

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ/OPERATION OF WATER TRANSPORT, WATERWAYS AND HYDROGRAPHY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.84>

## БАЛЛАСТИРОВКА АВАРИЙНОГО СУДНА ПРИ ПОСАДКЕ НА МЕЛЬ

Научная статья

Терлыч С.В.<sup>1,\*</sup>, Банько П.В.<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (polina.banko[at]icloud.com)

### Аннотация

Реализуется методика балластировки аварийного судна при посадке на грунт и предотвращения его выбрасывания силами волн и ветра на мель. Рассмотрена математическая модель позиционирования судна при контакте с дном акватории путем принятия и перемещения жидкого балласта вдоль корпуса. Предложены расчетные зависимости и номограммы для определения рационального количества балласта, его позиционирования и перемещения. Даны рекомендации по предотвращению дрейфа судна во время аварийного контакта с грунтом. Выяснено, что предложенные графические зависимости повысят эффективность предотвращения дрейфа аварийного судна и будут способствовать подготовке экипажа судна к ухудшению погодных условий, уменьшению степени повреждений и объема спасательных работ. Количественная регламентация балластировки позволит преодолеть недостатки и более успешно использовать этот метод при выполнении аварийно-спасательных работ. Авторами предлагается создание и анализ математической модели аварийного судна, которое подлежит балластировке и в то же время дрейфует под воздействием ветра и волн в условиях мелководья и с высокой вероятностью выброса судна на мель.

**Ключевые слова:** аварийное судно, посадка на мель, мелководье, качка судов.

## BALLASTING OF A DISTRESSED VESSEL UPON STRANDING

Research article

Terlych S.V.<sup>1,\*</sup>, Banko P.V.<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russian Federation

\* Corresponding author (polina.banko[at]icloud.com)

### Abstract

A technique for ballasting a distressed vessel and preventing it from being thrown ashore by waves and wind during stranding and is implemented. A mathematical model for positioning a vessel when it comes into contact with the bottom of the water area by receiving and moving liquid ballast along the hull is discussed. Calculation dependencies and nomograms are proposed for determining the rational amount of ballast, its positioning and movement. Recommendations are given for preventing vessel drift during emergency contact with the bottom. It has been found that the suggested graphical dependencies will increase the effectiveness of preventing the drift of a distressed vessel and will help prepare the vessel's crew for worsening weather conditions, reducing the extent of damage and the volume of rescue work. Quantitative regulation of ballasting will overcome the shortcomings and make this method more successful in emergency rescue operations. The authors propose the development and analysis of a mathematical model of a distressed vessel that is subject to ballasting and at the same time drifts under the influence of wind and waves in shallow water conditions, with a high probability of the vessel becoming stranded.

**Keywords:** distressed vessel, stranding, shallow water, ship's motion.

### Введение

Балластировка аварийного судна после непредвиденной посадки на грунт известна как наиболее эффективный способ предотвращения дальнейшего выброса судна на мель. Опыт морской практики [1], [2] и соответствующие нормативно-правовые акты в данной сфере [3], [4], [5] определяют и регламентируют качественную сторону поставленного вопроса. На практике сложились утверждения: если судно село на мель, то принятие жидкого балласта в любом количестве создает благоприятное действие. Иной вариант — балластировать судно до прекращения дрейфа, а при его возобновлении продолжить прием балласта.

Вполне логично, что указанный подход не способствует стабилизации аварийной ситуации и, более того, вносит неуверенность и неоднозначность действий экипажей аварийных судов.

Цели и постановка задач исследования:

- разработать математическую модель качки судна на мелководье для расчёта присоединённых масс забортной воды и их геометрических характеристик в зависимости от глубины, степени волнения и главных размерений судна;
- выяснить принцип взаимодействия волнового сопротивления на мелководье для подводной части корпуса судна с характеристиками присоединённых масс забортной воды при больших амплитудах бортовой и килевой качки;
- разработать расчетные зависимости и номограммы для определения рационального количества балласта, его позиционирования и перемещения для снятия судна с мели.

При этом общепринятая гидродинамическая модель процесса выброса судна на мель предусматривает соответствующую схематизацию физических явлений. В качестве научного метода приняты положения линейной гидродинамической теории качки в условиях мелководья согласно методике, предложенной в работе [6]. Силовые

воздействия ветра и волн на судно, которое дрейфует в зоне мелководья, приводит к периодическим ударам корпуса о грунт.

