

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-537-550

USING 3D ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHARTS TO PREVENT NAVIGATIONAL ACCIDENTS OF VESSELS WHEN PASSING LOCKS ON INLAND WATERWAYS

V. V. Karetnikov, A. A. Prokhorenkov, Yu. N. Lysenko

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

New approaches to the information support of navigators are considered in the paper. They can positively influence the increase in the level of providing the modern navigators with the navigation information necessary for making decisions that make it possible to safely perform maneuvers when passing navigational hydraulic structures on inland waterways using 3D electronic navigational charts. As such approaches, a number of constructive proposals for the following methods modernization have been proposed: controlling the vessel in course, controlling the vessel in speed, controlling the velocity vector of the vessel, as well as controlling the bow and stern ends of the vessel. When navigating a vessel in course, a sequence of actions when the vessel is turning is disclosed. When considering the control of a vessel in speed, an example of displaying information on a change in the navigation situation with a change in the water level, which is important in ensuring the safety of navigation, is considered. When considering the control of the ship's velocity vector using the 3D image of the Bagaevsky waterworks as an example, the possibility of performing a visual assessment of the spatial dimensions of objects and ships when implementing the method is emphasized. In addition, the fragments of 3D electronic navigational cartography those display the maneuvers of vessels entering a double-lane lock, showing the implementation of controlling the bow and stern ends of the vessel are presented. In the proposed study, based on the application of elements of situational analysis and methods for assessing the navigation situation by the skipper, when performing maneuvers, the recommendations that will improve the navigation safety through the use of standard electronic navigational charts and the latest 3D navigational charts are suggested.

Keywords: vessels maneuvering in narrow channels, navigational accidents, navigational safety, 3D navigational charts, inland waterways.

For citation:

Karetnikov, Vladimir V., Andrei A. Prokhorenkov, and Yuriy N. Lysenko. "Using 3D electronic navigational charts to prevent navigational accidents of vessels when passing locks on inland waterways." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.3 (2020): 537–550. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-537-550.

УДК 656.628

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ЭЛЕКТРОННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ АВАРИЙ СУДОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ШЛЮЗОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ

В. В. Каретников, А. А. Прохоренков, Ю. Н. Лысенко

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

Рассмотрены новые подходы информационного обеспечения судоводителей, позволяющие положительным образом влиять на повышение уровня их обеспеченности навигационной информацией, необходимой для принятия решений, дающих возможность безопасно выполнять маневры при прохождении судоходных гидротехнических сооружений на внутренних водных путях с использованием 3D электронных навигационных карт. В качестве таких подходов разработан ряд конструктивных предложений по модернизации следующих методов: управление судном по курсу, управление судном по скорости, управление вектором скорости судна, а также контроль движения носовой и кормовой оконечности судна.

При управлении судном по курсу раскрыта схема последовательности действий при выполнении поворота судна. При рассмотрении управления судном по скорости рассмотрен пример отображения информации по изменению навигационной обстановки с изменением уровня воды, имеющий важное значение при обеспечении безопасности плавания. При рассмотрении управления вектором скорости судна на примере 3D-изображения Багаевского гидроузла отмечена возможность выполнения визуальной оценки пространственных размеров объектов и судов в процессе реализации данного метода. Кроме того, в работе приведены фрагменты 3D электронно-навигационной картографии, отображающие выполнение маневров судов при заходе в двухниточный шлюз, показывающих реализацию контроля движения носовой и кормовой оконечностей судна. В предлагаемом исследовании на основе применения элементов ситуационного анализа и методов оценки навигационной ситуации судоводителем при выполнении маневров предложены рекомендации, позволяющие повысить уровень безопасности судоходства на основе применения стандартных электронных навигационных карт и новейших 3D навигационных карт. Выделены ключевые аспекты применения современных 3D навигационных карт для предупреждения аварийных случаев с судами при шлюзовании.

Ключевые слова: маневрирование судов в узкостях, навигационная аварийность, навигационная безопасность плавания, 3D навигационные карты, внутренние водные пути.

Для цитирования:

Каретников В. В. Использование 3D электронных навигационных карт для предупреждения навигационных аварий судов при прохождении шлюзов на внутренних водных путях / В. В. Каретников, А. А. Прохоренков, Ю. Н. Лысенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 537–550. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-537-550.

Введение (Introduction)

Управление судном при движении на пришлюзовых участках представляет собой сложный комплекс действий, выполняемых судоводителем для того, чтобы движение судна осуществлялось по линии, равноудаленной от навигационных опасностей с безопасной скоростью. Пришлюзовые участки отличаются изменчивостью факторов, оказывающих влияние на навигационную безопасность плавания, среди которых следует отметить навигационно-гидрографические, гидрометеорологические и организационные. Навигационно-гидрографические факторы представляют собой совокупность навигационных знаков, наблюдаемых судоводителем на местности и / или карте, ориентируясь по которым он определяет положение судна и его движение относительно навигационных опасностей, а также иную картографическую информацию (например, информацию о глубинах), степень своей осведомленности о навигационной обстановке, которая будет складываться вокруг судна по мере его следования в подходном канале, на основании анализа информации, представленной на навигационной карте атласа.

Стесненность условий плавания требует от судоводителя точного учета внешних факторов, степень влияния которых на судно будет тем сильнее, чем ниже его скорость. Основными факторами, которые необходимо принимать во внимание, являются: уровень воды, который определяет условия течения и мелководья, ветер и в некоторых случаях волнение. Маневрирование судна в значительной степени определяется интенсивностью судоходства, в связи с чем судно после захода в подходной канал или водохранилище может либо сразу следовать в шлюз, либо ожидать на ходу для выполнения маневра пропуска, либо ошвартоваться к причальной стенке, и затем после прохода встречного судна, выполнять маневр отхода и следовать в шлюз.

