV.

Введение (Introduction)

Затруднительными для судоходства принято считать такие участки внутренних водных путей (ВВП), которые представляют сложности для проводки судов в течение всей навигации, в том числе в период ее продления, вызванного изменчивостью гидрологического режима. Вопрос поддержания гарантированных глубин может решаться с использованием различных методов, таких, например, как дноуглубление, изменение режимов попусков воды с гидроэлектростанций, изменение расстановки знаков берегового и плавучего навигационного оборудования [1]–[3], использование высокотехнологичных картографических данных [4], [5]. Судоводители являются первыми, кто сталкивается с необходимостью обеспечения безопасности судоходства, они предпринимают повышенные меры предосторожности для проводки судов по таким участкам. Несмотря на наличие существующих методик расчета безопасной скорости судна и параметров его движения с учетом влияния внешних факторов [6], [7] среди основных эффективных мер следует отметить следование судна с уменьшенной осадкой и на минимальной скорости для снижения влияния мелководья.

В районах ВВП со сложными навигационно-гидрографическими и гидрометеорологическими условиями высокоэффективным современным техническим средством судовождения является система отображения электронных навигационных карт и информации (СОЭНКИ). Среди основных качественных преимуществ использования СОЭНКИ в судовождении следует выделить интеграцию данных о движении судна от большого количества датчиков, как внешних, таких как ГНСС, так и автономно работающих на судне, таких как гирокомпас, лаг, эхолот, а также автоматизацию информации, получаемой на основании математической обработки навигационных измерений, и адаптивность работы с навигационно-гидрографической и гидрометеорологической информацией. Несмотря на значительные преимущества работы с СОЭНКИ по сравнению с работой с информацией на бумажных носителях минимальные временные рамки для анализа и принятия решения о выполнении маневра судоводителем, а также объективная сложность установленных процедур работы необходимо отметить следующие недостатки:

- низкая пространственно-временная дискретность некоторых видов навигационно-гидрографической и гидрометеорологической информации;
- перегруженность карты при отображении всех слоев нагрузки карты или высокая плотность отображения отдельных категорий объектов, и, как следствие, сложность чтения карты и, соответственно, визуального ориентирования по карте;

– задержки при необходимости получения оперативной навигационной информации, требующей следования многоступенчатым алгоритмам для задания соответствующих параметров настроек.

Повысить осведомленность судоводителя об условиях плавания на затруднительных для судоходства участках можно за счет работы СОЭНКИ в режиме отображения 3D электронных навигационных карт (ЭНК).

Целью исследования является анализ применения 3D электронных навигационных карт ЭНК для повышения навигационной безопасности плавания по затруднительным для судоходства участкам внутренних водных путей. Важными задачами являются: рассмотрение возможности учета влияния эффектов мелководья при низких уровнях воды по 3D ЭНК, рассмотрение новых методов использования навигационного оборудования применительно к затруднительным для судоходства участкам ВВП, оценка функциональных особенностей 3D ЭНК применительно к специфике судовождения по ВВП, оценка фактических маневренных возможностей судна 3D ЭНК.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Влияние эффектов мелководья при низких уровнях воды. Влияние мелководья проявляется в гидродинамическом взаимодействии не только между корпусом судна и кромками судового хода, но и элементами пространственных навигационных опасностей, а также подводным рельефом. Управляя судном в таких условиях, судоводитель контролирует особенности движения судна «рывками». На прямолинейных участках особенности такого движения проявляются в увеличении амплитуды и периода рысканья, а также возникновении отдельных зарыскиваний судна на углы, превышающие допустимую амплитуду. При прохождении криволинейных участков ощущается влияние мелководья на начальную поворотливость, когда возникают сложности при вхождении судна в поворот, так что при перекладке руля на максимальный угол возрастание угловой скорости происходит медленно. При выходе на прямолинейный участок значительно снижается способность к одерживанию, когда происходит резкое зарыскивание судна.

Продолжительные понижения уровня воды могут наблюдаться также на тех участках, которые за счет навигационно-гидрографических условий (НГУ) и гидрометеорологических условий (ГМУ) плавания считаются затруднительными. Среди характерных сложностей НГУ следует отметить значительную извилистость судового хода, что вызывает сложность применения береговых знаков навигационного оборудования, наличие узкого судового хода в русле значительной ширины, расположение навигационных опасностей сложной формы вблизи кромок судового хода, наличие участков, где гарантированные габариты поддерживаются за счет проведения периодических дноуглубительных работ. Сложность ГМУ определяется действием на одном и том же участке значительных по величине течений, действием неправильных течений, а также значительными колебаниями уровня воды, вызывающими изменение течений как по модулю, так и по направлению.

Участки, на которых проявляется влияние эффектов мелководья при низких уровнях воды, не обязательно относятся к затруднительным, но они могут простираются далеко за пределы участков, затруднительных для судоходства. Таким образом, при снижении уровня воды могут возникать участки значительной протяженности, при проводке по которым суда следуют с предельно-допустимой осадкой и на минимальной скорости. Управление судном в таких условиях оказывает дополнительную нагрузку как на экипаж в целом, так и в особенности на судоводителей, требуя проведения дополнительных мероприятий, направленных на повышение осведомленности судоводителей о фактическом состоянии НГУ и ГМУ.

Особенности навигационного оборудования и методов его использования применительно к затруднительным для судоходства участкам ВВП. Проводка судна по ВВП осуществляется методом визуальной навигации, основанном на определении местоположения и движения судна относительно плавучих и береговых знаков навигационного оборудования. Основной целью оценки местоположения судна является получение не координат места, а местоположения судна в маршрутной системе, т. е. знание бокового отклонения от оси судового хода и дистанции до точки поворота.

