

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-825-836

LIMITING NAVIGATIONAL AND HYDROGRAPHIC FACTORS WHEN USING 3D ELECTRONIC NAVIGATION CHARTS FOR SHIP HANDLING DURING LOCKS PASSAGE

V. V. Karetnikov, A. A. Prokhorenkov, Yu. G. Andreev

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

A vessel is a qualitatively complex movable object, which motion can easily predicted when proceeding in unchanged navigation conditions. When navigation conditions become more difficult prediction of vessel requires the implementation of a complex set of actions to assess the position and parameters of the vessel's motion relative to the limits and directions of the waterway. Lock approaches are characterized by significantly congested conditions and variable dimensions, tortuosity of the waterway, and spatial navigational hazards of complex form, to indicate which floating and land marks are used, organized in complex patterns. Thus, the complexity of navigational and hydrographic conditions has a limiting effect on the navigator's ability to control the vessel. As navigation conditions become more complex, the navigator changes priorities in controlling the vessel motion, gradually shifting from controlling the course of the vessel, to controlling the vessel's speed vector, and then to controlling the motion of the stem and stern. Navigating a vessel in difficult navigational and hydrographic conditions requires periodic clarification of navigational information, for which the navigator turns to the navigational chart, which is a visual source of navigational information. Notwithstanding use of modern aids to navigation to display navigation information, such as, for example, an electronic chart navigation and information system (ECDIS), approaches to locks usually present difficulties when taking into account navigation and hydrographic factors, due to the variability of navigation conditions and the static nature of the navigation equipment system waterway. The use of ECDIS, which enables displaying 3D electronic navigation charts (ENCs) to solve the navigator's tasks enroute lock approaches, is new. The effectiveness of their use in the process of ship handling through locks, which is significant for the navigator, is performed by modern methods in this article.

Keywords: passing locks, navigational safety within lock approaches, 3D electronic navigational charts.

For citation:

Karetnikov, Vladimir V., A. A. Prokhorenkov and Yu. G. Andreev "Limiting navigational and hydrographic factors when using 3D electronic navigation charts for ship handling during locks passage" *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.6 (2024): 825–836.
DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-825-836.

УДК 656.628

ЛИМИТИРУЮЩИЕ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ 3D ЭЛЕКТРОННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ШЛЮЗОВ

В. В. Каретников, А. А. Прохоренков, Ю. Г. Андреев

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

Объектом исследования является судно как качественно сложный подвижный объект, движение которого легко поддается учету при неизменности условий плавания. Отмечается, что при усложнении условий плавания для учета и контроля движения судна необходимо выполнение сложного комплекса действий, направленного на оценку местоположения и параметров его движения относительно границ

и направлений водного пути с учетом того, что подходные пути шлюзов характеризуются значительной стесненностью и изменчивостью габаритов, извилистостью водного пути, а также навигационными опасностями, имеющими сложную пространственную форму, для обозначения которых используется плавучее и береговое навигационное оборудование в виде сложных схем. Таким образом, в работе акцентируется внимание на сложности навигационно-гидрографических условий, оказывающих ограничивающее влияние на возможности судоводителя по управлению судном. Рассмотрена особенность работы судоводителя, по мере усложнения условий плавания изменяющего приоритеты в управлении движением судна, заключающиеся в постепенном переходе от управления курсом судна к управлению вектором скорости судна и далее к управлению движением носовой и кормовой оконечностями. Обращается внимание на то, что проводка судна в сложных навигационно-гидрографических условиях требует от судоводителя периодического уточнения навигационной информации с помощью обращения к навигационной карте, являющейся наглядным источником навигационной информации. Подчеркивается, что несмотря на использование современных технических средств судовождения для отображения навигационной информации, таких как электронная картографическая навигационная информационная система, подходы к шлюзам, как правило, представляют сложности при учете навигационно-гидрографических факторов ввиду изменчивости условий плавания и статичности системы навигационного оборудования водного пути. Отмечается, что использование электронной картографической навигационной информационной системы, позволяющей отображать 3D электронные навигационные карты, является новым источником решения задач проводки судна по подходным путям шлюзов. Выполнена значимая для судоводителя оценка результативности использования электронных навигационных карт в процессе проводки судна через шлюзы с применением современных методов.

Ключевые слова: шлюзование судов, навигационно-гидрографические факторы, подходные каналы, элементы подводного рельефа, электронные навигационные карты, управление судном.

Для цитирования:

Каретников В. В. Лимитирующие навигационно-гидрографические факторы при использовании 3D электронных навигационных карт для управления судном при прохождении шлюзов / В. В. Каретников, А. А. Прохоренков, Ю. Г. Андреев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 6. — С. 825–836. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-825-836.