Согласно обобщенным многолетним данным об аварийности судов, основной причиной аварий являются ошибки судоводителей, большинство из которых навигационные [1], [2]. Навигационные ошибки вызваны неверным представлением судоводителя о местоположении и параметрах движения судна относительно направлений и границ судового хода, т. е. неверной оценкой динамической навигационной информации. Динамическую навигационную информацию, получаемую и используемую судоводителем в процессе проводки судна, можно подразделить на информацию о параметрах движения судна и навигационную информацию, связанную с полями навигационных параметров, наблюдаемых судоводителем на судне визуально и создаваемых знаками

навигационного оборудования. Таким образом, решение поставленной задачи с учетом доступных видов навигационной информации может быть получено путем реализации следующих методов: управление судном по курсу, управление судном по скорости, управление вектором скорости судна и контроль движения носовой и кормовой оконечностей судна. Применение этих методов является крайне конструктивным в сочетании с 3D ЭНК.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Особенности представления динамической навигационной информации для анализа в 3D ЭНК. Движение судна оценивается непрерывным наблюдением и представляет собой комбинацию продольного, поперечного и вращательного движения. Среди параметров движения судна судоводителю необходимо иметь представление о продольной и поперечной скорости, угловой скорости, угле дрейфа от ветра и течения. Контроль скорости важен для оценки эффективности действий по соблюдению скоростного режима, а также может иметь значение для оценки влияния мелководья на скорость судна и изменение угловой скорости — при выполнении поворота и его контроле. Изменение угла дрейфа имеет важное значение при снижении скорости судна до минимальной, остановке движителей и движении по инерции, при завершении циркуляции и выходе на новый прямолинейный участок. В этом случае особое значение имеет оценка дрейфа от внешних факторов и остаточного дрейфа на циркуляции.

При проводке судна по внутренним водным путям (ВВП) судоводитель должен постоянно определять положение судна в маршрутной системе координат, т. е. положение по расстоянию до точки начала поворота и уклонению по перпендикуляру к оси судового хода. Для определения положения судна судоводитель анализирует расстояния и направления на знаки навигационного оборудования, обозначающие кромки судового хода. Определение движения судна осуществляется путем сравнения между направлением диаметральной плоскости судна и направлением оси судового хода или его кромок. Несмотря на то, что навигационное оборудование ВВП стандартизировано на всей территории Российской Федерации [3], условия плавания настолько изменчивы, что их учет является затруднительным и связанным со значительной неопределенностью. Поэтому методы представления навигационной информации будут определять осведомленность судоводителя об окружающей обстановке и оказывать значительное влияние на качество принимаемых им решений.

Представление навигационной информации в графическом виде непрерывно совершенствуется. Одним из передовых достижений в картографических системах является создание и внедрение 3D навигационных карт стесненных в навигационном отношении районов. Оценки использования 3D ЭНК, выполненные методом ситуационного анализа, показали эффективность их использования за счет отображения информации в виде трехмерной графики, эргономичности управления и получения информации в общем случае проводки судна в сложных условиях плавания, характерных для ВВП [4], [5]. Поскольку использование таких карт для решения задач управления судном является новым методом, для практики управления судном представляет интерес оценка эффективности их применения для обеспечения навигационной безопасности плавания применительно к навигационно-гидрографическим, гидрометеорологическим факторам и особенностям маневрирования для захода и выхода судна из шлюза.

По сравнению с двухмерными картами трехмерные карты дают ряд преимуществ: их использование позволяет судоводителю по-новому оценивать обстановку вокруг судна. Динамическая навигация по трехмерному пространству 3D ЭНК, отображаемому картографической системой, позволяет управлять высотой глаза наблюдателя (точкой обзора), углом обзора, масштабом просмотра карты [4], [5]. Рассмотрим новые возможности отображения навигационной информации в 3D-картах, которые могут быть использованы для повышения эффективности их практического применения.

Управление судном по курсу. Оценить информативность 3D ЭНК применительно к проводке судна можно только детально рассмотрев работу судоводителя. При проводке судна по большинству ВВП, ввиду извилистости судового хода, необходимо многократно менять курс в значительных

пределах. Для обеспечения навигационной безопасности проводки судна при прохождении криволинейных участков необходимо выполнять ряд действий по управлению судном в определенной последовательности (рис. 1).

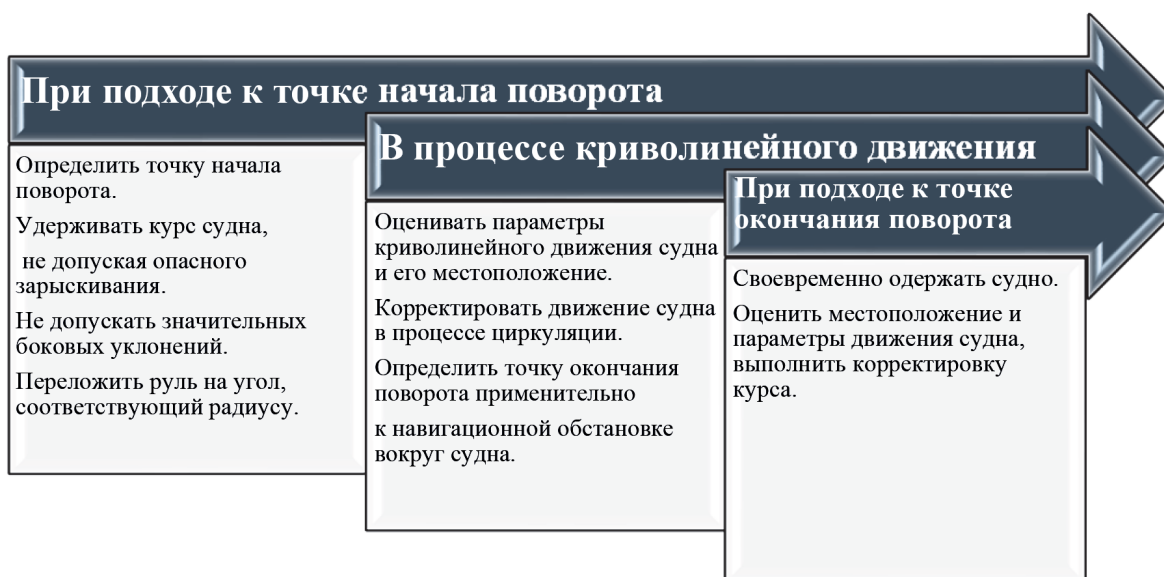


Рис. 1. Последовательность действий при выполнении поворота судна

При выполнении поворота очень сложно осуществлять постоянный визуальный контроль за дистанцией от собственного судна до кромок судового хода, поскольку плавучие знаки обозначают точки начала и окончания поворота. Поэтому выполнять корректирующие действия для предупреждения сближения с кромками судового хода возможно руководствуясь значениями направлений движения по прямолинейным участкам и кинематическими параметрами движения судна. Несмотря на то, что информация относительно направлений движения их последовательности частично хранится в памяти судоводителя, большое количество навигационной информации отображено на навигационной карте, запомнить которую не представляется возможным. Использование 3D ЭНК повышает продуктивность наблюдения за криволинейным движением судна с ходового мостика за счет параллельного сопоставления направлений и дистанций до навигационных ориентиров, наблюдаемых в трехмерном пространстве с наблюдаемыми на местности.