Визуальная оценка направлений и дистанций выполняется по прямым линиям, в то время как судовой ход имеет многочисленные криволинейные участки с переменными радиусами и изобатами неправильной формы на прямолинейных участках. Таким образом, судовой ход представляет собой неправильную и поэтому сложную геометрическую фигуру, визуальную моделируемую плавучими и береговыми знаками навигационного оборудования с некоторой достаточной для целей судоходства степенью подобия. Запомнить и удерживать в памяти такую сложную геометрическую фигуру с учетом особенностей не только надводной, но и подводной обстановки является на практике сложно реализуемой задачей.

Система навигационного оборудования ВВП предусматривает использование береговых и плавучих знаков навигационного оборудования. Береговые знаки, как наиболее надежные, создают визуальные поля навигационных параметров, оценивая которые судоводитель может определять местоположение и параметры движения судна относительно границ и направлений судового хода. Плавучие знаки принято считать менее надежными ввиду возможности смещения, однако ориентирование по ним также существенно повышает осведомленность судоводителя о положении навигационных опасностей. Наблюдение за движением судна относительно группы плавучих знаков навигационного оборудования позволяет осуществлять контроль их нахождения на штатных местах, а определение местоположения и параметров движения существенно повышает точность проводки судна. Знаки навигационного оборудования выставляются в соответствии с проверенными схемами таким образом, чтобы в каждый момент времени в поле зрения судоводителя находилось несколько знаков, позволяющих однозначно определять местоположение и направление движения судна относительно направлений и границ судового хода.

Положение судового хода, ввиду сложных гидрологических процессов, может меняться как в течение продолжительных периодов, охватывающих несколько навигаций, так и неоднократно в течение одной навигации [1], [2]. Изменчивость положения судового хода, соответственно, делает необходимым изменять места установки плавучих знаков для сохранения степени подобия между опасными изобатами, ограничивающими судовой ход, и пространством, обозначаемым знаками навигационного оборудования. При таких условиях плавания важным фактором является выбор оптимальной схемы берегового навигационного оборудования, а также мониторинг фактических НГУ и распространение соответствующей информации для обеспечения безопасности судоходства.

При изменении положения судового хода судоводители должны иметь четкое представление о таких изменениях, которые могут проявляться в снижении фактических габаритов судового хода (глубина, ширина, радиус закругления), а также изменении направлений на прямолинейных участках. Таким образом, возникает сложная практическая задача, состоящая в подборе знаков навигационного оборудования, на которые следует ориентироваться в соответствующий период навигации. Решение данной задачи при работе с 3D ЭНК может быть выполнено различными способами в зависимости от степени детализации, необходимой судоводителю, которая обеспечивается способностью 3D ЭНК одновременно освещать надводную и подводную динамическую обстановку, использованием автоматизированных настроек, масштабированием и навигацией по картографическому пространству [8].

Выполняя наблюдение с использованием 3D ЭНК, судоводитель может не только удостовериться в правильном положении самих знаков, но и оценить отдельные особенности ограждения конкретных навигационных опасностей, что является важным для проводки судна по затруднительным для судоходства участкам. 3D ЭНК позволяет не только визуальным образом определять не только положение судового хода применительно к фактическому уровню воды, но и область наибольших глубин в пределах судового хода, а также области опасных глубин в случае снижения уровня воды, когда область опасных глубин применительно к осадке выбранного судна выходит за пределы области, обозначенной кромочными знаками плавучего навигационного оборудования¹.

¹ SRT plc group. Pilotage out of Poole: demonstration video. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vimeo.com/59227199> (дата обращения: 05.12.2024).

Оценка области включает определение ее геометрических размеров, особенностей геометрической конфигурации, местоположения относительно плавучих и береговых ориентиров, а также особенности подводного рельефа в пределах области, выходящей за пределы зоны, обозначенной кромочными знаками плавучего навигационного оборудования (рис. 1). Все это позволяет определить траекторию движения судна так, чтобы навигационные опасности находились на расстоянии, достаточном для оценки местоположения и движения судна и принятия решения о выполнении маневра. При отклонении судна от безопасной траектории судоводитель на основе информации, полученной в процессе визуального наблюдения, имеет возможность оценить особенности влияния внешних факторов и скорректировать движение судна применительно к данным обстоятельствам и условиям плавания. При значительном сближении с кромкой судового хода не рекомендуется резко изменять курс для того, чтобы вывести судно на ось, поскольку при повороте корма будет стремиться сблизиться с кромкой. Поэтому корректировка курса для выхода на ось судового хода выполняется плавно под небольшим углом, оценка таких важных для выполнения этого маневра параметров, как пространство между бортом судна и областью опасных глубин, а также кратчайшее расстояние от отдельных опасностей до оконечности судна выполняются по 3D ЭНК.