Введение (Introduction)

Шлюзование — качественно-сложный, пространственно-временной процесс проводки судна по подходным путям шлюза, включающим нижний / верхний бьефы, нижний / верхний подходные каналы, непосредственно заход и выход из шлюза. Пришлюзовые участки вызывают затруднения при проводке судов ввиду сложного механизма гидродинамического взаимодействия корпуса судна как с окружающим водным потоком, так и с элементами подводного рельефа [1]–[3]. Практическое применение методик оценки такого взаимодействия с точки зрения судовождения ограничено ввиду навигационных особенностей общего и частного характера. Осведомленность судоводителя о таких особенностях следует рассматривать как лимитирующий фактор, оказывающий существенное воздействие на возможности судоводителя по управлению судном и тем самым на навигационную безопасность плавания. Каждый из участков имеет свои особенности, которые могут быть отражены на навигационной карте с некоторой степенью подобия. Информационные системы, позволяющие судоводителю получать оперативную информацию о фактических условиях на подходах к шлюзам, не имеют пока широкого распространения [4]. Судоводитель получает знания об особенностях участка проводки судна на основе изучения навигационной карты и теоретических знаний специальных дисциплин, полученных в процессе обучения, которые должны поддерживаться за счет периодического повторного изучения навигационных карт, совершенствоваться и получать новое развитие. Изучение навигационных карт, таким образом, позволяет судоводителю получать знания с учетом изменения навигационно-гидрографических факторов.

Управление судном при прохождении шлюзов осуществляется методом визуальной навигации, когда опознавание навигационных ориентиров, оценка правильности курса судна, определение местоположения судна, оценка параметров его движения и в итоге выработка решений по управлению судном осуществляются на основании информации, получаемой визуально. Ос-

новой визуальной навигации является предварительное изучение района плавания и применение опыта управления судном, полученного при стажировке. Подходы к шлюзам, как правило, представляют сложности при учете навигационно-гидрографических факторов даже при использовании современных технических средств судовождения, таких, например, как электронная картографическая навигационная информационная система (ЭКНИС).

Среди основных качественных преимуществ использования ЭКНИС в судовождении следует выделить интеграцию, автоматизацию и адаптивность работы с навигационно-гидрографической информацией. Несмотря на значительные преимущества в работе, получаемые судоводителем при использовании, ЭКНИС как качественно-сложная техническая система требует строгого соблюдения сложных процедур настройки для получения соответствующей навигационной информации. Некоторые настройки необходимы именно для компенсации недостатков, свойственных стандартным электронным картам, среди которых необходимо отметить следующие:

- низкая пространственно-временная дискретность некоторых видов навигационно-гидрографической информации (например, изобат, глубин);
- отображение полной нагрузки карты, которое приводит к перегруженности, и, как следствие, к сложности чтения карты;
- статичность представления информации по району плавания, приводящая к необходимости соблюдения многоступенчатых алгоритмов для задания соответствующих параметров настроек.

Использование ЭКНИС, позволяющих отображать 3D электронные навигационные карты (ЭНК) для решения задач по управлению судном, является новым техническим способом [5]–[7], поэтому представляется практически важным анализировать особенности выработки навигационной информации за счет новых возможностей, имеющих принципиальные отличия в представлении навигационно-гидрографических факторов, с которыми судоводители сталкиваются при проводке судов через шлюзы.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Особенности применения 3D ЭНК для анализа навигационной информации на подходах к шлюзам. При проводке судна на подходах к шлюзам понимание навигационной обстановки формируется на основе наблюдения за местоположением и движением судна относительно знаков навигационного оборудования. Для обеспечения навигационной безопасности проводки судна необходимо понимание положения линии безопасного пути судна в маршрутной системе координат, т. е. по боковому отклонению от до навигационных ориентиров и дистанции до точки поворота. Задача судоводителя состоит в том, чтобы визуально оценивать местоположение судна и параметры его движения как относительно навигационных ориентиров, так и относительно линии безопасного пути. Для этого недостаточно только знания кинематических параметров движения судна, скорости и направления их изменения, необходимо понимать и анализировать основные причины, вызывающие такие изменения. Значение навигационно-гидрографических факторов в процессе обеспечения навигационной безопасности плавания можно оценивать по степени подобия между представлением навигационной обстановки на навигационной карте и обстановкой, наблюдаемой на местности.

Знаки навигационного оборудования, обозначающие ось и кромки подходного пути, выставляются таким образом, чтобы в каждый момент времени в поле зрения судоводителя находилось несколько ориентиров, что позволяет оценить местоположение. Боковое отклонение судна от оси подходного пути непрерывно меняется, при этом амплитуда такого отклонения будет зависеть в том числе от навигационно-гидрографических факторов. При достаточной протяженности прямолинейных участков совокупность знаков навигационного оборудования создает достаточную плотность визуальных полей навигационных параметров для ориентирования, так что при следовании по участку для обеспечения навигационной безопасности плавания достаточно оценивать местоположение судна и корректировать его за счет управления курсом.