При управлении судном в условиях плавания, характерных для ВВП, все действия должны выполняться оперативно, что обеспечивает учет преобладающих обстоятельств и условий плавания [6]. Однако динамика движения судна такова, что даже при идеальных условиях плавания суда следуют извилистым курсом, что требует периодических корректировок курса. На участках судовых ходов, где глубины подвержены периодическим изменениям, фактический уровень воды будет определять изменение фактической ширины судового хода и, как следствие, курс, который необходимо удерживать для следования по траектории, равноудаленной от навигационных опасностей. При сближении судна с кромками судового хода, ввиду наличия непросматриваемой области вблизи судна, полностью теряется или снижается до минимума возможность ориентирования по плавучим знакам ближней к судну кромке судового хода, а при определении направления движения по другой кромке возможны грубые промахи, поскольку не будет выполняться сравнение изменения положения навигационных знаков с обоих бортов.

В случае сближения судна с кромками судового хода, где границы навигационных опасностей нечетко выражены, встречаются отдельные глубины, близкие к предельным, а окружающие глубины достаточные. Наличие точных карт дает возможность повысить осведомленность судоводителя как за счет использования автоматической функции построения области опасных глубин, позволяющей выделить область, безопасную для движения судна, так и за счет глазомерного

определения направлений и расстояний непосредственно по 3D ЭНК. Пример использования данной функции можно проанализировать по рис. 2, где область опасных глубин выделена красным цветом [7]. При прохождении участков со значительными изменениями курса угловая скорость и угол дрейфа во время циркуляции могут быть существенными. При визуальном ориентировании возникают трудности, вызванные значительными отличиями направления движения судна от направления диаметральной плоскости судна. В этом случае для судоводителя важно без промедления обеспечить выход судна на циркуляцию с заданными параметрами и своевременно одержать судно, при этом необходимо оценивать дистанции до ближайших опасностей и ориентироваться на перспективу [6]. Большое количество навигационной информации, необходимой для анализа, может привести к неверному решению по управлению судном, особенно у судов с плохими маневренными качествами или при наличии значительных гидрометеорологических воздействий.

Примером использования 3D ЭНК для получения навигационной информации в сложных навигационных условиях может служить представленный на рис. 2, а фрагмент отображения навигационной обстановки вокруг судна при подходе к точке поворота со значительным углом дрейфа от ветра и течения.

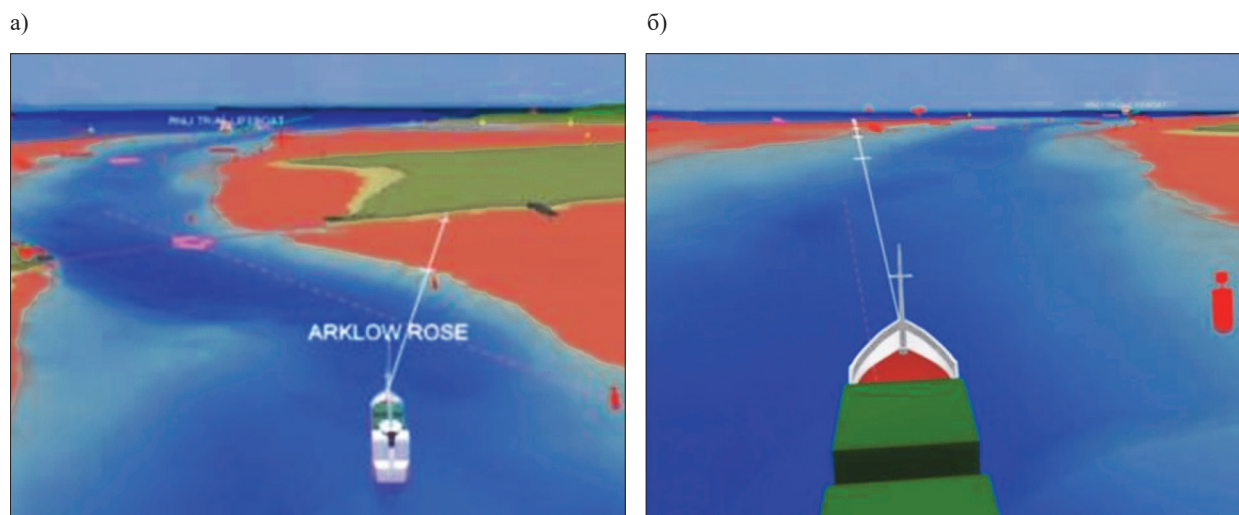


Рис. 2. Пример отображения движения судна со значительным углом дрейфа на 3D ЭНК:
а — при подходе к точке начала поворота; б — после выхода на новый курс

Важное значение для судоводителя имеет не только визуальная оценка навигационной обстановки, складывающейся вокруг судна, но и оценка подводной обстановки. Наблюдая движение судов и движение собственного судна, судоводитель может оценить положение судна относительно пространственных и точечных навигационных опасностей с максимально возможной точностью, но не более той, которую позволяет навигационная карта. Пример, приведенный на рис. 2, б, демонстрирует возможность судоводителя визуально отслеживать изменение глубин при следовании судна вблизи кромки судового хода.

Актуальность применения трехмерных карт обусловлена спецификой навигационно-гидрографических особенностей приплюзовых участков ВВП, где, как правило, суда должны следовать строго в своей полосе движения, руководствуясь преимущественно стационарным навигационным оборудованием. Среди знаков стационарного навигационного оборудования можно выделить знак «ориентир» или путевой огонь, которые обычно устанавливаются на кромках каналов, но к которым нельзя приближаться вплотную. Поэтому ориентирование по трехмерному рельефу, обеспечиваемое трехмерными картами, будет способствовать повышению осведомленности судоводителя о навигационной обстановке, складывающейся вокруг судна.

