

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

Научная статья

УДК 629.12

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2025/66-73>**Проектирование
и анализ прочности носовой аппарели судна****Фам Чунг Хиеп**✉, Ха Ван Зуй, Фунг Ван Лонг, Буй Ван Хуинь, Нгуен Ван Кьен

Исследовательский институт кораблестроения, Ханой, Вьетнам

✉ phiepast07@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы проектирования носовой аппарели транспортно-десантного судна. Подчёркнута актуальность строительства транспортно-десантных судов с позиции логистики, включая транспортные средства для доставки грузов на необорудованный берег, а также необходимость проектирования для них соответствующих судовых аппарелей. Обобщён опыт проектирования судовых аппарелей с учётом их эксплуатационных повреждений. Для конкретного судна разработана схема двухсекционной носовой аппарели. Выполнены расчёты напряжённо-деформированного состояния её конструкций методом конечных элементов при трёх расчётных случаях. Результаты расчётов показали, что уровень наибольших напряжений в конструктивных связях аппарели во всех случаях удовлетворяет требованиям Правил Вьетнамского Регистра. Проектное решение было реализовано весной 2024 года и полностью соответствовало поставленным техническим заданиям.

Ключевые слова: транспортно-десантное судно, носовая аппарель, прочность, напряжённо-деформированное состояние

Для цитирования: Фам Чунг Хиеп, Ха Ван Зуй, Фунг Ван Лонг, Буй Ван Хуинь, Нгуен Ван Кьен. Проектирование и анализ прочности носовой аппарели судна // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2025. № 1(62). С. 66–73.

DESIGN AND CONTRUCTION OF SHIP

Original article

Design and strength analysis of the vessel's bow ramp**Pham Trung Hiep**✉, Ha Van Duy, Phung Van Long, Bui Van Huynh, Nguyen Van Kien

Institute of Ship Design, Hanoi, Vietnam

✉ phiepast07@gmail.com

Abstract. The article discusses issues of landing vessel transport's bow ramp design. The importance of constructing landing vessel transport for delivering equipment and cargo to undeveloped shores of the Vietnamese sea, along with designing its ramps was shown. Simultaneously, the article outlines the experience of designing and damage of vessel bow ramp. Schemes of a two-section bow ramp for the vessel have been developed. Additionally, structural stress-strain calculations using the finite element method were conducted under three design cases. The calculation results showed that the maximum stress levels in the bow ramp's structural elements complied with the Register's standards in all assessed cases. The design solution was successfully implemented in the spring of 2024 and achieved the specified technical requirements.

Keywords: landing vessel transport, bow ramp, strength, stress-strain state

For citation: Pham Trung Hiep, Ha Van Duy, Phung Van Long, Bui Van Huynh, Nguyen Van Kien. Design and strength analysis of the vessel's bow ramp. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2025, no. 1(62), pp. 66–73. (In Russ.).

Введение

Система морских островов и архипелагов представляет особую ценность для развития туризма, освоения ресурсов и защиты суверенитета прибрежных государств. Следует отметить, что морская инфраструктура островных территорий развита относительно слабо. Кроме того, большие расстояния от материка и недостаточно развитая транспортная система создают определённые трудности. Ключевую роль в освоении прибрежных и островных территорий во всём мире играют специализированные суда, способные без повреждений взаимодействовать с грунтом и осушаться при отливах для проведения выгрузки и погрузки [1, 2].

Уникальный опыт проектирования и эксплуатации специализированных судов был накоплен в ходе Второй мировой войны, особенно при десантных операциях в Тихом океане. Основное преимущество таких судов заключается в их способности высаживать десанты и выгружать грузы в необорудованных местах побережья, на пляжах, плёсах и т.п. Для достижения этих целей конструкция корпуса специально разрабатывается с малой осадкой, плоским днищем, просторным трюмом и откидывающейся носовой аппарелью [2].