### Основные результаты

Влияние мелководья на присоединенные массы плоскостного контура  $\lambda_{22}, \lambda_{23}$  получено путем усреднения зависимостей Т.Н. Хавелока, Ю.М. Гулиева, Д. Прохаски [7], [8] для шпангоутов с коэффициентом полноты от 0,7 до 0,9.

Интерполяционная зависимость этого осреднения выражается коэффициентом

$$k_{22} = 1 + 2,5 \left( \frac{a}{H} \right)^{2,35}, \quad k_{33} = 1 + 1,2 \left( \frac{a}{H} \right)^{2,40}, \quad (1)$$

где  $d$  — осадка судна, м;  $H$  — глубина акватории, м.

В то же время рассматриваемые зависимости получены из опытов вертикальной вибрации контуров на невозмущенной свободной поверхности, поэтому не учитывают параметров волнения. Для приближенного оценивания присоединенных масс судна при вертикальных колебаниях использовались теоретические зависимости Д. Воссерса [9] для круглого цилиндра, совершающего колебания на мелкой воде, а также результаты исследования качки крупнотоннажных судов на портовых акваториях, приведенные В.В. Бурячком [10]. Для полностью развитого волнения эта зависимость аппроксимируется выражением

$$\epsilon_{33}^h = \left( e^{\frac{d}{H}} - 0,45 \right) \left( \frac{\sigma_0^2 B}{2g} \right)^{0,1 \left( 1 + \frac{d}{H} \right)}, \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  — частота волнения,  $c^{-1}$ ;  $B$  — расчетная ширина судна, м;  $g = 10 \text{ м/с}^2$  — ускорение силы тяжести.

Следует учесть, что на мелководье по мере уменьшения относительной глубины  $\frac{d}{H}$  существенно увеличиваются присоединенные массы корпуса судна  $\lambda_{22}, \lambda_{23}$ . Начинает существенно доминировать влияние обтекания опорных площадок корпуса с неровностями на мели и конечностей корпуса судна. Гипотеза плоскостных сечений становится недопустимой. Теоретические и экспериментальные зависимости доказывают, что

$$\left. \begin{aligned} k_{22} &\rightarrow \infty \\ k_{33} &\rightarrow \infty \end{aligned} \right| \frac{d}{H} \rightarrow 1, \quad (3)$$

в связи с этим для сохранения физического смысла коэффициентов необходимо задать их числовые значения. Учитывая, что теоретические зависимости присоединенных масс  $\lambda_{22}, \lambda_{23}$  от относительной глубины  $\frac{d}{H}$ , равных 1,1...1,25 являются справедливыми и для реальных условий участок корпуса до контакта с грунтом экстраполируется степенной функцией, которая аппроксимирует эту зависимость. После исследования максимумов величины присоединенных масс принимаются как константы. Так, на базе обработки экспериментальных данных В.Ф. Бавин и соавторов [11], а также исследований АО «Научно-исследовательский институт аэродинамики» [12] для моделей построенных судов и эллипсоида вращения [2] рост присоединенных масс  $\lambda_{22}, \lambda_{23}$  при поперечно-вертикальной качке более точно по сравнению с (1) можно аппроксимировать как

$$k_{22} = 1,22 + 2,71 \left( \frac{d}{H} \right)^{2,38}, \quad k_{33} = 1,31 + 1,24 \left( \frac{d}{H} \right)^{2,47}. \quad (4)$$

При этом зависимость присоединенных масс от частоты качки принимаются аналогично с зависимостью (2)

$$\epsilon_{22}^h = \epsilon_{33}^h \frac{k_{22}}{k_{33}}. \quad (5)$$

Для мелководья отношение  $\epsilon_{22}^h = \frac{\lambda_{33}^h}{\lambda_{33}^\infty}$  оказалось близким к отношению коэффициентов волнового демпфирования [1]. В связи с отсутствием данных о влиянии мелководья на коэффициент демпфирования  $\frac{\mu_{33}^h}{\mu_{33}^\infty}$  поперечно-вертикальной качки, считается справедливым равенство

$$\frac{\lambda_{22}^h}{\lambda_{22}^\infty} = \frac{\mu_{33}^h}{\mu_{33}^\infty}. \quad (6)$$

С выходом на мелководье морские волны видоизменяются. Длины и высоты волн изменяются таким образом, что крупные волны уменьшаются по длине, а малые — растут с высотой. Рост высоты гребня и одновременное уменьшение глубины западения учитывается поправкой

$$\Delta h = 0,15 \left[ \frac{h}{H} \left( \frac{\lambda}{H} \right)^2 \right]^{0,1} \xi_A, \quad (7)$$

где  $\lambda$  — длина волны, м;  $h$  — высота волны, м;  $\xi_A$  — абсцисса волны, м.