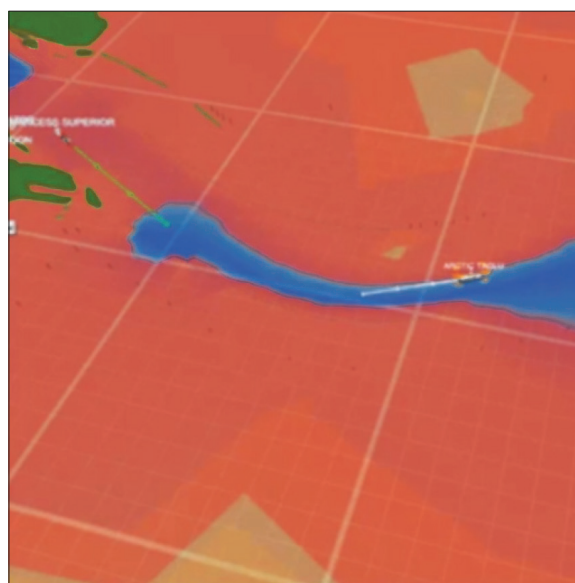
Управление судном по скорости. Под управлением судном обычно понимается управление за счет перекладки руля как для удержания на курсе при следовании по прямолинейному участку,

так и для выхода судна на криволинейное движение в начале криволинейного участка, и при одерживании судна, когда необходимо выйти на новый курс для следования по новому прямолинейному участку [8], [9]. Однако в условиях плавания, характерных для ВВП, управление судном за счет действия руля тесно связано с обеспечением безопасной скорости, поскольку при следовании судна со скоростью, превышающей безопасную, оно будет подвержено чрезмерной рыскливости, что при недостаточно точном ориентировании и выполнении корректирующих действий с задержкой может привести как к зарыскиванию и касанию корпусом судна кромки судового хода, так и к касанию судном грунта за счет чрезмерной просадки. Для соблюдения судном скоростного режима, обусловленного лимитирующим влиянием уровня воды и габаритами судового хода, необходимо постоянно регулировать работу движителей, что, в свою очередь, обуславливает режим работы рулевым органом. При следовании судна по прямолинейному участку большой протяженности и прохождении вблизи мелей для предотвращения чрезмерного зарыскивания судна за счет гидродинамического взаимодействия с мелководными участками необходимо выполнять перекладки руля на большие углы и осуществлять предикцию управления рулем.

Характерной особенностью пришлозовых участков является частые периодические колебания уровня воды, вызванные цикличностью работы гидроэлектростанции. Колебания уровня воды оказывают влияние не только на величину запаса воды под килем и, таким образом, на необходимость корректировки скорости судна в определенных, безопасных пределах, но и на изменение действия течений, которые меняются как по модулю, так и по направлению. Влияние течения, которое проявляется как на прямолинейных, так и на криволинейных участках, относится к одному из основных гидрометеорологических факторов, оказывающих влияние на движение судна, необходимость его корректировки и, в конечном итоге, на безопасность.

Уровень воды практически очень сложно учесть при предварительной проработке маршрута в условиях ВВП. Карты ВВП составлены применительно к проектному уровню воды соответствующей обеспеченности, зависящей от класса водного пути, который, как правило, значительно отличается от проектного, что «сводит на нет» расчеты, выполняемые для оценки безопасной скорости и других параметров. Ввиду значительных колебаний уровня воды на пришлозовых участках, их учет является затруднительным при использовании существующих расчетных методик на основе применения формул. На рис. 3 показан пример использования функции построения области безопасных глубин применительно к осадке конкретного судна для детализированной оценки акватории [10].

а)



б)



Рис. 3. Пример отображения информации по изменению навигационной обстановки с изменением уровня воды:
а — при низком уровне воды; б — при высоком уровне воды

Часто при следовании судна в подходном канале шлюза и находясь на оси канала, судоводитель может ощущать влияние гидродинамического взаимодействия корпуса судна с подводным рельефом и кромками канала. Это взаимодействие может проявляться как при следовании судна со значительной скоростью, превышающей безопасную, так и при выполнении маневра на малой скорости, поскольку не всегда середина видимой водной поверхности совпадает со средней частью канала, и кроме того, непосредственно в подходном канале шлюза ось канала может быть криволинейной. На подходах к шлюзу 3D ЭНК позволяют определить фактические габариты судового хода применительно к осадке судна, а также участок для того, чтобы вывести судно на ось шлюза заблаговременно.

3D ЭНК позволит судоводителю сориентироваться относительно имеющегося водного пространства при движении судна в шлюз от причальной стенки, когда он находится на крыле ходового мостика. В случае выполнения крутых поворотов при ограниченных габаритах водного пути отдельной задачей является оценка движения кормы. При заходе в шлюз после длительного ожидания на ходу 3D представление навигационной информации позволяет повысить точность регулирования скорости движения судна на основании точного отображения водного пространства, доступного для маневра. Также необходимо принимать во внимание, что при маневрировании на стесненной акватории имеет значение не учет параметров движения судна как такового, а движение судна по конкретным направлениям.

Управление вектором скорости судна. При следовании судна с безопасной скоростью и при отсутствии существенных лимитирующих воздействий внешних факторов направление вектора скорости судна практически всегда незначительно отличается от направления ДП судна. Применительно к управлению судном это означает, что удерживая определенный курс судна, судоводитель может оценить его дрейф и выполнить корректирующие действия, т. е. изменить курс в соответствующую сторону. В этом случае при управлении судном судоводитель может ориентироваться по створам, удерживая их слева или справа по мачте, держать курс на буй, на треть расстояния между буями и др. Однако, когда судно вынуждено значительно снижать скорость ввиду минимальных запасов как по глубине, так и по ширине судового хода, управлять им за счет изменения курса и последующей его корректировки становится сложно, поскольку разница между вектором скорости и ДП будет значительной.

Первоначально судно снижает обороты движителей до минимальных, затем приходится останавливать движители и следовать по инерции. Если в данном случае судно приобретает движение, которое не контролируется судоводителем, то приходится давать кратковременную работу движителям и управлять рулем соответствующим образом. Далее, когда дальнейшее движение становится невозможным, приходится включать движители в работу на задний ход.

При следовании со значительным углом дрейфа нет ориентиров, расположенных таким образом, чтобы на них можно было держать курс или необходимо их большое количество, а это сложно найти особенно при проводке судна ночью. При значительных углах дрейфа и отсутствии надежных проверенных ориентиров судно может быстро выйти за кромку судового хода и сесть на мель, что делает необходимым управление не курсом судна, а вектором скорости, который может изменяться в значительных пределах.