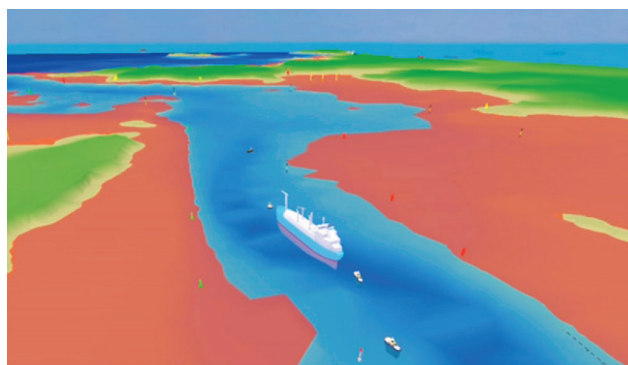


Рис. 1. Пример 3D ЭНК, отображающей область опасных глубин применительно к осадке выбранного судна

При проводке судна по затруднительным для судоходства участкам при лимитирующем влиянии уровня воды важной информацией, получаемой с 3D ЭНК, является положение оконечности судна относительно точки начала или окончания поворота, траектории движения, движение оконечностей судна относительно оси и кромок судового хода (необходимо знать судоводителям в случае чрезмерного уклонения судна или значительного влияния внешних факторов). Для оценки кратчайших дистанций удобно использовать пространственный символ собственного судна, отображаемый в масштабе карты (см. рис. 1), так как он дает возможность выполнять сравнительный анализ дистанций по любому направлению применительно к известным размерам судна [9]. Такое ориентирование обеспечивает возможность выполнения судоводителями заблаговременной и правильной визуальной оценки обстоятельств и условий, в которых находится судно, и принятия решения на маневр.

При проводке судна по ВВП отображение 3D ЭНК в СОЭНКИ позволяет не только уверенно ориентироваться по знакам навигационного оборудования, но и выполнять требования по управлению судном, нарабатывая хорошую судоводительскую практику. При следовании по прямолинейным участкам работа СОЭНКИ в режиме отображения 3D ЭНК повышает точность следования по створам с использованием наиболее надежного типа навигационного оборудования. При уклонении судна от линии створа дополняют оценку положения судна по плавучим и береговым знакам навигационного оборудования, отображают навигационную информацию для осуществления пердикции управления рулем так, чтобы не допустить значительной амплитуды рыскания и обеспечить точность оценки местоположения судна. При выполнении поворотов в процессе подхода к точке поворота повышают точность удержания курса судна так,

чтобы не допустить как значительного бокового отклонения в сторону поворота, так и зарыскивания в сторону, противоположную повороту. Это обеспечит плавный переход со створа на створ с учетом управляемости судна применительно к преобладающим обстоятельствам и условиям плавания, позволит регулировать скорость судна и работу движителями так, чтобы обеспечить его хорошую управляемость, особенно при переходах со створа на створ.

В процессе выработки 3D ЭНК новых видов навигационной информации делают все необходимое для того, чтобы охарактеризовать системы, способные отображать карты, поддерживающие принятие решений по управлению и маневрированию судном, что может быть полезно как для проводки по ВВП в общем, так и в особенности для проводки по участкам, затруднительным для судоходства [10].

Функциональные особенности 3D ЭНК применительно к специфике судовождения по ВВП. Использование 3D ЭНК в судовождении позволяет изменить учет фактора масштаба карты. При работе со стандартными ЭНК большое внимание уделяется проверке отображения карты в оригинальном масштабе и подстройке масштаба под цели решаемых судоводителем задач. При недомасштабировании, т. е. отображении карты в масштабе, меньшем оригинального, возникает перегруз информацией, когда высокая концентрация картографической информации особенно отличительных глубин делает карту нечитаемой. Задание оригинального масштаба карты не всегда позволяет устранить этот недостаток, вызывая необходимость управления нагрузкой карты за счет отключения отображения слоев картографической информации или отдельных классов объектов. Для более детальной оценки картографической информации возникает необходимость отображения карты в масштабе, большем оригинального. При этом возникает эффект перемасштабирования карты, проявляющийся в отсутствии увеличения количества отображаемой картографической информации ввиду достижения предела точности.

При использовании 3D ЭНК для целей судовождения отсутствует необходимость отслеживания масштаба отображения карты ввиду высокого качества исходных картографических данных. Автоматическая генерализация данных о глубинах при их высокой плотности достигается за счет градиентной наполняемости изображения, когда при просмотре карты с точки обзора, расположенной выше уровня воды, области больших и малых глубин визуально различаются за счет тонального градиента, а при просмотре подводной обстановки из точки обзора ниже уровня воды можно наблюдать как глубины, так и элементы подводного рельефа, разграниченные гармоничным градиентным представлением. При этом высокая заметность области опасных глубин (рис. 2) обеспечивается за счет сочетания цветов создающих контрастный градиентный переход².

СОЭНКИ осуществляет контроль безопасности плавания в автоматическом режиме по параметрам, которые могут задаваться судоводителем на определенный период либо применительно к конкретным обстоятельствам и условиям плавания. При работе СОЭНКИ в режиме отображения 3D ЭНК за счет заданных математических алгоритмов и на основании периодического обновления данных о фактическом уровне воды формируется область опасных глубин применительно к осадке конкретного судна, отображение которой в существенной степени способствует визуальной оценке.

Большая часть интерфейса при работе СОЭНКИ в режиме отображения 3D ЭНК занимает область просмотра карты, отображающая графическую информацию, оценка которой за счет высокой точности, качества отображения и простоты управления выполняется судоводителем визуально, что очевидно при сравнении с 3D ЭНК, отображающей навигационную обстановку в общем виде (рис. 2, а), а также с областью опасных глубин применительно к осадке конкретного судна (рис. 2, б). Несмотря на это автоматизированные алгоритмы, интегрированные в СОЭНКИ, осуществляют непрерывный контроль проводки судна по маршруту и навигационной безопасности плавания. В дополнение к визуальному мониторингу движения судна как относительно элементов

² SRT plc group. GeoVS Viewer — Hoegh Osaka grounding in Southampton 3-Jan-2015: instant replay in GeoVS Viewer / 3D VTS display based on the AIS data. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://vimeo.com/115963050> (дата обращения 05.12.2024).