На данный момент требования к разработке аппарелей судов, особенно для транспортно-десантных судов, не регламентируются в отечественных (вьетнамских) нормативных документах. Проектные решения, как правило, разрабатываются на основе практического опыта и требований Правил Вьетнамского Регистра (ВР) к обычным судовым конструкциям. Это ведёт к отсутствию единообразия в процессе проектирования. Сложные эксплуатационные условия и конструктивные особенности аппарелей требуют разработки дополнительных нормативных требований.

Опыт проектирования и эксплуатации аппарелей транспортно-десантных судов

В настоящее время разработано большое количество различных конструкций аппарелей: по расположению на судне различают носовые, кормовые и бортовые аппарели [3]. Носовые аппарели предпочтительно использовать на судах для проведения грузовых и десантных операций на необорудованный берег. Судно с носовой аппарелью может подойти ближе к береговой черте, создавая дифферент на корму с помощью соответствующей баллаستировки. Однако наличие аппарели в носу значительно усложняет конструкцию носовой оконечности за счёт установки подъёмного носа или носовых ворот [4].

На транспортно-десантных судах наиболее часто встречаются односекционные и двухсекционные аппарели, установленные в носовой оконечности в диаметральной плоскости. На рис. 1 представлена односекционная носовая аппарель, установленная на десантном катере водоизмещением 300 тонн. Конструкция спроектирована так, чтобы выдерживать сквозной проезд колёсной техники весом до 36 тонн. Габаритные размеры аппарели составляют $5,0 \times 4,1 \times 0,28$ м, а вес – около 4,6 тонны. Данный проект отличается простотой конструкции.



Рис. 1. Конструктивные схемы носовых аппарелей: а) односекционная; б) двухсекционная

Fig. 1. Design schemes of bow ramps: a) single-section; b) two-section

Двухсекционная носовая аппарель (рис. 1b) установлена на транспортно-десантном судне водоизмещением 1400 тонн. Ведущая секция шарнирно присоединена к корпусу судна с одного конца, а с другого – к опорному основанию. Её габаритные размеры составляют $6,4 \times 4,5 \times 0,5$ м, а вес – 10 тонн. Опорное основание, представляющее собой плоскую конструкцию для надёжного опирания на берег, увеличивает рабочую длину аппарели на 4 метра. Общий вес аппарели составляет около 15,6 тонны. В походном положении её высота достигает 5,5 метра. Конструкция носовой оконечности судна значительно усложняется из-за наличия ворот, которые обеспечивают водонепроницаемость корпуса в районе установки аппарели.

Повреждения носовой аппарели транспортно-десантных судов в процессе эксплуатации представляют собой серьёзную проблему, возникающую по различным причинам. Преобладают механические повреждения, возникающие в результате ударов о подводные препятствия, причал, а также из-за ударов волн в штормовых условиях. Интенсивная в южных морях коррозия вызвана воздействием неблагоприятных природных факторов, таких как повышенная солёность морской воды в сочетании с высокой температурой и влажностью воздуха. Наиболее уязвимыми местами являются шарнирные соединения и настил секций. Полученные повреждения сопровождаются деформациями конструктивных связей, а иногда поломкой несущих элементов конструкции аппарели и нарушением герметичности корпуса судна, что повышает риск возникновения аварийных ситуаций и требует дорогостоящего ремонта.

На рис. 2 изображена повреждённая аппарель парома Estonia, затонувшего в 1994 году в Балтийском море. Во время шторма удары волн повредили аппарель, что привело к её отрыву от креплений. В результате разгерметизации корпуса судно затонуло, унеся жизни 852 человек из 989, находившихся на борту. Этот инцидент стал катализатором ужесточения требований безопасности к конструкции и защите аппарелей на паромов [5].



Рис. 2. Поврежденная носовая аппарель парома Estonia

Fig. 2. The damaged bow ramp of the ferry Estonia

Разработка проекта носовой аппарели

Выбор типа и размеров аппарелей зависит от характеристик судна и проектной интенсивности грузовых работ. На рис. 3 представлена конструкция предложенной носовой аппарели для транспортно-десантного судна дедвейтом 550 тонн.