Анализ картографических данных на подходах к шлюзам показал сложность опасных изобат, ограничивающих области, которые могут быть использованы для движения судна, обусловленные сложностью геометрической формы, изрезанностью кромок, сужением прямолинейных участков в начале криволинейных, значительными изменениями фактических габаритов криволинейных участков. Фактическое положение опасных изобат, а значит, и области водного пространства, доступные для движения судна, будут меняться в зависимости от фактического уровня воды, т. е. представляют собой динамическую информацию. Сложность формы обуславливает также сложность обозначения кромок знаками навигационного оборудования, среди которых могут быть как плавучие, так и береговые. При ориентировании с использованием нескольких знаков возможны ошибки, которые могут привести к опасности чрезмерного сближения судна с областью недостаточных глубин.

Сравнительный анализ выполнен при следовании судна полным ходом с незначительным углом дрейфа в процессе выхода на прямолинейный участок (рис. 1, а), прохождении судном крутого поворота с резким изменением курса и выходом на прямолинейный участок по инерции (рис. 1, б). Таким образом, на рис. 1 приведены примеры отображения в 3D ЭНК местоположения и параметров движения судна в виде векторов с метками масштаба времени, автоматизированного построения области опасных глубин применительно к осадке судна при фактическом уровне воды. Водное пространство, которое может быть использовано для движения судна, показано градиентной заливкой, что позволяет визуальное оценивать стесненность условий плавания [8].

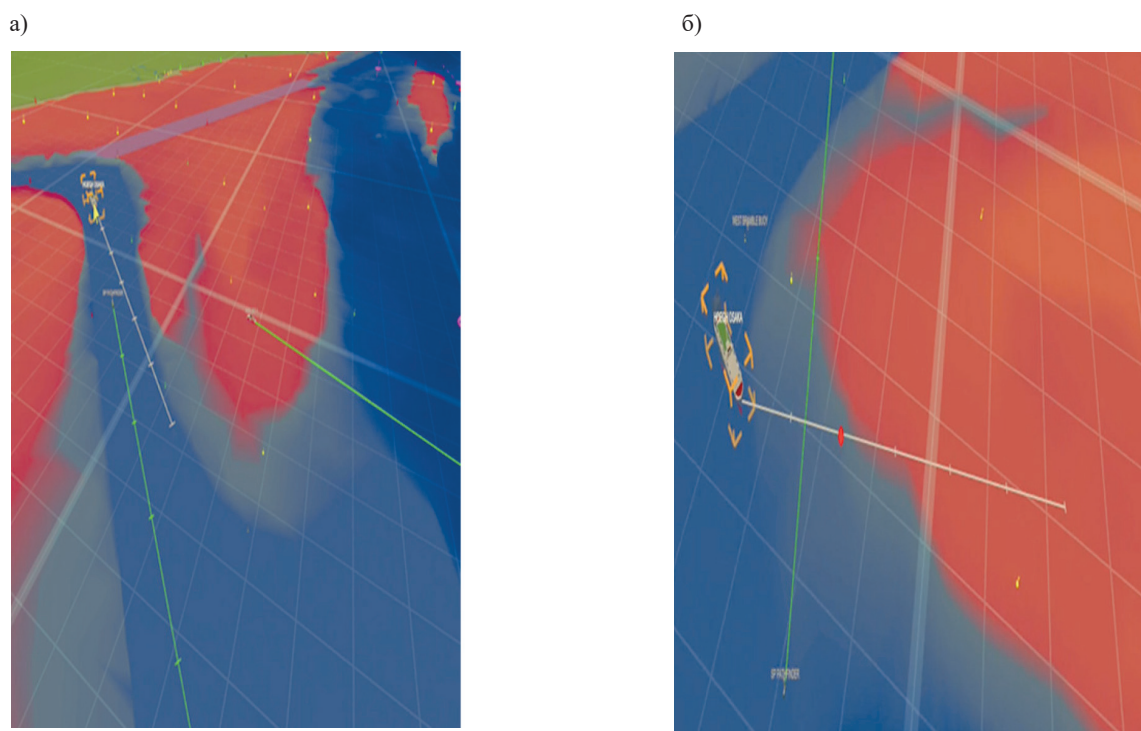


Рис. 1. Фрагмент 3D электронной навигационной карты, отображающей навигационную обстановку:
а — при выходе судна на прямолинейный участок;
б — и выходе судна на прямолинейный участок с большим углом дрейфа

Использование ЭКНИС в режиме отображения 3D ЭНК позволяет судоводителю выполнять навигацию по 3D пространству не только последовательным изменением точки обзора, но и панорамированием, т. е. выполнением одновременного перемещения и масштабирования. Панорамный обзор позволяет визуальное оценивать местоположение и движение судна как относительно знаков навигационного оборудования, так и относительно пространственных навигационных опасностей или их отдельных элементов. Достоверность наблюдаемой (моделируемой картой навигационной ситуации), обеспечивается за счет того, что 3D ЭНК отображают глубины, полученные не методом моделирования, а с учетом фактического состояния уровня воды. При этом высокая точность

информации о глубинах позволяет за счет управления точкой обзора и масштабом оценивать отдельные выступающие формы подводного рельефа, глубины над которыми близки к предельным, а окружающие глубины достаточны, что позволяет оперативно оценивать линию выбранного пути, при необходимости корректируя траекторию движения судна или метод управления рулем. Параллельно с оценкой подводной обстановки можно визуальнo оценивать дистанции и направления на отдельные навигационные ориентиры либо на несколько ориентиров одновременно, т. е. выполнять детализированную оценку границ и направлений подходного пути.