Управление судном на пришлюзовых участках как в подходных каналах с ограниченными габаритами, так и в бьефах водохранилищ, имеющих достаточное пространство для маневрирования ориентирование, является одинаково затруднительным для судоводителя. Ограниченность габаритов требует точного учета и корректирования параметров движения судна, при этом особое внимание следует уделять прохождению участков, где наблюдаются эффекты влияния мелководья [6], [11]. При проводке судов по участкам с ограниченными или предельными габаритами между корпусом судна и рельефом дна проявляются взаимодействия гидродинамического характера, оказывающие влияние на маневрирование судна. Знание судоводителей о таких взаимодействиях могут стать критическими даже при прохождении судном поворотов, когда оно поворачивает

из широкого участка в узкий подходной канал. На участках с достаточными габаритами имеется возможность точно удерживать траекторию движения судна таким образом, чтобы следовать на достаточном расстоянии от навигационных опасностей и одновременно оставлять пространство для маневрирования других судов. Использование 3D ЭНК позволяет выполнять оценку местоположения судна применительно к габаритам водного пути и других судов. В подходных каналах шлюзов, имеющих минимальные габариты, установленное навигационное оборудование обладает достаточной точностью, но на проводку судна начинают оказывать влияние внешние факторы, учет которых за счет соответствующих упреждающих действий будет иметь определяющее значение [6].

Работа движителями на задний ход характерна как для одновинтовых судов, так и для двух- и трехвинтовых, что также требует учета сил, создаваемых за счет их работы. Способность судоводителя контролировать движение судна вперед при работе движителей на задний ход приобретает важное значение. Сложность заключается в том, что по мере работы движителя назад скорость судна начинает резко падать, при этом возможности корректировки движения резко снижаются, поскольку под воздействием боковых сил, обусловленных работой гребного винта, судно будет приобретать все большую угловую скорость при снижении продольной скорости. По мере снижения скорости судна возрастающее влияние на угловую скорость будет оказывать сила от наброса струи от винта в кормовую оконечность судна. Поскольку корпус судна испытывает гидродинамическое взаимодействие с кромками судового хода и отдельными мелями, расположенными в пределах судового хода, влияние силы от наброса струи в кормовую оконечность будет тем сильнее, чем больше сближение кормовой оконечности с формами подводного рельефа.

При отработке движителями на задний ход эффективность использования руля практически минимальная, поэтому для удержания угловой скорости судна в необходимых пределах судоводители переключают руль на максимальный угол, кратковременно работая движителями на передний ход на повышенных оборотах. Такой метод работы обеспечивает максимальную силу на руле и минимальное увеличение скорости хода судна, что позволяет обеспечить контролируемое движение судна с минимальной скоростью по требуемой траектории движения. Точная оценка местоположения и движения судна в этих случаях будет особенно затруднительна, поэтому предпочтительнее осуществлять движение судна вперед, а затем назад. Наибольшее затруднение будет вызывать движение судна назад. Это обусловлено тем, что рубки у большинства грузовых судов располагаются в кормовой части так, что судоводитель наблюдает за движением практически всего судна.

При наблюдении за перемещением судна по трехмерной карте появляется возможность визуального контроля за пересечением судном линии буев, ограждающих кромку судового хода. Это обстоятельство является важным для контроля за движением судна, поскольку на местности наблюдение буев может быть затруднено ввиду наличия препятствий (например, другие суда, ограниченная видимость). Наблюдение этого момента на электронной морской навигационной карте визуально может быть затруднено из-за сложности зрительного построения направлений, а также ввиду необходимости периодического изменения масштаба карты или использования других инструментов для задания отображения собственного судна и соответствующей группы навигационных знаков в области просмотра карты.

Показательным примером возможностей визуального ориентирования по 3D ЭНК, а также возможных задач, которые необходимо решать судоводителю при управлении судном на приплюсцовом участке, может служить 3D-изображение Багаевского гидроузла [12] — рис. 4, поскольку оно визуально позволяет оценить соотношения между габаритами русла реки и подходного канала шлюза. Наличие такой информации судоводителем на судне позволит скорректировать курс и скорость судна таким образом, чтобы судно проследовало безопасно из русла реки имеющего значительную ширину, в узкий подходной канал шлюза.



Рис. 4. 3D-изображение Багаевского гидроузла

Контроль движения носовой и кормовой оконечности судна. Обычная практика управления судном по ВВП предполагает оценку бокового уклонения судна и дистанции до точки начала поворота. Оценка бокового уклонения выполняется на основании ориентирования по створам, при их отсутствии — по результатам оценки свободного пространства между бортами судна и соответствующими кромками судового хода. Важное значение имеет оценка бокового уклонения, изменение которого может быть вызвано неточным ориентированием, когда, например, судно уклоняется от линии пути за счет неверного курса или неточного его удержания. По результатам наблюдения за боковым уклонением судоводитель корректирует курс судна соответствующим образом, чтобы уклонение судна стремилось к минимуму. Корректируя курс судна и оценивая изменение бокового уклонения, судоводитель за счет последовательных корректировок курса добивается того, чтобы судно следовало по оси судового хода или параллельно ей. По разнице между направлением оси судового хода и значению курса можно определить угол дрейфа. Таким образом, оценивая боковое уклонение и скорость его изменения, судоводитель в качестве ответной меры корректирует курс судна.

Уклонение судна по перпендикуляру к оси судового хода и угол дрейфа будут определять кратчайшие расстояния от корпуса судна до навигационных опасностей, и, таким образом, навигационную безопасность плавания. Как отмечалось ранее, для компенсации уклонения судна судоводитель предпринимает последовательные действия, которые имеют постепенное влияние на траекторию движения судна [6]. Такое управление оказывается эффективным в большинстве случаев, когда имеются достаточные запасы по ширине и прямолинейные участки достаточной протяженности при отсутствии лимитирующего воздействия гидрометеорологических факторов. При управлении судном на приплюзовых участках, где ярко выражены такие эффекты, как гидродинамическое взаимодействие с кромками подходного канала и неровностями дна, а также воздействие гидрометеорологических факторов, важное значение приобретает раздельная оценка движения носовой и кормовой оконечностей судна в особенности при прохождении поворотов или выполнении отворотов при расхождении с другими судами.