Аппарель состоит из двух секций: ведущей и опорного основания. Ведущая секция шарнирно закреплена на корпусной конструкции и соединена с опорным основанием посредством петель (3). Металлоконструкции секций, конструктивно близкие к обычным корпусным конструкциям, состоят из настила и подкрепляющих его, пересекающихся под прямыми углами балок.

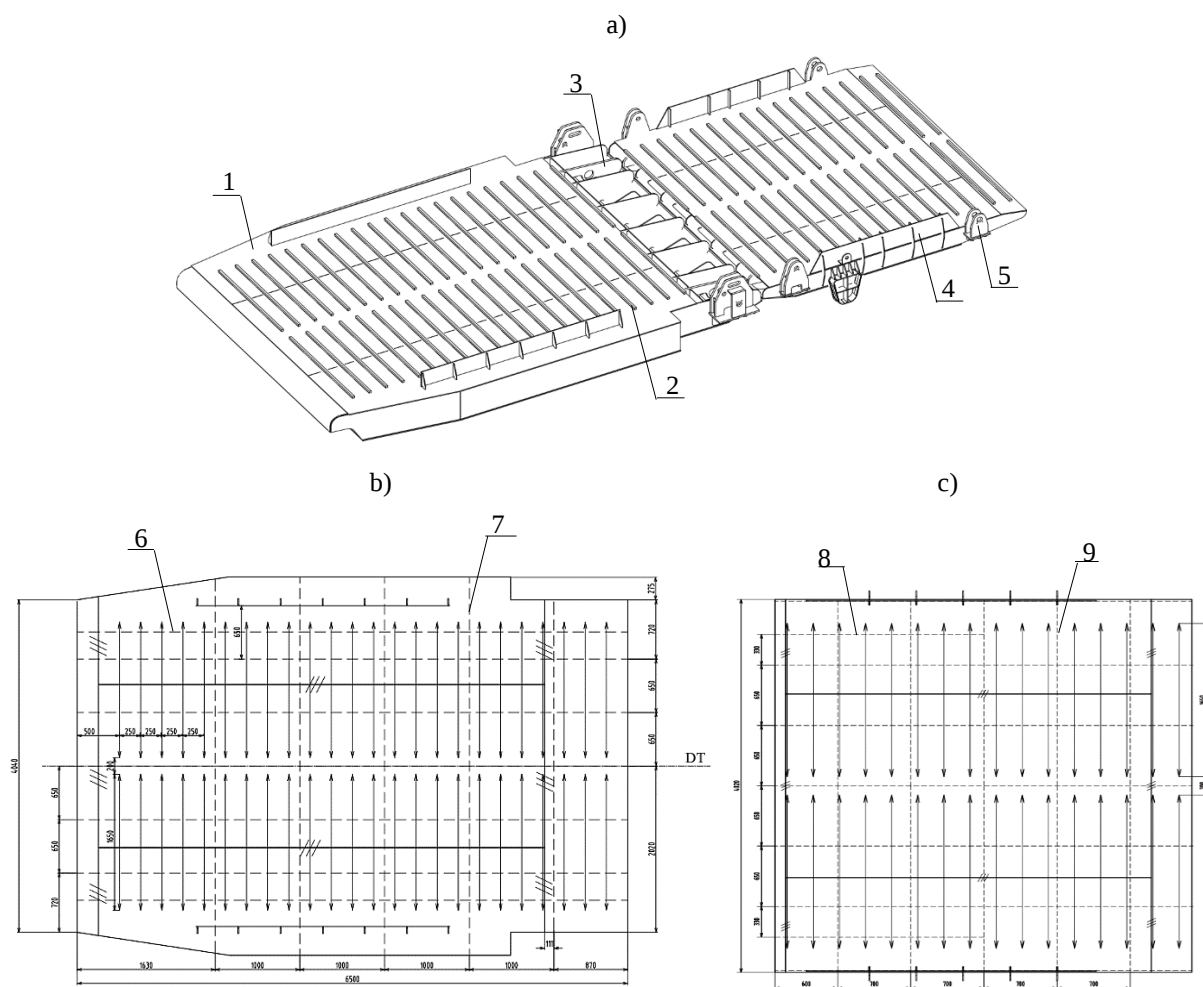


Рис. 3. Конструктивная модель секций аппарели

Fig. 3. Structural model of bow ramp sections

Настил секций (1) изготовлен из листов толщиной 12 мм, которые ориентированы длинной стороной вдоль секций. Такая ориентация листов позволяет варьировать толщину настила по ширине аппарели. На поверхности настила расположены тормозные полосы (2) размерами 30×30 мм. Поперечные рамные балки (7) и (9), изготовленные из полос толщиной 12 мм, устанавливаются с интервалом 1000 мм на ведущей секции и 700 мм – на опорном основании, подобно рамным бимсам, используемым при продольной системе набора палуб. Продольные рамные связи (6) и (8) установлены таким образом, чтобы находиться на середине ширины отпечатка наиболее нагруженного колеса или гусеницы транспортного средства, которое будет подавать груз на судно. Продольные рамные связи, как и поперечные, изготовлены из полос толщиной 12 мм и расположены с интервалом 650 мм на обеих секциях. Усиленные рамные связи (4) представляет собой балки, ограничивающие секции на продольных краях и служащие опорами для поперечных рамных связей. Плоское ушко (5) толщиной 44 мм используется для концевой заделки троса. Вес конструкций аппарели в целом составляет 16 тонн.

Проверка прочности спроектированной конструкции

В большинстве случаев причаливание судна к необорудованному берегу будет производиться в условиях отсутствия волнения, то есть практически без качки. Однако на практике бывают и более сложные ситуации, когда после остановки с дифферентом на корму судно в частично осушенном состоянии продолжает колебательные движения из-за волнения и движения транспортных средств. Пример такой ситуации иллюстрируется на рис. 4.



Рис. 4. Процесс движения экскаватора по аппарели

Fig. 4. The movement of excavator on the bow ramp

Полагалось, что приложенные к аппарели динамические нагрузки, возникающие при движении экскаватора по колеблющейся поверхности, имеет случайный характер. При этом рассмотрены три варианта расположения техники на аппарели.

Случай 1: Экскаватор находится на переднем крае ведущей секции (см. в нос), то есть нагрузки приложены к передней части ведущей секции (рис. 5а).