Изменение направления вектора скорости судна относительно области опасных глубин и одновременно знаков навигационного оборудования информирует судоводителя об эффективности принимаемых мер для следования по линии безопасного пути, а также позволяет оценить действия, необходимые для корректирования фактической траектории движения судна. В условиях плавания, характерных для пришлюзовых участков, 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. При недостаточно точном ориентировании и выполнении корректирующих действий с задержкой это может привести как к зарыскиванию и касанию корпусом судна кромки подходного пути, так и к касанию судном грунта за счет чрезмерной просадки. Для соблюдения судном скоростного режима, обусловленного лимитирующим влиянием уровня воды, необходимо постоянно регулировать работу движителей, что, в свою очередь, обуславливает режим работы органом рулевого управления. При следовании судна по прямолинейным участкам и прохождении вблизи мелей для предотвращения чрезмерного зарыскивания судна за счет гидродинамического взаимодействия с мелководными участками необходимо перекладывать руль на большие углы перекладки и осуществлять предикцию управления рулем.

Особенности применения 3D ЭНК для анализа навигационной информации при следовании в подходных каналах шлюзов. Управление судном как в подходных каналах с ограниченными по ширине габаритами, так и на участках канала, имеющих достаточное пространство для маневрирования, но с минимальным отношением глубины к осадке, представляет сложную задачу для судоводителя. Несмотря на хорошую теоретическую базу выработанные на ее основе рекомендации, получившие практическое применение, имеют обобщенный характер [9], [10]. При проводке судов в подходных каналах, которые характеризуются минимальными навигационными запасами (рис. 2), между корпусом судна и подводным рельефом проявляются взаимодействия гидродинамического характера, оказывающие влияние на способность судна удерживать курс или вызывающие значительную рыскливость. Заблаговременная проработка участков, выполненная в 3D ЭНК, поможет выработать упреждающие действия, т. е. детализировать план будущей проводки судна.

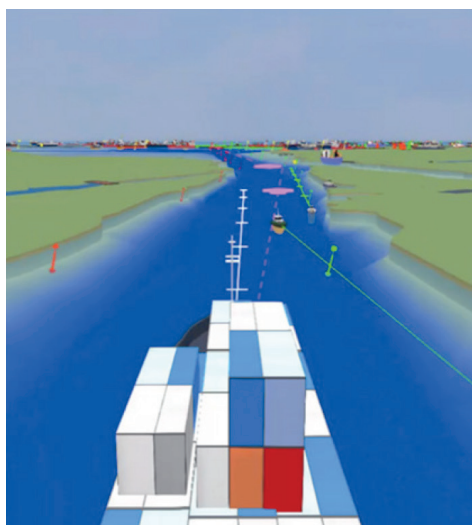


Рис. 2. Пример представления навигационной информации на подходе к шлюзу со стороны нижнего бьефа в 3D ЭНК при положении точки наблюдения на мостике судна

Сложным участком для проводки судна является заход в подходной канал шлюза, поскольку при этом возникают значительные углы сноса от течения, резко снижающие габариты подходного пути. Возникает противоречие, вызванное необходимостью снижения скорости, с одной стороны, и компенсации сноса от течения, с другой. В практике управления судном для обеспечения безопасной скорости нередко приходится сразу после захода в подходной канал следовать по инерции.

При несвоевременном снижении скорости возрастает необходимость резкого вхождения в поворот и в данном случае контроль за изменением вектора скорости судна будет иметь важное значение для своевременного выполнения корректирующих действий. При запоздалом начале поворота стремление точно выйти на середину подходного канала за счет больших переключений руля и включения движителей в работу на большие обороты приводит к значительному росту общего дрейфа, увеличивая поперечное движение кормы. При выходе судна на середину канала важное значение имеет оперативный учет дрейфа судна, который вне зависимости от точности выполнения поворота будет направлен в сторону внешнего борта циркуляции, обуславливая тем самым риск сближения с навигационными опасностями кормовой оконечности судна. При заблаговременном снижении скорости для создания управляющих сил необходимо делать большие углы переключения руля, компенсируя дрейф за счет большего изменения курса судна. Боковое отклонение судна и угол дрейфа будут определять кратчайшие расстояния от корпуса судна до навигационных опасностей и, таким образом, навигационную безопасность плавания. Для достоверной визуальной оценки движения судна необходим учет поперечных составляющих скорости носовой и кормовой оконечности.