маршрута, так и навигационных опасностей, предусмотрен периодический контроль отдельных параметров. Для этой цели вырабатываемые численные данные могут отображаться в специальном окне, место отображения которого в интерфейсе программы может изменяться при помощи выполнения простых действий судоводителя, чтобы не затруднять наблюдения за важной картографической информацией и состав отображаемых данных мог подстраиваться под выполнение конкретных задач судоводителя.

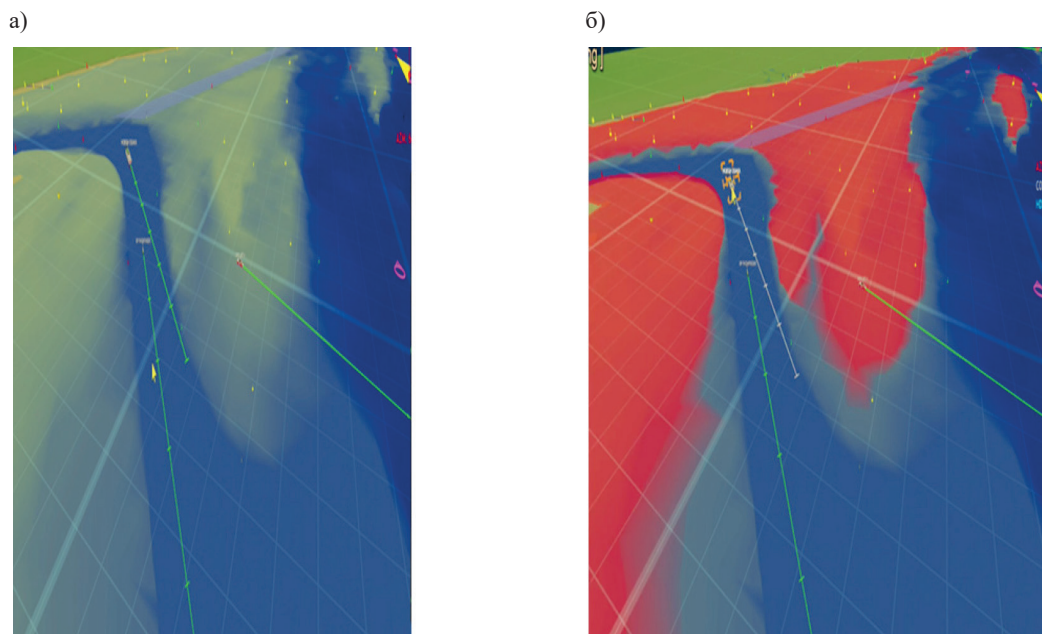


Рис. 2. Область просмотра 3D ЭНК, отображающая навигационную обстановку:
а — в общем виде; б — с областью опасных глубин применительно к осадке конкретного судна

При работе СОЭНКИ в режиме отображения 3D ЭНК сохраняется возможность визуального отображения элементов контроля следования судна по маршруту и навигационной безопасности. Среди элементов маршрута следует отметить линию пути судна согласно предварительной прокладке, включающей отображение радиусов поворота, линии допустимого отклонения по перпендикуляру к линии пути для прямолинейных и криволинейных участков, путевые точки, точки перекладки руля и начала поворота. Также предусмотрено отображение маршрутных данных в численном виде: расстояние, пеленг и расчетное время следования до ближайшей путевой точки; ожидаемое время прибытия в эту точку; направление и поправку к текущему курсу для выхода в эту точку; текущее направление линии пути и следующее за ним направление согласно предварительной прокладке, а также боковое смещение от линии пути.

Визуальный контроль навигационной обстановки можно выполнять за счет отображения вектора скорости судна в выбранном масштабе времени, векторов скорости носовой и кормовой оконечности, маневровой полосы, занимаемой судном, зоны навигационной безопасности, рассчитываемой в соответствии со строгими математическими алгоритмами и по заданным судоводителем параметрам. Для визуального контроля движения судна по намеченному пути предусмотрена функция визуализации на карте границ допустимого бокового отклонения по перпендикуляру к линии пути. В случае отклонения от линии пути сверх заданного предела, а также при подходе к точке поворота используется сигнализация для того, чтобы судоводитель мог заблаговременно подготовиться к маневрированию.

Отличительной особенностью работы СОЭНКИ в режиме отображения 3D ЭНК является отображение области опасных глубин, что значительно сокращает количество необходимых настроек, так как при этом отпадает необходимость задавать значения безопасной глубины и изобаты. Судоводитель может воспользоваться функцией для определения на карте областей опасных

глубин (областей с глубиной, меньшей или равной глубине безопасности судна). Приближение судна, согласно карте, к области опасных глубин может контролироваться визуально, но при достижении параметрами безопасности значений менее заданных СОЭНКИ выдаст звуковое предупреждение, сопровождаемое визуальной индикацией, отображаемое в отдельном окне в области просмотра карты. Для независимого от обновления данных об уровне воды контроля запаса воды под днищем СОЭНКИ сопрягается с эхолотом, что позволяет выводить информацию о глубинах на экран в виде кривой рельефа дна. Информация эхолота сохраняется системой и может быть воспроизведена при проигрывании навигационной ситуации в записи.