Учитывая вышеприведенное, а также уравнения для гидродинамических сил [9], составлена авторская система уравнений, описывающая процесс выброса судна на мель и отражающая влияние баллаستировки аварийного судна на данный процесс. При этом использованы уже известные зависимости высоты волны от ее частоты [6], а также принята во внимание подвижная система координат, предложенная в кораблестроении (рис. 1). Здесь и далее система  $(x; y; z)$  —

подвижная система координат относительно центра тяжести судна  $G$ . Система  $(\xi; \eta; \zeta)$  является неподвижной системой координат соответственно центру колебаний судна  $O$  во время качки.

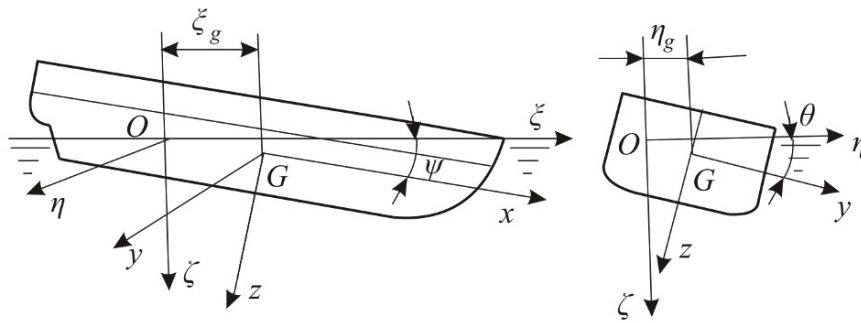


Рисунок 1 - Общекорабельная система координат при качке судна

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.84.1>

$$\left\{ \begin{aligned} (D + \lambda_{33}^h + P_B) \ddot{\xi}_g + \mu_{33}^h \dot{\xi}_g + \gamma S_0 \xi &= \\ &= \gamma S_0 (f_1 x_1^+ - f_2 x_2^-) (\xi_A e^{i\sigma_0 t} + \Delta h) - \sigma_0 \cdot c_W \cdot \text{cth}(k_0 \cdot H) \times (\lambda_{33}^h \sigma_0 - i \mu_{33}^h) (\xi_A e^{i\sigma_0 t} + \Delta h); \\ (D + \lambda_{22}^h + P_B) \ddot{\eta}_g + \mu_{22}^h \dot{\eta}_g &= \\ &= i \gamma S_0 b_2 (\xi_A e^{i\sigma_0 t} + \Delta h) + R_{ya} - R_{yr} + \sigma_0 \cdot \text{cth}(k_0 \cdot H \cdot c_W) \times (\mu_{22}^h + i \sigma_0 \lambda_{22}^h) (\xi_A e^{i\sigma_0 t} + \Delta h); \\ \varepsilon_{33}^h &= (e^{\frac{d}{H}} - 0,45) \left( \frac{\sigma_0^2 B}{2g} \right)^{0,1 \left( 1 + \frac{d}{H} \right)}; \quad \lambda_{h33} = \lambda_{33}^\infty \varepsilon_{33}^h; \quad \lambda_{22}^h = \lambda_{22}^\infty \varepsilon_{22}^h; \quad \mu_{33}^h = \mu_{33}^\infty \varepsilon_{33}^h; \quad \mu_{22}^h = \mu_{22}^\infty \varepsilon_{22}^h; \\ \Delta h &= 0,15 \left[ \frac{h}{H} \left( \frac{\lambda}{H} \right)^2 \right]^{0,1} \xi_A; \\ \sigma_0 &= 1,74 h^{-0,4}; \\ H &= H_0 - \eta_g \tan \alpha; \end{aligned} \right. \quad (8)$$