Как известно, вращательное движение судна осуществляется вокруг вертикальной оси, расположенной в диаметральной плоскости судна или на ее продолжении, называемой *центром вращения* [11]. Положение центра вращения меняется в зависимости от характеристики сил, приложенных к корпусу судна, которые будут в значительной степени определяться движением судна. При движении судна с достаточной скоростью и запасами по габаритам определяющее значение будут иметь управляющие силы, создаваемые движительно-рулевым комплексом судна. В этом случае нет необходимости оценивать отдельно движение носовой и кормовой оконечности, несмотря на то, что угол дрейфа на циркуляции будет больше в кормовой оконечности

и поперечная составляющая вектора скорости будет больше в корме. При снижении оборотов двигателей, для создания управляющих сил, необходимо перекладывать руль на большие углы, и по мере снижения скорости судна компенсировать дрейф за счет большего изменения курса судна. Соответственно при визуальной оценке движения судна начинает сказываться необходимость учета поперечных составляющих скорости носовой и комовой оконечности.

Для практики управления судном в такой ситуации при выполнении поворота с одного участка на другой будет иметь значение оценка выхода судна в точку начала поворота с учетом движения носовой оконечности судна, поскольку очевидно, что судоводитель, находясь на ходовом мостике, оценивает движение судна по знакам навигационного оборудования, в первую очередь, плавучим, с определенной ошибкой, которая может быть связана как со смещением плавучего знака в допустимых пределах, так и с ошибкой в оценке дистанции до точки поворота, которая оценивается визуальным при сравнении видимой части корпуса судна и положения знака. Наглядное представление о наблюдении за движением судна при использовании 3D ЭНК, позволяющее всесторонне оценить движение носовой оконечности и выход в точку начала поворота за счет как изменения точки и угла обзора, так и масштаба, можно получить по фрагментам 3D ЭНК, представленным на рис. 5 и отображающим выполнение маневров судов при заходе в двухниточный шлюз [13].

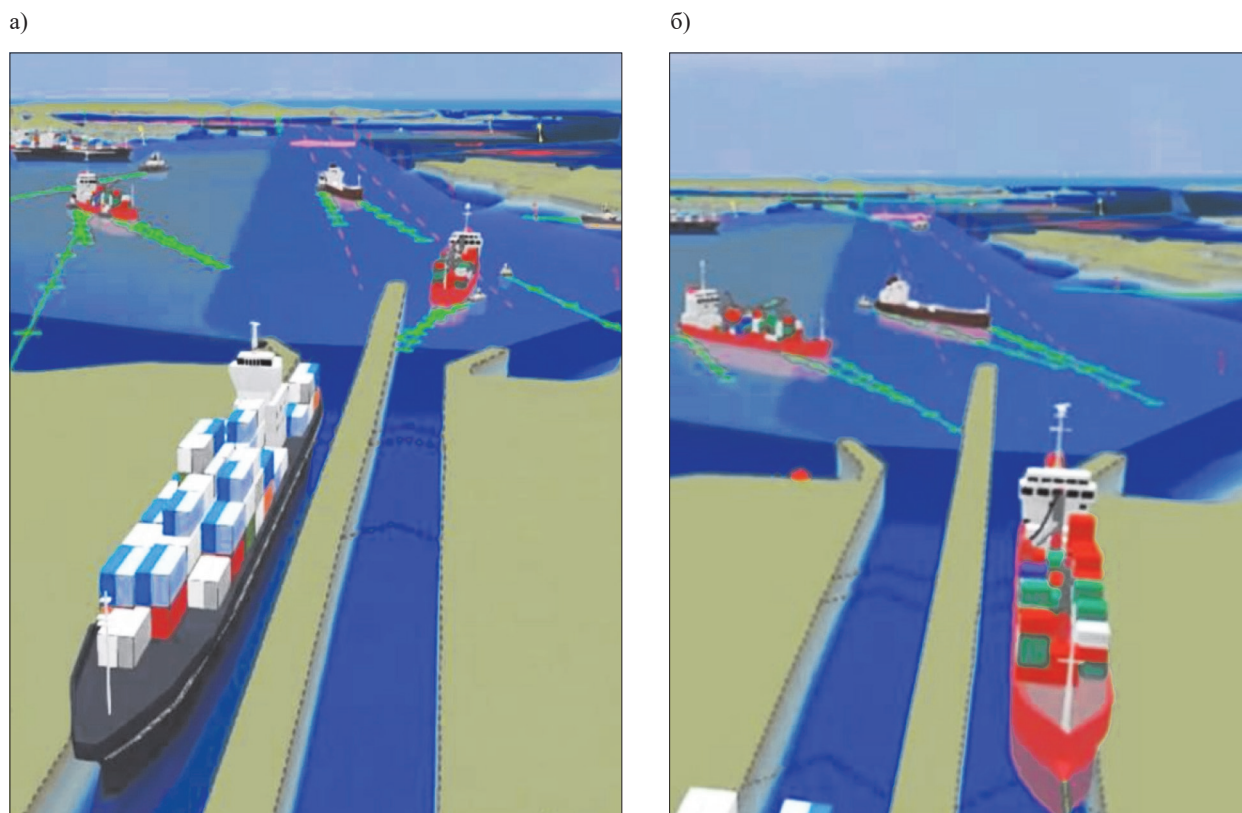


Рис. 5. Фрагменты 3D ЭНК, отображающие выполнение маневров судов при заходе в двухниточный шлюз:

а — при подходе к шлюзу на малом ходу; *б* — в момент начала маневра по выходу на ось шлюза

Точность прохода носовой оконечностью точки начала поворота важна, поскольку на переднем ходу центр вращения находится в пределах четверти длины от форштевня и, таким образом, при уверенности в прохождении потенциальным центром вращения точки начала поворота судоводитель может убедиться в том, что при вращательном движении носовая оконечность пройдет на безопасном расстоянии от навигационных опасностей, которые также могут беспрепятственно наблюдаться по 3D ЭНК.

Оценка движения кормовой оконечности будет иметь значение во избежание зарыскивания в сторону опасных глубин при выполнении поворота и чрезмерного сближения с границами судового хода. Сближение носовой оконечности с одной из кромок судового хода приводит к возникновению силы гидродинамического взаимодействия, правильный учет которой будет оказывать влияние как на прохождение носовой оконечности вблизи области опасных глубин, так и на движение кормовой оконечности. Отыскивание носовой оконечности будет эквивалентно несвоевременному началу поворота, в результате которого будет наблюдаться уклонение судна в сторону, противоположную повороту.