В подходных каналах шлюзов, имеющих минимальные габариты, при отсутствии любых внешних воздействий для практики управления судном необходим учет особенностей обтекания корпуса судна водным потоком, который, ввиду стесненности условий, следует рассматривать как течение, вызванное движением судна и имеющее свою инерцию. Когда ввиду гидродинамического взаимодействия корпуса судна с подводным рельефом и кромками наблюдается отклонение судна от курса, судоводитель выполняет переключение руля для прекращения такого отклонения, однако возникающая при этом инерция судна, а также создаваемое движением судна течение, имеющее свою инерцию, усиливают этот эффект и, соответственно, снижают эффективность управления рулем. Повышение точности управления возможно за счет упреждающих переключений руля, выполняемых с учетом новых видов детализированной навигационной информации, полученных по 3D ЭНК:

- расхождение между осью канала, наблюдаемой визуально по знакам навигационного оборудования и условной линией, проходящей в средней части области наибольших глубин;
- положение оконечностей судна относительно кромок криволинейного канала;
- положение оконечностей судна относительно выступающих в направлении оси канала форм подводного рельефа.

Пример оценки навигационной безопасности при следовании судна по правой стороне подходного канала по 3D ЭНК представлен на рис. 3, где показаны как условные линии, обозначающие ось канала и его кромки, так и водное пространство, а также элементы подводного рельефа, расположенные с ближнего к кромке канала борта.

Следование с минимальной скоростью, с одной стороны, увеличивает время для выполнения оценки, а с другой — требует обоснованного и хорошо продуманного выполнения упреждающих действий, поскольку как только произойдут резкие изменения, требующие выполнения эффективного маневра (например, выхода на ось канала по траектории, имеющей минимальную кривизну), движение с работающими на задний ход или неработающими движителями станет фактором, ограничивающим возможности маневрирования. Таким образом, следование судна с минимальной скоростью требует выполнения действий с упреждением для обеспечения навигационной безопасности плавания.



Рис. 3. Пример представления навигационной информации при смещении судна с оси подходного канала шлюза в 3D ЭНК при положении точки наблюдения вне судна

При движении с минимальной скоростью выполнение детализированной оценки пространства между оконечностями судна и кромками криволинейного канала подводными навигационными опасностями выполняется не как возможность усиления контроля, а как необходимая составляющая контроля навигационной безопасности плавания судна. При анализе такого движения следует оценивать не только количество градусов, на которое необходимо изменить курс, полагая, что судно находится на оси канала, но и фактическое поперечное смещение судна под действием внешних и управляющих сил. Ввиду инерционности судна и окружающего водного потока, приводящей к временным задержкам в проявлении суммарного действия факторов, точность их качественной оценки будет иметь приоритет над оценкой количественной точности.

Особенности применения 3D ЭНК для анализа навигационной информации при заходе в шлюз / выходе из шлюза. Выход на ось шлюза может потребовать значительного изменения курса при сохранении минимального поступательного движения вперед или при движении назад. При выполнении таких маневров угловая скорость и угол дрейфа возрастают, что однозначно вызовет трудности при визуальном ориентировании ввиду значительного отличия направления движения судна от направления диаметральной плоскости судна. В этом случае судоводителю важно без промедлений придать судну криволинейное движение с заданными параметрами и своевременно одержать судно, при этом необходимо оценивать дистанции до ближайших опасностей и ориентироваться на перспективу. Примером использования 3D ЭНК для получения навигационной информации в сложных навигационных условиях может служить представленный на рис. 4 фрагмент отображения навигационной обстановки вокруг судна при подходе к точке начала маневра выхода на ось шлюза [11].

Хорошая практика управления судном требует вести наблюдение и управлять судном так, чтобы полностью оценивать обстоятельства и условия плавания. При этом возможности судоводителя для практического ведения наблюдения с учетом лимитирующего влияния навигационно-гидрографических факторов существенно ограничены. Такие ограничения связаны, в первую очередь, с особенностями зрительного восприятия пространственного положения судна, поскольку вести сосредоточенное наблюдение возможно только в ограниченном секторе. Поэтому для полноты оценки ситуации судоводитель систематически переключает внимание с оценки общего движения судна на оценку движения носовой и кормовой оконечностей или с незначительных деталей окружающей обстановки на некоторые резкие изменения. Оценка кинематических параметров движения судна при использовании знаков навигационного оборудования выполняется с определенной ошибкой, величина которой может случайным образом накапливаться при худшем сочетании обстоятельств, что приводит к наблюдению резких изменений, или может

компенсироваться при благоприятных обстоятельствах, так что наблюдаемое движение судна оценивается как плавное.

Выполняя периодический переход от наблюдения общей картины движения судна к наблюдению за движением носовой и кормовой оконечности по отдельности или выполняя наблюдение за движением одной из оконечностей с борта судна либо иной характерной точки на корпусе судна, используя при этом смену точки обзора (рис. 4, а), судоводитель может оценить новую зрительную информацию, упредив таким образом процесс ориентирования. Вывод об информативности наблюдения и оценке местоположения и движения носовой и кормовой оконечностей судна за счет изменения параметров точки обзора и масштабирования при использовании 3D ЭНК можно получить по фрагментам 3D ЭНК, представленным на рис. 4, отображающим, соответственно, выполнение маневров судов при заходе в двухниточный шлюз и выходе из него [11].