Судоводитель на основании успешного опыта выполнения проводок судна имеет в памяти визуальные образы положения корпуса судна, видимого с ходового мостика в ключевые моменты проводки, т. е. перед подходом к точке начала крутого поворота или одерживании при выходе на новый прямолинейный участок фиксирует в памяти положение судна относительно ориентиров при следовании в условиях сильных свальных течений, положение судна относительно плавучих навигационных знаков при прохождении мест разделения судового хода, при заходе на участок, имеющий меньшие габариты с участка, имеющего большие габариты. При получении информации, основанной на визуальном наблюдении за движением судна, судоводитель анализирует ее в соответствии с имеющимися знаниями, интегрируя в свой опыт. Информация при этом может быть недостаточно точной ввиду того, что движение судна подвержено влиянию большого количества внешних факторов, действующих одновременно. При этом оценить влияние каждого из них не представляется возможным, так что такую информацию можно охарактеризовать как *неопределенную и неоднозначную*.

Визуальные образы, сформированные при работе с 3D ЭНК, освещающих одновременно надводную и подводную обстановку, помогают судоводителю контролировать проводку судна по лимитирующим судоходство участкам как в общем, так и при прохождении отдельных участков, требующих повышенного внимания. По мере запоминания визуальной информации в памяти судоводителя формируется спектр зрительных образов положения корпуса судна в ключевые моменты проводки, наблюдения и в дальнейшей перспективе.

Оценка фактических маневренных возможностей судна. Оценка навигационной безопасности проводки судна может выполняться априорно на основе существующих методик, результатами использования которых являются численные значения таких параметров движения судна, как безопасная скорость, максимальные углы суммарного дрейфа от ветра и течения, а также ширина маневровой полосы, занимаемой судном при движении. Такие расчеты могут быть выполнены как для типовых случаев движения судна, так и для нестандартных. Проведение численных расчетов дает возможность получить обоснованные ограничения, соблюдение которых позволит обеспечить высокий уровень навигационной безопасности плавания. Таким образом, при проводке судна в расчетных условиях такая проводка практически всегда окажется успешной. Численные расчеты позволяют оценивать безопасность проводки в условиях, когда судоводитель управляет судном при следовании по известному безопасному пути, не затрачивая времени на оценку внешних факторов.

При условии большого опыта проводки по некоторым участкам при наличии различных внешних воздействий, обстоятельств и условий плавания, не отличающихся от расчетных, судоводитель может управлять движительно-рулевым комплексом, практически не затрачивая времени на анализ внешних условий и достаточность действий, т. е. большинство решений и действий выполняются как бы механически. Это означает, что вне зависимости от особенностей использования средств управления судном оно может следовать по маршруту безопасно, при этом работа средств управления судном позволит обеспечить его движение с расчетными параметрами и осуществить данную проводку. Таким образом, оцениваемыми параметрами являются кинематические параметры движения судна без учета конкретных сил, обуславливающих параметры движения.

В условиях плавания, характерных для затруднительных для судоходства участков, судоводителю необходимо затратить время на оценку воздействия внешних факторов, оценить параметры движения, которые необходимо иметь судну для движения по безопасной траектории. Важным является оценка движения судна, а также факторы, обуславливающие такое движение не в абсолютной, а некой относительной системе. Так, при оценке прохождения судна вблизи навигационной опасности наибольшее значение имеет не знание поперечных скоростей движения оконечностей судна, а скорости отклонения судна от безопасной линии пути или скорость сближения с опасной изобатой и тенденции изменения этих параметров.

При выполнении поворота следует выполнять оценку достаточности величины перекладки руля, ориентируясь не только на некое эталонное значение угловой скорости, но и учитывая влияние внешних факторов в момент начала поворота, а также прогностическую оценку их изменения в процессе прохождения поворота. Следовательно, выбор конкретных приемов и способов управления судном может иметь определяющее значение в процессе обеспечения безопасности проводки судна, в особенности при следовании на минимальной скорости в условиях снижения гарантированных габаритов судового хода и в условиях неправильных течений, т. е. при сложных условиях плавания, характерных для затруднительных для судоходства участков.

В процессе принятия решений по управлению судном судоводитель основывается на оперативной навигационной информации, полученной на базе визуального наблюдения за движением судна и оценкой причин, вызывающих такое движение. Большой объем работы судоводителя при проводке судна по затруднительным для судоходства участкам выполняется для выработки оперативных решений по управлению судном. При этом не всегда остается время для их детального анализа, включая эффективность способа выполнения маневров либо эффективность отдельных действий по управлению движительно-рулевым комплексом (ДРК). Управление ДРК по некоторому известному алгоритму, ввиду воздействия внешних факторов, не приводит к движению судна по единственной безопасной траектории, поскольку таких траекторий должно быть несколько и каждая из них будет иметь особенности, обусловленные изменчивостью геометрии области опасных глубин в зависимости от фактического уровня воды. Таким образом, при проводке судна методом визуальной навигации возникает задача дополнения оценки ситуации информацией, позволяющей судоводителю оценивать влияние на движение судна сил, создаваемых органами управления, и сил от воздействия внешних факторов, одновременно выполняя действия по коррекции его движения.