где первое выражение системы — уравнение вертикальной качки; второе — уравнение поперечно-горизонтальной качки; третье — изменение присоединенных масс и коэффициентов демпфирования; четвертое — поправка амплитуды волны при ходе на мелководье; пятое — частота развитого волнения; шестое — изменения глубины при дрейфовании на мели;  $D$  — водоизмещение без балласта, кН;  $P_B$  — вес балласта, кН;  $\gamma$  — удельный вес забортной воды, кН/м<sup>3</sup>;  $S_0$  — площадь ватерлинии, м<sup>2</sup>;  $f_1$  и  $f_2$  — соответственно площадь носовой и кормовой части ватерлинии, м<sup>2</sup>;  $+x_1$  и  $-x_2$  — соответственно центры тяжести носовой и кормовой частей ватерлинии, м<sup>2</sup>;  $c_W$  — коэффициент полноты ватерлинии;  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  — соответственно абсцисса, ордината и аппликата неподвижной системы координат, м;  $\alpha$  — максимальный угол волнового склона, рад.

Для численного примера рассмотрены два судна: многоцелевое судно типа река-море «Николай Леонов» проекта RSD59 и буксир «Феникс» проекта TG05. Выбор именно этих судов определяется тем, что они охватывают широкий диапазон изменений коэффициентов присоединенных масс и демпфирования. Основные характеристики этих судов приведены в таблице 1. Влияние же балластировки на параметры столкновения корпуса с грунтом при высоте волны 2 м приведено на рисунке 2.

Таблица 1 - Основные характеристики теплоходов «Николай Леонов» и «Феникс»

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.84.2>

Характеристика, единица измерения	Числовое значение	
	«Николай Леонов»	«Феникс»
Водоизмещение, т	9705	494
Длина между перпендикулярами, м	137,0	26,80
Ширина на миделе, м	16,9	10,60
Высота борта, м	6,0	4,50
Осадка по КВЛ, м	4,70	2,90
Водяной балласт, т	6303	97,0
Валовая вместимость, рег. т	3526	414

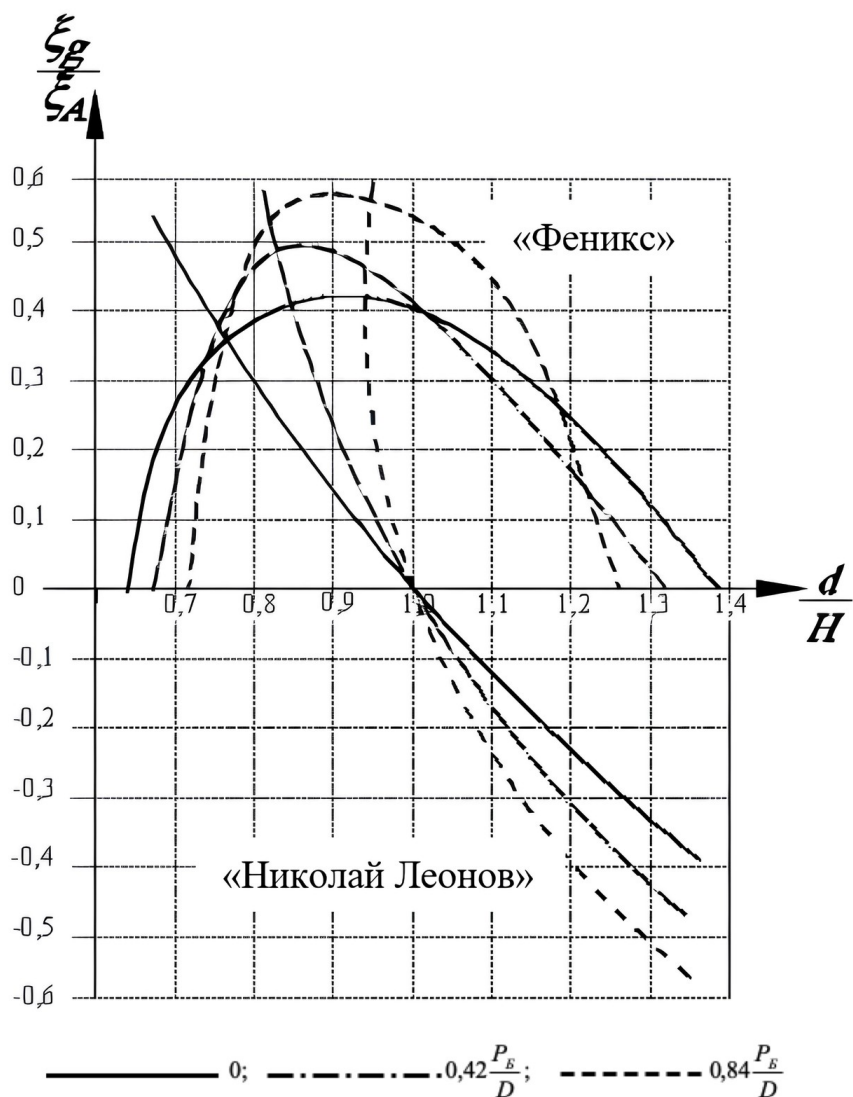


Рисунок 2 - Влияние балластировки на параметры соприкосновения корпуса с грунтом при  $h = 2$  м  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.84.3>