При прохождении крутых поворотов (рис. 6), а также при следовании из участка, имеющего достаточную ширину, в подходной канал шлюза с минимальными габаритами контроль за движением кормовой оконечности судна будет иметь важное значение для судоводителя [13], поскольку при запоздалом начале поворота стремление точно выйти на середину подходного канала может привести к значительному дрейфу, что увеличивает раскатку кормы. При выходе судна на середину канала важное значение имеет учет дрейфа судна, который, вне зависимости от точности выполнения поворота, будет направлен в сторону внешнего борта циркуляции и, таким образом, будет обуславливать риск сближения с навигационными опасностями кормовой оконечности судна.



Рис. 6. Пример отображения расхождения судов на 3D ЭНК

При заходе судна в шлюз могут выполняться маневры, которые не выполняются судоводителями в обычных условиях. Это относится к шлюзам, по соотношению между габаритами которых и габаритами судов условия можно считать крайне стесненными. При выполнении маневра для захода судна в шлюз, имеющий минимальные запасы по габаритам, важно, чтобы на подходе к шлюзу положение ДП судна находилось на продолжении оси шлюза, а дрейф судна и его угловая скорость были минимальными.

Важное значение приобретает оценка местоположения, движения и контроля траектории движения как для судов с предельно допустимой осадкой, так и для судов с минимальной осадкой, поскольку при движении в стесненных условиях судоводители всех судов ориентируются по знакам навигационного оборудования, обозначающим границы судового хода для судов с предельными осадками. При ориентировании по этим знакам траектории движения многих судов могут проходить в непосредственной близости ввиду ориентирования по одним и тем же знакам. Удаление от знаков навигационного оборудования значительно ослабляет визуальный контроль за траекторией движения судна.

Обсуждение (Discussion)

Анализ отображения информации 3D ЭНК при проводке судов через шлюзы ВВП показал существенные преимущества при контроле за движением судна при следовании по пришлюзовым

участкам, выполнении маневров для оперативного регулирования времени подхода к шлюзу, а также непосредственном выполнении маневров при заходе судна в шлюз. Представление информации в трехмерных электронных навигационных картах дает судоводителю новую информацию, доступную для анализа при предварительном ознакомлении с участком, по которому предстоит проводить судно.

Ориентирование с использованием 3D ЭНК дает возможность заблаговременного регулирования параметров движения судна с учетом фактического влияния лимитирующих внешних факторов и в первую очередь уровня воды, т. е. позволяет принимать упреждающие решения на основании картографической информации. 3D ЭНК снабжает судоводителя информацией, как для планирования маневров в случае необходимости остановиться на судовом ходу, так и для осуществления маневров при движении назад.

Применение 3D ЭНК при управлении судном в стесненных навигационных условиях плавания, характерных для ВВП, позволяет учитывать такие параметры, как фактическая ширина и глубина судового хода, за счет визуального ориентирования по пространству между бортами судна и кромками подходного канала, наблюдаемыми с ходового мостика судна.

Внедрение картографических систем, способных отображать 3D ЭНК и таким образом вырабатывающих новую навигационную информацию, которая может быть использована для принятия решения, предоставляет судоводителю новые возможности для решения задач управления судном, тем самым повышая навигационную безопасность плавания. Навигационная информация, доступная судоводителю при управлении судном при заходе в шлюз, позволяет повысить точность действий как для следования судна по оси шлюза, так и для регулирования скорости судна при заходе в шлюз.

Заключение (Conclusion)

Рассмотренные особенности получения новой информации судоводителем на основании применения 3D ЭНК в работе повышают эффективность и безопасность проводки судов по пришлюзовым участкам ВВП как за счет новой информации при непрерывном наблюдении за обстановкой, складывающейся вокруг судна, так и за счет предварительного планирования, и выполнения отдельных маневров. Дополнительная информация, получаемая визуально, позволяет судоводителю принимать во внимание большое количество внешних факторов, а именно свободное пространство со стороны каждого из бортов и запас под килем с учетом подводного рельефа, что повышает класс управления судном и выполнения ключевых судовых операций, поэтому высокое качество подготовки судоводительского состава является одним из основных требований современных отраслевых стандартов безопасности.

3D ЭНК служит источником информации, позволяющим выполнять наблюдения за движением судна визуально и при помощи отображения параметров его движения переходить от управления судном по курсу, при условии незначительного влияния внешних факторов, к управлению судном по скорости с учетом фактического уровня воды, что сложно сделать подобным образом по 2D ЭНК, отображаемым в современных системах отображения электронных навигационных карт и информации, до управления вектором скорости судна, когда влияние внешних факторов возрастает и необходимо точно выдерживать траекторию движения судна. Визуальное наблюдение по 3D ЭНК также дает возможность отдельно оценивать движение носовой и кормовой оконечности, что позволяет избежать управляющих воздействий, предпринимаемых со значительным запасом, когда одна из оконечностей прошла мимо навигационной опасности на достаточном расстоянии, а для проводки другой требуется резкое изменение режима работы движительно-рулевого комплекса.

Основными достоинствами трехмерного отображения являются:

- представление навигационной обстановки вокруг судна, в частности возможность регулировать высоту глаза наблюдателя, позволяет повысить скорость полноту оценки дистанций до ближайших навигационных опасностей;