Архитектура оснащения ходовых мостиков современных судов электроникой предполагает наличие многофункциональных дисплеев (рис. 3), предназначенных для отображения различных видов информации, важной для судоводителя в ходе проводки судна³. Особенности работы средств управления судном могут транслироваться на многофункциональных дисплеях отображения работы средств управления, воздействия внешних факторов и параметров движения судна. Данные дисплеи имеют унифицированный интерфейс и отображают информацию упорядоченным образом, так что позволяют оценить движение судна не в абсолютном значении, а применительно к работе органов управления. При необходимости отображения данных в ином виде, обусловленном особенностями решаемых задач, структура отображения и состав информации могут быть сконфигурированы соответствующим образом. Функция конфигурирования отображения информации с учетом особых требований позволяет решить вопрос снабжения судоводителя всей необходимой навигационной информацией в зависимости от выполняемого маневра и обстоятельств плавания, а главное представить всю совокупность необходимых данных в удобном для восприятия и анализа виде.

Действия по управлению судном, предпринимаемые судоводителем, всегда имеют упреждающий характер и потому не полностью определяются реальным воздействием, оказываемым

³ OSI Marine Systems. Naval Operations Mobile Augmented Display [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://osimaritime.com/solutions/tdns/> (дата обращения 05.12.2024).

на судно со стороны внешней среды, т. е. во многом определяются субъективным представлением судоводителя о таком воздействии. Работа только с 3D ЭНК не позволяет оценивать действия внешних факторов, таких как сила ветра, силы гидродинамического взаимодействия с мелководьем, а также силы и моменты от криволинейного течения напрямую. Для судоводителя важное значение имеет оценка возможностей средств управления судном в зависимости от степени воздействия на него внешних факторов, достоверность которой повышается при учете информации от multifunctional дисплеев.

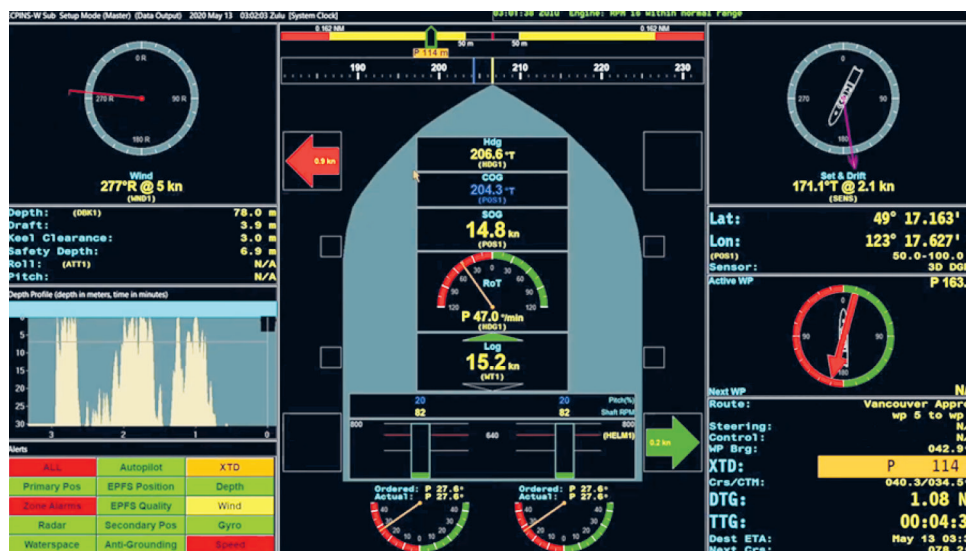


Рис. 3. Вид multifunctional дисплея отображения информации

Высокая интенсивность работы судоводителя в процессе проводки по затруднительным для судоходства участкам не позволяет обращать внимание на незначительные детали, связанные с управлением судном или воздействием внешних факторов, которые могут быть значимыми и, соответственно, использоваться для проводки судна в дальнейшем. Совместное использование СОЭНК в режиме отображения 3D ЭНК и информации от multifunctional дисплеев позволяет расширить понятие *хорошей практики управления судном* за счет апостериорного анализа результатов проводки. Детальный анализ управление судном позволяет установить причинно-следственные связи между воздействием внешних факторов, работой средств управления судном и его движением. Полученные таким образом новые знания интегрируются в систему знаний судоводителя, способствуя дальнейшему развитию его умений и навыков по управлению судном.

Обсуждение (Discussion)

Движение судна представляет собой некую интегрированную величину, состоящую из продольного, поперечного и вращательного движений, суть и понимание которых не представляют трудностей. Однако правильное управление движением судна непосредственно при проводке по затруднительным для судоходства участкам является сложной задачей, решение которой находится в зоне ответственности судоводителя. Движение судна в условиях, характерных для затруднительных для судоходства участков, осуществляется в условиях значительной изменчивости и нестабильности влияния внешних навигационно-гидрографических и гидрометеорологических факторов, когда при традиционных способах представления картографической информации практически не представляется возможным выделить области с резко меняющимися глубинами от значительных, кратных трем осадкам судна, до минимальных, соответствующих значению статической осадки судна и минимальных запасов, позволяющих осуществлять движение судна, визуальную оценку угла поворота траектории, что особенно важно при значительных и частых

изменениях курса при проходе крутых колен и извилистых участков, изменений гарантированной ширины и радиусов закругления судового хода от минимально необходимых до существенно превышающих гарантированные.

Проводка судна по затруднительным для судоходства участкам характеризуется плохим вхождением судна в циркуляцию, нестабильным движением при значительных изменениях курса при переходе с одного прямолинейного участка на другой, плохой способностью к одерживанию, вызванной влиянием ветра и криволинейного течения, рыскливостью при следовании по прямолинейным участкам, что обуславливает необходимость поиска новых методов обеспечения навигационной безопасности плавания. При использовании 3D ЭНК, являющегося в процессе управления судном при проводке по затруднительным для судоходства участкам новым способом, перед судоводителем возникает ряд сложных задач, для правильного решения которых необходимо переосмысление методов работы в процессе несения ходовой вахты.