Примечание: относительное количество балласта

С ростом степени балластировки  $\frac{P_B}{D}$  от 0 до 0,8 максимум скорости столкновения смещается от  $\frac{d}{H}$  равного 0,92 до 1,0 и возрастает с 0,58 до 0,67. Таким образом, балластировку в процессе дрейфа целесообразно проводить только после достижения значения  $\frac{d}{H}$  1,2, тем самым предотвращается рост повреждений корпуса по сравнению с ударами о грунт без балласта. После рассмотрения предельных параметров судна, которое выпрошено на мель при различных высотах волн и количества принятого балласта построена диаграмма (рис. 3). Рабочее поле диаграммы ограничивается прямой  $\frac{d}{H_{KP}}$ , характеризующей зону разрушения волнами.

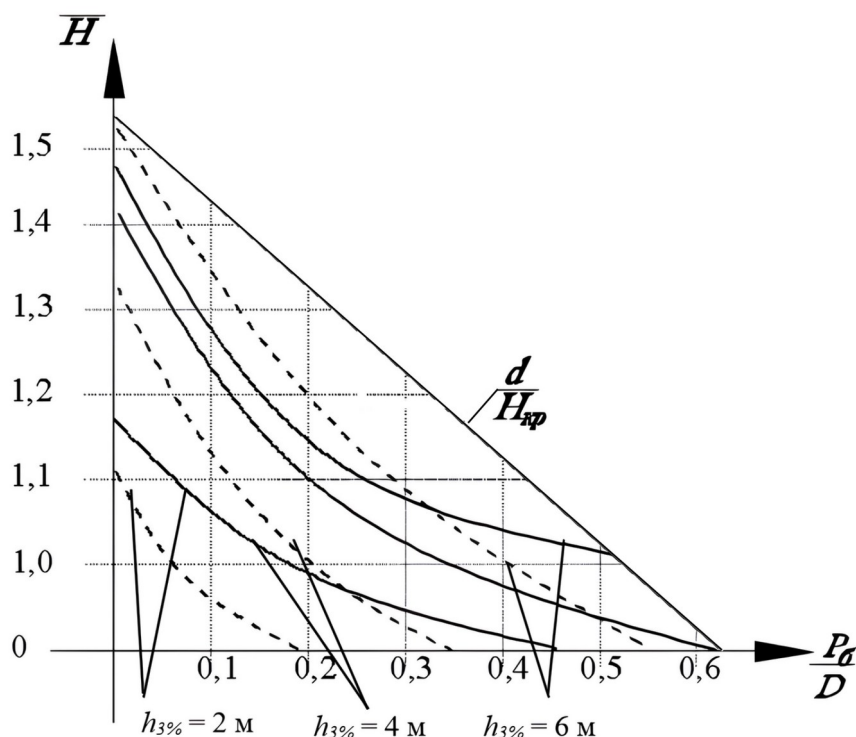


Рисунок 3 - Диаграмма необходимой балластировки судна для буксирных и рыболовных судов, для транспортных судов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.84.4>

При определении нужного количества балласта для предотвращения дрейфа необходимо «войти» в диаграмму с величиной относительной аварийной осадки  $\frac{d}{H}$  и интерполированным значением высоты волны, которая наблюдается или ожидается. Величина, которая рассчитывается и снимается из точки их пересечения с осью относительного балласта, как часть водоизмещения при осадке  $d$ .

Оригинальность и научная новизна заключается в следующих утверждениях:

- впервые получена модель качки судна на мелководье для расчёта присоединённых масс забортной воды и их геометрических характеристик в зависимости от глубины, степени волнения и главных размерений судна;
- получили дальнейшее развитие принципы взаимодействия волнового сопротивления на мелководье для подводной части корпуса судна с характеристиками присоединённых масс забортной воды при больших амплитудах бортовой и килевой качки;
- усовершенствованы, а также разработаны новые расчетные зависимости и номограммы для определения рационального количества балласта, его позиционирования и перемещения для снятия судна с мели.