а) случай 1

б) случай 2

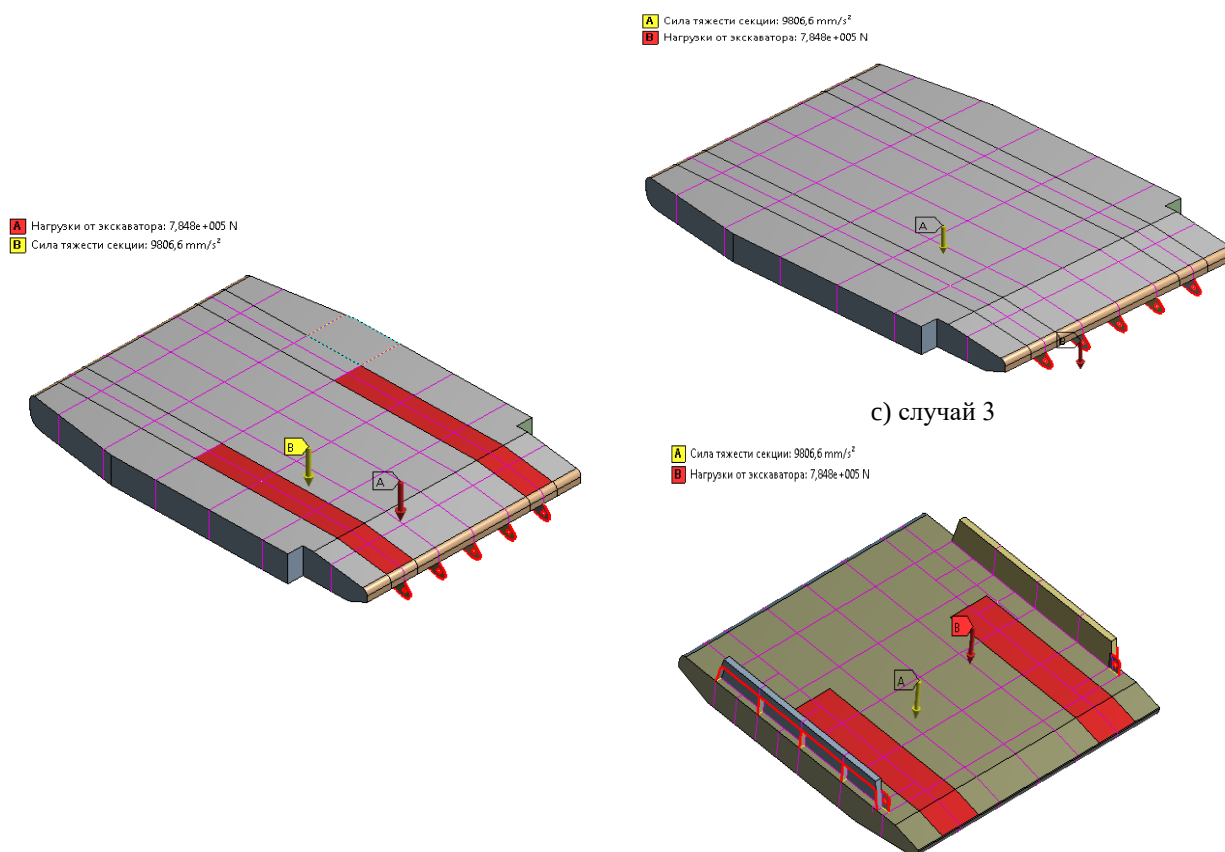


Рис. 5. Распределение расчётных нагрузок в случаях

Fig. 5. Distribution of calculated loads in cases

Случай 2: Экскаватор находится на задней части опорного основания (см. в нос), то есть предполагается, что нагрузки воздействуют на петли, соединяющие ведущую секцию с опорным основанием (рис. 5б).

Случай 3: Экскаватор находится на переднем крае опорного основания (см. в нос), то есть нагрузки действуют на переднюю часть опорного основания (рис. 5с).

Следует отметить, что ВР допускает для конструктивных элементов носовой аппарели расчётное проектирование по предельному состоянию, допускающее текучесть и ограниченные остаточные деформации. Для проверочных расчётов можно принять допускаемый уровень напряжений в конструктивных элементах 235 МПа, соответствующий пределу текучести материала.

Расчёты напряжённо-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции носовой аппарели без учёта износа были выполнены с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в программе ANSYS Workbench.

Динамические расчётные нагрузки от гусеничного экскаватора на конструкцию аппарели определяются через коэффициент динамичности нагрузки. Согласно рекомендациям отечественных (вьетнамских) нормативных документов и российских источников по машиностроению, для рассматриваемого случая максимальное значение коэффициента динамичности нагрузки составляет 2,5 [6, 7]. Таким образом, расчётные динамические нагрузки от гусеничного экскаватора весом 32 т составляют 80 т. Места приложения расчётных нагрузок показаны на рис. 5. Здесь нагрузки от экскаватора обозначены красной стрелкой, а сила тяжести секции – жёлтой стрелкой.