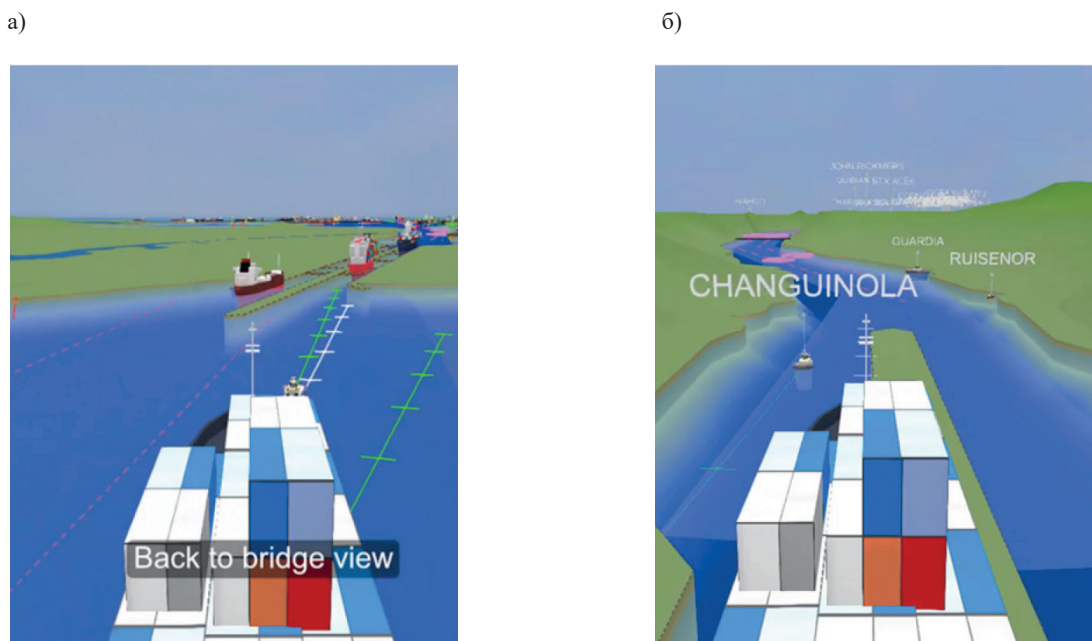


Рис. 4. Пример представления навигационной информации при положении точки наблюдения на мостике судна:
а — на подходе к шлюзу со стороны верхнего бьефа в 3D ЭНК;
б — на выходе из шлюза в сторону нижнего бьефа в 3D ЭНК

Применение современных прикладных программных приложений, позволяющих выполнять математическое моделирование управляемого движения судна, и пошаговый анализ полученных результатов позволяют сделать обоснованный вывод о том, что маневрирование судна на подходах к шлюзу имеет достаточно подробное теоретическое описание и практическое обоснование [8], [9]. Выполнение маневров по заходу в шлюз регламентируется как организационно, так и технически, что создает их видимую однотипность. Подробное фрагментарное рассмотрение каждого из маневров позволяет заключить, что практически каждый заход в шлюз имеет свои отличия как в ориентировании, несмотря на неизменное положение знаков навигационного оборудования, так и в действиях по управлению судном, несмотря на неизменность правил шлюзования.

Действия, выполняемые судоводителем для захода в шлюз, могут быть описаны в виде приведенной последовательности:

- следование с безопасной скоростью;
- визуальная навигация по знакам навигационного оборудования при невозможности ориентирования по гидротехническим сооружениям и конструкциям шлюза;
- визуальная навигация относительно гидротехнических сооружений и стенок камеры шлюза при их четком наблюдении.

Навигация по 3D ЭНК предполагает как ступенчатую смену положений точки глаза наблюдателя (например, с мостика судна, вне судна, ниже / выше ватерлинии), так и гибкую пространственно-графическую подстройку, таким образом, не вызывая необходимости следования многоступенчатым алгоритмам. Такое управление минимизирует время, затрачиваемое судоводителем на ожидание получения навигационной информации, позволяя обращать внимание не только на значительные изменения навигационной обстановки, но и принимать во внимание некоторые нюансы, которые по отдельности могут быть незначительными, но при суммарном воздействии способны оказывать значительное влияние, как положительное, т. е. не требующее дополнительных действий, так и негативное, требующее решительных действий.

Переход от суммарного анализа движения судна к детализированному движению оконечностей судна способствует такому заданию управляющих воздействия, чтобы движения осуществлялись на контролируемом расстоянии от навигационных опасностей с минимальными углами дрейфа, приемлемой точностью следования по оси подходного канала и своевременным выходом на ось камеры шлюза.

Обсуждение (Discussion)

ЭКНИС представляет собой средство судовождения, интегрирующее большинство навигационной информации, находящейся в распоряжении судоводителя, осуществляющего управление судном. Однако при отображении всей информации на стандартных ЭНК проявляется отрицательный эффект интегрирования, связанный с увеличением количества информации, предназначенной для единовременного зрительного восприятия и последующего анализа. Совершенно очевидно, что в условиях лимитирующего влияния навигационно-гидрографических факторов период времени, необходимый для выполнения аналитической работы, а также возможности судоводителя для решения соответствующих задач управления судном будут ограничены.