- повышение полноты контроля за движением судна относительно знаков навигационного оборудования;
- снижение информационной нагрузки за счет освещения подводной обстановки как вокруг собственного судна, так и других судов, находящихся поблизости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев В. И.* Аварийные случаи и транспортные происшествия на водном транспорте и их исследование / В. И. Дмитриев. — М.: Моркнига, 2019. — 279 с.
2. *Ионов С. Е.* Совершенствование способов и методов повышения безопасности и эффективности судоходства на шлюзовых системах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / С. Е. Ионов. — Н. Новгород: ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. — 23 с.
3. ГОСТ 26600-98. Знаки навигационные внутренних судоходных путей. Межгосударственный стандарт. — Минск: ИПК «Издательство стандартов», 2002. — 33 с.
4. *Каретников В. В.* Динамика методологии управления судном в узкости при использовании 3D навигационных карт / В. В. Каретников, А. А. Прохоренков, К. И. Ефимов // *Морская радиоэлектроника*. — 2019. — № 3 (69). — С. 44–49.
5. *Прохоренков А. А.* Использование трехмерных навигационных карт для повышения безопасности судоходства по внутренним водным путям / А. А. Прохоренков // *International journal of advanced studies*. — 2019. — Т. 9. — № 1. — С. 26–49. DOI: 10.12731/2227-930X-2019-1-26-49.
6. *Шемонаев В. Ю.* Практичні особливості управління суднами при плаванні в обмежених водах та вузкостях // *Молодий вчений*. — 2020. — № 2 (78). — С. 17–23. DOI: 10.32839/2304-5809/2020-2-78-4.
7. *Katopodes N. D.* Chapter 4-Shallow-Water Approximation / N. D. Katopodes // *Free-Surface Flow: Shallow Water Dynamics*. — Elsevier Inc., 2019. — Pp. 188–254. DOI: 10.1016/B978-0-12-815487-8.00004-4.
8. *Драчёв В. Н.* Учет циркуляции при плавании в стесненных районах: монография / В. Н. Драчёв. — Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2008. — 98 с.
9. *House D. J.* Appendix A-Controlling elements of ship handling / D. J. House // *Ship Handling. Theory and practice*. — Elsevier Ltd., 2007. — Pp. 171–187. DOI: 10.1016/B978-075068530-6/50014-4.
10. *Liu T.* An approach to 3D model fusion in GIS systems and its application in a future ECDIS / T. Liu, D. Zhao, M. Pan // *Computers & Geosciences*. — 2016. — Vol. 89. — Pp. 12–20. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.01.008.
11. *House D. J.* Seamanship Techniques: Shipboard and Marine Operations / D.J. House. — 5th Edition. — Routledge, 2019. — 921 p.
12. Строительство Багаевского гидроузла на р. Дон [Электронный ресурс] / Официальный сайт Федерального агентства морского и речного транспорта. — Режим доступа: http://www.morflot.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/rechnoy_flot/infrastrukturnye_proektyi_na_vnutrennem_vodnom_transporte.html (дата обращения 14.05.2020).
13. *Carral L.* Effect of Inaugurating the Third Set of Locks in the Panama Canal on Vessel Size, Manoeuvring and Lockage Time / L. Carral, J. Tarrío-Saavedra, S. Naya, J. Bogle, R. Sabonge // *Journal of Navigation*. — 2017. — Vol. 70. — Is. 6. — Pp. 1205–1223. DOI: 10.1017/S0373463317000285.

REFERENCES

1. *Dmitriyev, V. I.* *Avariynyye sluchai i transportnyye proisshestviya na vodnom transporte i ikh rassledovaniye*. M.: Morkniga, 2019.
2. *Ionov, S. Ye.* *Sovershenstvovaniye sposobov i metodov povysheniya bezopasnosti i effektivnosti sudokhodstva na shlyuzovykh sistemakh*. Abstract of PhD diss. N. Novgorod: FBOU VPO «VGAVT», 2013.
3. GOST 26600–98. *Znaki navigatsionnyye vnutrennikh sudokhodnykh putey. Mezghosudarstvennyy standart*. Minsk: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002.
4. *Karetnikov, V. V., A. A. Prokhorenkov, and K. I. Efimov.* “Dynamics of ship handling methodology in narrows by using 3D navigation charts.” *Marine Radio-electronics* 3(69) (2019): 44–49.
5. *Prokhorenkov, Andrei Aleksandrovich.* “Use of three-dimensional navigation charts to improve inland waterways navigational safety.” *International journal of advanced studies* 9.1 (2019): 26–49. DOI: 10.12731/2227-930X-2019-1-26-49.

6. Shemonayev, Volodymyr. "Practical ship handling during maneuvering in straitened and narrow waters." *Young Scientist* 2(78) (2020): 17–23. DOI: 10.32839/2304-5809/2020-2-78-4.
7. Katopodes, Nikolaos D. "Chapter 4-Shallow-Water Approximation." *Free-Surface Flow: Shallow Water Dynamics*. Elsevier Inc., 2019. 188–254. DOI: 10.1016/B978-0-12-815487-8.00004-4.
8. Drachev, V. N. *Uchet tsirkulyatsii pri plavanii v stesnennykh rayonakh. Monografiya*. Vladivostok: MGU im. adm. G. I. Nevel'skogo, 2008.
9. House, D. J. "Appendix A-Controlling elements of ship handling." *Ship Handling. Theory and practice*. Elsevier Ltd., 2007. 171–187. DOI: 10.1016/B978-075068530-6/50014-4.
10. Liu, Tao, Depeng Zhao, and Mingyang Pan. "An approach to 3D model fusion in GIS systems and its application in a future ECDIS." *Computers & Geosciences* 89 (2016): 12–20. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.01.008.
11. House, D. J. *Seamanship Techniques: Shipboard and Marine Operations*. 5th Edition. Routledge, 2019.
12. Stroitel'stvo Bagayevskogo gidrouzla na r. Don. Web. 14 May 2020 <http://www.morflot.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/rechnoy_flot/infrastrukturnye_proektyi_na_vnutrennem_vodnom_transporte.html>.
13. Carral, Luis, Javier Tarrío-Saavedra, Salvador Naya, Johnny Bogle, and Rodolfo Sabonge. "Effect of inaugurating the third set of locks in the Panama Canal on vessel size, manoeuvring and lockage time." *The Journal of Navigation* 70.6 (2017): 1205–1223. DOI: 10.1017/S0373463317000285.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каретников Владимир Владимирович —
 доктор технических наук, доцент
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: kaf_svvp@gumrf.ru,
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Прохоренков Андрей Александрович —
 кандидат технических наук, доцент
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: a.a.prokhorenkov@mail.ru,
kaf_svvp@gumrf.ru
Лысенко Юрий Николаевич —
 доцент
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: ur.lysenko001@ya.ru, kaf_svvp@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Karetnikov, Vladimir 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: kaf_svvp@gumrf.ru,
spguwc-karetnikov@yandex.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,
kaf_svvp@gumrf.ru
Lysenko, Yuriy N. —
 Associate professor
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
 Russian Federation
 e-mail: ur.lysenko001@ya.ru, kaf_svvp@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 18 мая 2020 г.
 Received: May 18, 2020.