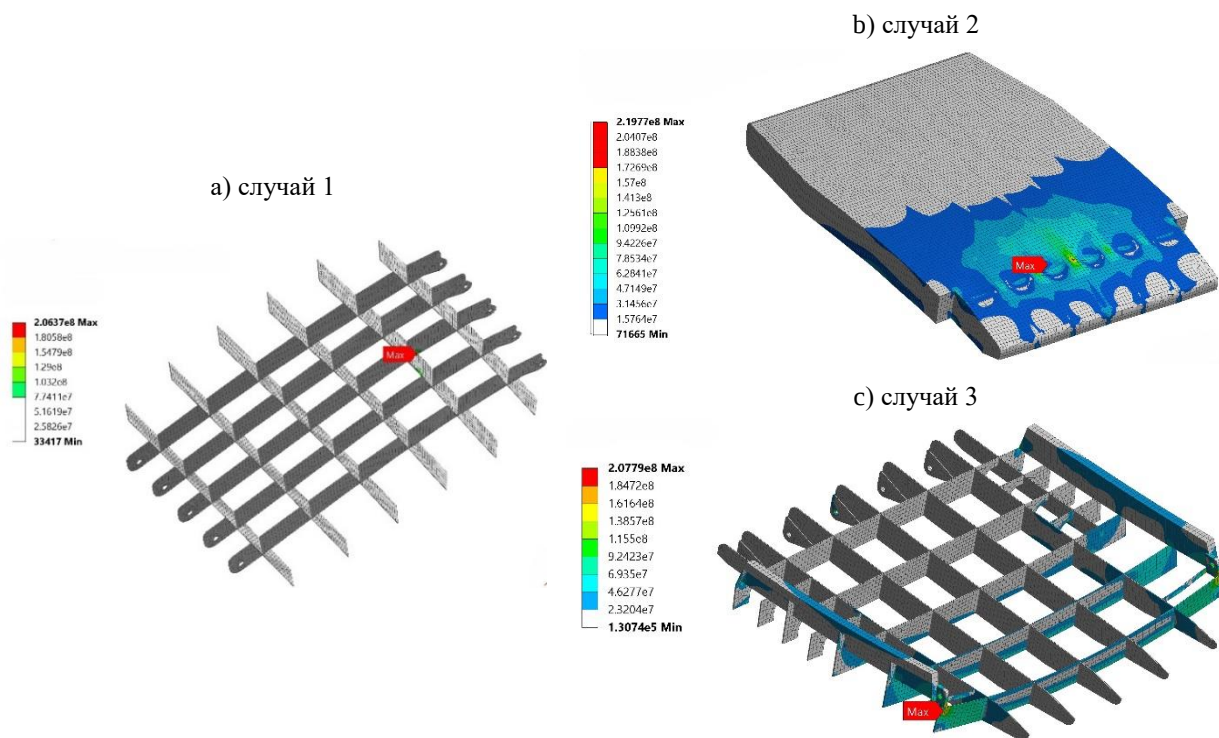


Рис. 6. Места максимальных напряжений (МПа) в расчётных случаях
Fig. 6. Maximum stresses (MPa) of section in calculated cases

Результаты расчётов НДС отражены на рис. 6. Видно, что во всех случаях нагружения во всех связях уровень наибольших напряжений удовлетворяет требованиям Правил [7]. Результаты расчётов показывают, что в первом случае уровень наибольших напряжений достигает 206 МПа и относится к продольным рамным балкам, что почти в 1,5 раза превышает напряжения в настиле ведущей секции. Во втором случае уровень наибольших напряжений достигается в настиле и составляет 220 МПа, что существенно выше напряжений в связях ведущей секции. В третьем случае уровень наибольших напряжений относится к поперечной рамной балке и составляет 208 МПа.

Таким образом, спроектированная носовая аппарель удовлетворяет условиям прочности, выдерживает эксплуатационные нагрузки и обеспечивает безопасную загрузку и выгрузку транспортных средств. Представленный проект был одобрен Регистром и реализован весной 2024 года при постройке транспортно-десантного судна [8].