3D ЭНК отображает картографическую информацию в новом для ЭКНИС пространственно-графическом виде, что применительно к специфике решения задач по управлению судном в условиях лимитирующего влияния навигационно-гидрографических факторов является новым. Такое отображение не вызывает увеличения нагрузки карты и, как следствие, затруднения зрительного восприятия общей навигационной обстановки, включающей все элементы отображаемого картографического изображения как единого целого, так и его частных деталей, формируемых картографическими объектами, имеющими общие качественные признаки. Таким образом, применение 3D ЭНК предоставляет новые возможности для проведения детализированного анализа интересующей области карты.

Анализ специфичной и важной для подходных путей шлюзов информации о глубинах, границах и направлениях подходного пути, знаках берегового и плавучего навигационного оборудования открывает новые функциональные возможности 3D ЭНК:

- выявление геометрических особенностей водного пространства с наибольшими глубинами в функции уровня воды или величины превышения некоторой высотной отметки;
- создание визуального образа пространственной навигационной опасности, интегрированного из множества отличительных глубин;
- определение дифференцированного расстояния между осью подходного канала, обозначенной на карте как прямой, так и радиусной линией, и динамической линией, проходящей в средней части области наибольших глубин;
- определение динамики изменчивости водного пространства между оконечностями судна и кромками криволинейного канала;
- контроль динамики изменчивости кратчайшего расстояния между подводной частью корпуса судна и отдельными выступающими в направлении оси канала формами подводного рельефа.

Достижение целостности оценки обеспечивается количественными характеристиками наблюдения, переходящими в качественные за счет аналитической работы судоводителя с визуальной картографической информацией.

Выводы (Summary)

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен анализ особенностей использования 3D ЭНК применительно с специфическим задачам проводки судна по подходным путям шлюзов, обладающих различными характеристиками, проявляющимися в изменчивости навигационных условий плавания, с одной стороны, и стабильности системы навигационного оборудования, с другой. Данное противоречие предъявляет особые требования к объему знаний, умениям и навыкам судоводителей в процессе работы с навигационными картами для получения как предварительной, так и оперативной навигационной информации.

2. Представление картографической информации в виртуальном пространстве, реализуемое в 3D ЭНК, позволяет устранить недостатки, присущие стандартным ЭНК, давая возможность работать с большими объемами информации благодаря простоте и скорости переключения от единого информационного массива, обладающего целостностью, к отдельным ситуативно значимым фрагментам. Такая функциональность является ключевым фактором предоставления судоводителю полного спектра навигационной информации вне зависимости от специфичности и изменчивости характеристик, свойственных для подходных путей шлюзов, а также может найти применение при организации дистанционного управления флотом [12], [13].

3. Управление представлением навигационно-гидрографических факторов и плотности нагрузки карты, необходимой для их отображения, осуществляется за счет панорамирования, включающего одновременное выполнение навигации и масштабирования 3D пространства, т. е. исключает активирование специальных сложно настраиваемых функций, имеющих ступенчатое управление. Панорамирование позволяет выполнять предварительную проработку любого участка маршрута за счет управления качественными и количественными характеристиками имеющейся навигационной информации, а не использования картографической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дыда А. А. Подход к управлению судном по траектории на основе градиента вспомогательной функции / А. А. Дыда, К. Н. Чумакова, И. И. Пушкарёв // Научные проблемы водного транспорта. — 2020. — № 65. — С. 27–36. DOI: 10.37890/jwt.vi65.125. — EDN G1NHZT.

2. Клементьев А. Н. Методические аспекты исследования гидродинамических полей вокруг корпуса судна при моделировании его движения в стесненных условиях / А. Н. Клементьев, И. В. Липатов, А. Н. Ситнов // Морские интеллектуальные технологии. — 2018. — № 4–2(42). — С. 56–62. — EDN IMEWAN.

3. Wang H.-Z. Numerical study on hydrodynamic interaction between a berthed ship and a ship passing through a lock / H.-Z. Wang, Z.-J. Zou // Ocean Engineering. — 2014. — Vol. 88. — Pp. 409–425.

4. Каюда А. В. Разработка контрольно-информационной системы обеспечения безопасности судопропуска / А. В. Каюда, М. А. Колосов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 337–345. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-337-345.

5. 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. — EDN JTKWVW.

6. 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 им. адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 537–550. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-537-550. — EDN MXNKEQ.

7. 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.

8. GeoVS Viewer — Hoegh Osaka grounding in Southampton 3-Jan-2015: demonstration video [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://vimeo.com/115963050> (дата обращения: 14.10.2024).

9. Vantorre M. Maneuverability in lock access channels. “What’s new in the design of navigation locks?” / M. Vantorre, J. Richter. // 2nd International Workshop, PIANC, New Orleans. 13–14 September 2011. — 2011. — Vol. 2. — Is. 6. — Pp. 1–5.