Среди явных преимуществ использования 3D ЭНК следует отметить снижение количества ручных настроек, применение которых необходимо для компенсации явных недостатков стандартных электронных карт. Так, судоводитель освобождается от необходимости рассчитывать и периодически вводить в систему значения опасной глубины и безопасной изобаты. Снижение количества настроек в совокупности с новым качеством отображения надводной и подводной навигационной обстановки позволяют повысить продуктивность наблюдения, т. е. способность вести наблюдение за некоторой совокупностью знаков берегового и плавучего навигационного оборудования, что является важным для проводки судна по лимитирующим судоходство участкам. Применение автоматизированных функций построения области опасных глубин позволяет настраивать и в дальнейшем автоматически оперативно перестраивать такое отображение, модифицируя таким образом приемы и методы управления судном, основанные на общих закономерностях движения судна применительно к фактическим условиям плавания, а также отдельным их особенностям, характерным для конкретных затруднительных для судоходства участков.

Совместный анализ всех видов информации, доступных как в численном, так и в графическом виде в 3D ЭНК, таких как навигационно-гидрографическая, гидрометеорологическая и численные параметры движения судна совместно с особенностями работы средств управления судном, составляют исчерпывающую информацию, полностью характеризующую движение судна и его управление.

Заключение (Conclusion)

В работе дана оценка особенностей влияния НГУ и ГМУ на затруднительных для судоходства участках ВВП, которые могут оказывать значительное влияние на навигационную безопасность судов следующих под проводкой опытных судоводителей. Основным фактором, лимитирующим судоходство по участкам ВВП, является уровень воды, снижение которого приводит к распространению сложных навигационных условий на участках значительной протяженности, которые при обычных условиях плавания не относятся к затруднительным. Поэтому для проводки судна по таким участкам отсутствуют конкретные рекомендации судоводителям в отношении действий для обеспечения навигационной безопасности плавания.

Работа СОЭНКИ в режиме отображения 3D ЭНК только за счет управления масштабом, положением точки обзора как относительно пространственного символа собственного судна, так и относительно положения знаков навигационного оборудования позволяет настраивать, корректировать, видоизменять отображение обстановки в некоторой области вблизи судна, и, таким образом, оказывать влияние на визуальное восприятие судоводителем оперативной обстановки. При наличии достаточного опыта работы с системой для получения оперативной навигационной информации сводится к минимуму необходимость использования дополнительных программных инструментов для выполнения измерений или применение сложных настроек в соответствии с многоступенчатыми алгоритмами. Применение СОЭНКИ в режиме отображения 3D ЭНК

обеспечивает переход от принятия решений на маневр судна на основании обобщенных методик, использование которых не позволяет учесть весь спектр факторов, влияющих на судно, к принятию решений на основании интегрированной виртуальной модели реальной действительности.

Функция отображения 3D ЭНК в СОЭНК делает их многофункциональными и адаптируемыми с картографическими системами, обеспечивающими судоводителя всей необходимой информацией для оценки навигационной обстановки и принятия как долгосрочных, так и оперативных решений по управлению судном на затруднительных для судоходства участках. 3D ЭНК позволяют выполнять упреждающую оценку навигационной безопасности плавания как в обычных НГУ и ГМУ, так и при значительно сложных и редко встречающихся их сочетаниях, учитывая особенности работы средств управления судном, поскольку основной акцент в обеспечении навигационной безопасности плавания в таких условиях сделан на оперативной работе средств управления судном.

Работу СОЭНК в режиме отображения 3D ЭНК, несмотря на новизну, следует охарактеризовать как высокопродуктивную, ввиду существенного увеличения возможностей по обеспечению судоводителя новой навигационной информацией для проводки судна методом визуальной навигации, что особенно важно для лимитирующих участков судоходства. Совместная оценка навигационной информации от 3D ЭНК и многофункциональных дисплеев позволяет судоводителю оценивать влияние на движение судна сил, создаваемых органами управления, сил от воздействия внешних факторов, одновременно оценивая эффективность действий по корректированию движения судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладков Г. Л.* Современное состояние и развитие внутренних водных путей России / Г. Л. Гладков // Эрозионные и русловые процессы: сб. трудов. — Том выпуск 6 / Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ имени М. В. Ломоносова. — М.: Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2015. — С. 255–277. — EDN WJFUXF.
2. *Колосов М. А.* Варианты технических решений по поддержанию глубин в судоходных шлюзах Городецкого гидроузла / М. А. Колосов, К. П. Моргунов, С. В. Егоров, Д. А. Пасынков // Речной транспорт (XXI век). — 2024. — № 1(109). — С. 18–22. — EDN OWLTLE.
3. *Родионов А. А.* Варианты решения проблем судоходства на лимитированном участке реки Волги от Городецкого гидроузла до Нижнего Новгорода, в том числе с учетом оценки влияния на санитарно-эпидемиологическую и экологическую ситуацию в регионе / А. А. Родионов, В. А. Румянцев, М. П. Федоров [и др.] // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. — 2022. — Т. 15. — № 4. — С. 109–131. DOI: 10.59887/fpg/abfh-m2n7-9mn6. — EDN LPDZD.
4. *Каретников В. В.* Опыт применения современных инфокоммуникационных технологий для повышения точности речных электронных навигационных карт / В. В. Каретников, Д. Ф. Миляков, С. В. Рудых // Речной транспорт (XXI век). — 2015. — № 5(76). — С. 35–37. — EDN VDAEMT.
5. *Каретников В. В.* Использование мобильных обстановочных комплексов с применением технологий ГЛОНАСС/GPS для обновления государственных электронных навигационных карт ВВП РФ / В. В. Каретников, В. А. Бекряшев, В. И. Романова // Морская радиоэлектроника. — 2015. — № 4(54). — С. 53–55. — EDN VGSUHR.
6. *Клементьев А. Н.* Исследование явления динамической просадки речных судов при движении на течении / А. Н. Клементьев, М. Ю. Чурин // Речной транспорт (XXI век). — 2017. — № 2(82). — С. 48–51. — EDN ZHBEIJ.
7. *Duarte H.* Review of practical aspects of shallow water and bank effects / H. Duarte, D. E. Lopez, M. R. Martins, M. Lutzhoft, P. S. Pereira, J. Lloyd // International Journal of Maritime Engineering. — 2016. — Is. 158. — Pp. 177–186.
8. *Каретников В. В.* Применение 3D электронных навигационных карт при авариях, связанных с посадкой на мель, и для их предотвращения в стесненных условиях плавания / В. В. Каретников, А. А. Прохоренков, Ю. Г. Андреев, О. И. Мокрозуб // Морская радиоэлектроника. — 2020. — № 2(72). — С. 22–28. — EDN APKKAR.