Заключение

В работе показана актуальность проектирования транспортно-десантных судов с аппарельными устройствами для обеспечения снабжения островных территорий и защиты суверенитета. Проведён анализ характера эксплуатационных повреждений и опыта проектирования судовых аппарелей. Предложена схема двухсекционной носовой аппарели для транспортно-десантного судна. Проектные решения были проверены на основе прямых расчётов прочности МКЭ. Результаты показали, что уровень наибольших напряжений в конструктивных связях аппарели удовлетворяет требованиям Регистра. Спроектированная носовая аппарель была одобрена ВР и успешно реализована на одном из десантных судов, обеспечивая эффективную эксплуатацию судна.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Ха Ван Зуй, Буй Ван Хуинь – разработка концепции и дизайна исследования; Фунг Ван Лонг, Нгуен Ван Кьен – сбор данных; Фам Чунг Хиеп – анализ и интерпретация результатов; подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Ha Van Duy, Bui Van Huynh – study conception and design; Phung Van Long, Bui Van Huynh – data collection; Pham Trung Hiep – analysis and interpretation of results; draft manuscript preparation. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кулеш В.А., Фам Чунг Хиеп. Специализированные суда и развитие морской инфраструктуры Вьетнама // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2020. № 3(44). С. 60–70.
2. Фам Чунг Хиеп. Проектирование конструктивных усилений судов для посадки на грунт: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород., 2023. 24 с.
3. Судовые устройства: справочник / под ред. М.Н. Александрова. Ленинград: Судостроение, 1987. 656 с.
4. Симоненко А.С. Судовые аппарели. Ленинград: ЛКИ, 1983. 69 с.
5. Final report on the MV ESTONIA disaster of 28 September 1994. URL: <https://onse.fi/estonia/> (дата обращения: 15.04.2024).
6. Солодкая М.Г. Определение коэффициента динамичности в зависимости от величины неровности дорожного покрытия // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Международной научно-технической конференции. Минск: БНТУ, 2020. С. 74–77.
7. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép. QCVN21: 2015.BGTVT.P2A. Hà Nội. 412 p. (На вьетн. яз.).
8. Tàu VDB-550. URL: <https://www.qdnd.vn/> (дата обращения: 15.04.2024).

REFERENCES

1. Kulesh V.A., Pham Trung Hiep. Specialized ships and development of Vietnam's marine infrastructure. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2020, no. 3(44), pp. 60–70. (In Russ.).
2. Pham Trung Hiep. Design of structural reinforcements of ships for grounding. Abstract of Ph. D. (Eng.) thesis. Nizhny Novgorod, 2023, 24 p. (In Russ.).
3. Simonenko A.S. Ship's ramp. Leningrad, LKI Publ., 1983, 69 p. (In Russ.).
4. Alexandrov M.N. Ship devices. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987. 656 p. (In Russ.).
5. Final report on the MV ESTONIA disaster of 28 September 1994. URL: <https://onse.fi/estonia/> (accessed: 04.15.2024).
6. Solodkaya M.G. Determination of the dynamic coefficient depending on the size of road surface irregularities. *Road Construction and Its Engineering Support. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. Minsk, BNTU Publ., 2020, pp. 74–77. (In Russ.).
7. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép. QCVN21: 2015.BGTVT.P2A. Hà Nội. 412 p. (In Viet.).

8. Tàu VDB-550. URL: <https://www.qdnd.vn/> (accessed: 04.15.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фам Чунг Хиен – кандидат технических наук, Исследовательский институт кораблестроения (Ханой, Вьетнам).
✉ phiepast07@gmail.com

Pham Trung Hiep, Candidate of Engineering Sciences, Institute of Ship Design (Hanoi, Vietnam).

Ха Ван Зуй – кандидат технических наук, Исследовательский институт кораблестроения (Ханой, Вьетнам).
✉ vnmured4289@gmail.com

Ha Van Duy, Candidate of Engineering Sciences, Institute of Ship Design (Hanoi, Vietnam).

Фунг Ван Лонг – магистр, Исследовательский институт кораблестроения (Ханой, Вьетнам).
✉ phongthan070189@gmail.com

Phung Van Long, Master Student, Institute of Ship Design (Hanoi, Vietnam).

Буй Ван Хуинь – магистр, Исследовательский институт кораблестроения (Ханой, Вьетнам).
✉ huynhbui.141@gmail.com

Bui Van Huynh, Master Student, Institute of Ship Design (Hanoi, Vietnam).

Нгуен Ван Кьен – бакалавр, Исследовательский институт кораблестроения (Ханой, Вьетнам).
✉ nguyenkien0802@gmail.com

Nguyen Van Kien, Bachelor, Institute of Ship Design (Hanoi, Vietnam).

Статья поступила в редакцию / Received: 14.11.2024.

Доработана после рецензирования / Revised: 10.02.2025.

Принята к публикации / Accepted: 18.03.2025.