10. Duarte H. O. Review of practical aspects of shallow water and bank effects / H. O. Duarte, E. L. Drogue, M. R. Martins // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part A: International Journal of Maritime Engineering. — 2016. — Vol. 158. — Pp. 177–186. DOI: 10.3940/rina.ijme.2016.a3.362.

11. SRT plc group, C–Vu® 3D VTS. PPU in Panama Canal — with traffic: demonstration video [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://vimeo.com/51063876> (дата обращения: 14.10.2024).

12. Каретников В. В. К вопросу разработки основных концептуальных положений системы дистанционного управления техническим флотом / В. В. Каретников, С. В. Рудых, А. А. Буцанец // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 2. — С. 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-7-15. — EDN KFIHYI.

13. Буцанец, А. А. Организация системы дистанционного управления беспилотным техническим флотом для обеспечения судоходства на внутренних водных путях. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / Артем Александрович Буцанец. — СПб.: ФГБОУ ВО ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2021. — 189 с. — EDN MFMQJR.

REFERENCES

1. A. A. Dyda, K. N. Chumakova, I. I. Pushkarev «Podkhod k upravleniyu sudnom po traektorii na osnove gradienta vspomogatelnoy funktsii.» *Nauchnye problemy vodnogo transporta* 65. (2020.): 27–36. DOI: 10.37890/jwt.vi65.125.

2. A. N. Klementev, I. V. Lipatov, A. N. Sitnov “Metodicheskie aspekty issledovaniya gidrodinamicheskikh polej vokrug korpusa sudna pri modelirovanii ego dvizheniya v stesnnykh usloviyakh.” *Morskie intellektualnye tekhnologii* 4–2(42). (2018): 56–62.

3. Wang, Hong-Zhi, and Zao-Jian Zou. “Numerical study on hydrodynamic interaction between a berthed ship and a ship passing through a lock.” *Ocean Engineering* 88 (2014): 409–425.

4. A. V. Kayuda, M. A. Kolosov “Razrabotka kontrolno-informatsionnoy sistemy obespecheniya bezopasnosti sudopropuska.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 9.2 (2017): 337–345. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-337-345.

5. V. V. Karetnikov, A. A. Prokhorenkov, K. I. Efimov “Dinamika metodologii upravleniya sudnom v uzlosti pri ispolzovanii 3D navigatsionnykh kart.” *Morskaya radioelektronika* 3(69). (2019): 44–49.

6. V. V. Karetnikov, A. A. Prokhorenkov, Yu. N. Lysenko “Isolzovanie 3D elektronnykh navigatsionnykh kart dlya preduprezhdeniya navigatsionnykh avarijsudov pri prokhozhenii shlyuzov na vnutrennikh vodnykh putyakh.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 12.3 (2020): 537–550. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-537-550.

7. A. A. Prokhorenkov “Povyshenie effektivnosti resheniya zadach upravleniya sudnom v stesnnykh usloviyakh pri ispolzovanii morskikh 3-D elektronnykh navigatsionnykh kart.” *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* 4. (2019): 76–85.

8. GeoVS Viewer — Hoegh Osaka grounding in Southampton 3-Jan-2015: demonstration video. Web. 14 Oct. 2024 <<https://vimeo.com/115963050>>.

9. Vantorre, Marc, and Jan Richter. “Maneuverability in lock access channels.” *What’s new in the design of navigation locks* 2nd International Workshop, PIANC–New Orleans, 13–14 Sept. 2011 2.6 (2011): 1–5.

10. Duarte H. O., Drogue E. L., Martins M. R. “Review of practical aspects of shallow water and bank effects.” *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part A: International Journal of Maritime Engineering* 158 (2016): 177–186. DOI: 10.3940/rina.ijme.2016.a3.362.

11. SRT plc group, C–Vu® 3D VTS. PPU in Panama Canal — with traffic: demonstration video. Web. 14 Oct. 2024 <<https://vimeo.com/51063876>>.

12. V. V. Karetnikov, S. V. Rudykh, A. A. Butsanets “K voprosu razrabotki osnovnykh kontseptualnykh polozhenij sistemy distantsionnogo upravleniya tekhnicheskimi flotom.” *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* 2. (2019): 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-7-15.

13. Bucanec, A. A. Organizaciya sistemy distancionnogo upravleniya bespilotnym tekhnicheskim flotom dlya obespecheniya sudohodstva na vnutrennih vodnyh putyakh. PhD diss. SPb.: FGBOU VO GUMRF im. admiral S. O. Makarova, 2021.

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: kaf_svvp@gumrf.ru,
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Прохоренков Андрей Александрович — кандидат технических наук
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
Андреев Юрий Геннадьевич — доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: urgendocent@yandex.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
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
Andreev, Yuri G. — PhD
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation
e-mail: urgendocent@yandex.ru, kaf_svvp@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 25 октября 2024 г.
Received: Oct. 25, 2024.