9. Каретников В. В. Лимитирующие гидрометеорологические факторы при использовании 3D электронных навигационных карт для проводки судов «река — море» плавания по внутренним водным путям / В. В. Каретников, Ю. Н. Андрюшечкин, А. А. Прохоренков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 451–464. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-451-464. — EDN CXFIKA.

10. Прохоренков А. А. Повышение эффективности решения задач управления судном в стесненных условиях при использовании морских 3-D электронных навигационных карт / А. А. Прохоренков // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2019. — № 4. — С. 76–85. — EDN NXGLSS.

REFERENCES

1. Gladkov, G. L. «Sovremennoe sostoyanie i razvitie vnutrennikh vodnykh putey Rossii.» *Eroziionnye i ruslovyye protsessy: Sbornik trudov* Moskva: Geograficheskiy fakul'tet Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. V. Lomonosova, 2015: 255–277.

2. Kolosov, M. A., K. P. Morgunov, S. V. Egorov and D. A. Pasyukov “Variants of technical solutions for maintaining depths in navigable locks of Gorodetsky hydrocomplex.” *Rechnoy transport (XXI vek)* 1(109). (2024): 18–22.

3. Rodionov, A. A., V. A. Rumyantsev, M. P. Fedorov, et al. “Varianty resheniya problem sudokhodstva na limitirovannom uchastke reki Volgi ot Gorodetskogo gidrouzla do Nizhnego Novgoroda, v tom chisle s uchetom otsenki vliyaniya na sanitarno-epidemiologicheskuyu i ekologicheskuyu situatsiyu v regione.” *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* 15.4 (2022): 109–131. DOI: 10.59887/fpg/abfh-m2n7-9mn6.

4. Karetnikov, V. V., D. F. Milyakov and S. V. Rudykh “Opyt primeneniya sovremennykh infokommunikatsionnykh tekhnologiy dlya povysheniya tochnosti rechnykh elektronnykh navigatsionnykh kart.” *Rechnoy transport (XXI vek)* 5(76). (2015): 35–37.

5. Karetnikov, V. V., V. A. Bekryashev and V. I. Romanova “An application of the mobile situational complexes with the help of GLONASS/GPS technology for updating the state electronic navigation charts of the inland waterways (IW).” *Morskaya radioelektronika* 4(54). (2015): 53–55.

6. Klement'ev, A. N. and M. Yu. Churin “Issledovanie yavleniya dinamicheskoy prosadki rechnykh sudov pri dvizhenii na techenii.” *Rechnoy transport (XXI vek)* 2(82). (2017): 48–51.

7. Duarte, H., D., E. Lopez, MR. Martins, M. Lutzhoft, P. S. Pereira and J. Lloyd “Review of practical aspects of shallow water and bank effects.” *International Journal of Maritime Engineering* 158. (2016): 177–186.

8. Karetnikov, V. V., A. A. Prokhorenkov, Yu. G. Andreev and O. I. Mokrozub “Application of 3D electronic navigation charts for prevention and in case of groundings in restricted waters.” *Morskaya radioelektronika* 2(72). (2020): 22–28.

9. Karetnikov, V. V., Yu. N. Andryushechkin and A. A. Prokhorenkov “Limiting hydrometeorological factors when using 3D electronic navigational charts for pilotage of river-sea-going vessels on inland waterways.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 13.4 (2021): 451–464. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-451-464.

10. Prokhorenkov, A. A. “Improving the efficiency of solving the tasks of shiphhandling in narrows when using marine 3-D electronic navigation charts.” *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* 4. (2019): 76–85.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каретников Владимир Владимирович — доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: spguwc-karetnikov@yandex.ru
Ефимов Константин Иванович — доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kiefimov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Karetnikov, Vladimir V. — Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: spguwc-karetnikov@yandex.ru
Efimov, Konstantin I. — PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kiefimov@gmail.com

Прохоренков Андрей Александрович —
кандидат технических наук, доц.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: a. prokhorenkov@mail.ru

Prokhorenkov, Andrei A. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: a. a.prokhorenkov@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 19 декабря 2024 г.
Received: Dec. 19, 2024.*