### Заключение

Сравнение результатов использования диаграммы с данными фактических балластировок доказывает, что фактически принятое количество балласта на судах, попавших в аварию без груза — избыточное, а на судах в грузе — недостаточное. Учет динамики в указанных задачах снижает величину необходимого балласта примерно в 1,5 раза при использовании в расчетах волн с 3% обеспеченностью.

Таким образом, приведенная диаграмма позволяет определить минимальное количество балласта, необходимое для предотвращения дрейфа судна на мели. Принятие меньшего количества балласта нецелесообразно.

В качестве практического примера приведем следующее: аварийное судно «сидит» на каменистом грунте, днище имеет большие повреждения, забалластированы все свободные танки, в трюмах находится груз, который портится от соленой воды, получено штормовое предупреждение. Подобных ситуаций описано на практике множество, в том числе в интернет-ресурсах [12], [13], в научной, справочной и художественной литературе [14], [15], [16], [17].

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Нуриев М.Г., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.84.5>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Nuriev M.G., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.84.5>

## Список литературы / References

1. Дмитриев В.И. Навигация и лоция, навигационная гидрометеорология, электронная картография / В.И. Дмитриев. — URL: <https://www.morkniga.ru/library> (дата обращения: 20.05.2025).
2. Снопков В.И. Управление судном : учебник для вузов / В.И. Снопков. — Санкт-Петербург : Автономная некоммерческая организация «Научно-производственное объединение «Профессионал»», 2004. — 3-е изд. — 536 с.
3. Руководство по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. — Санкт-Петербург : Российский морской регистр судоходства, 2003. — 226 с.
4. СОЛАС 74. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море. — Санкт-Петербург : ЦНИИМФ, 2015. — 1088 с.
5. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации : от 30 апреля 1999 г. N 81-ФЗ : [принят Государственной думой 31 марта 1999 г. : одобрен Советом Федерации 22 апреля 1999 г.]. — Москва : Собрание законодательства Российской Федерации, 1999. — URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22916/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/) (дата обращения: 23.11.25).
6. Борисов Р.В. Качка корабля / Р.В. Борисов, В.Ю. Семенова. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 2016. — 94 с.
7. Гулиев Ю.М. Гребные винты / Ю.М. Гулиев. — Москва : Морской транспорт, 1961. — 134 с.
8. Крыжевич Г.Б. Комплексный подход к топологической и параметрической оптимизации судовых конструкций / Г.Б. Крыжевич, А.Р. Филатов // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2020. — № 1 (391). — С. 95–108.
9. Vossers G. Fundamentals of the Behavior of Ships in Waves / G. Vossers // Journal of Ship Research. — 1961. — P. 13–28.
10. Бурячок В.В. К теории качки крупнотоннажных судов на портовых акваториях / В.В. Бурячок // Труды Союзморниипроект. — 1982. — 212 с.
11. Бавин В.Ф. Ходкость и управляемость судов / В.Ф. Бавин, В.И. Зайков, Л.Б. Сандлер [и др.]. — Москва : Морской транспорт, 1991. — 397 с.
12. Коперчак О.П. Проблема балластных вод морского судна. Методы её решения / О.П. Коперчак // Вестник науки. — 2019. — Т. 4. — № 11 (20). — С. 143–146. — URL: <https://www.vestnik-nauki.ru/article/2312> (дата обращения: 23.01.2026).
13. Происшествия и катастрофы на море: записи сообщества // Mortrans.Info: ВКонтакте. — 2025. — URL: <https://vk.com/wall-52962789?q=балласт> (дата обращения: 20.05.2025).
14. Родионов А.А. Численное моделирование аварийного разрушения днищевого перекрытия при контакте с подводным камнем / А.А. Родионов, Аунг Куи Мьинт // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2014. — Вып. 82 (366). — С. 31–36.
15. Муромов И. Сто великих кораблекрушений / И. Муромов. — Москва : Вече, 2015. — 321 с.
16. Олейник Е.А. Анализ причин кораблекрушений, безопасность гражданского судоходства / Е.А. Олейник // Актуальные проблемы развития судоходства и транспорта в азиатско-тихоокеанском регионе : материалы Международной научно-технической конференции. — Владивосток : Дальневосточный федеральный университет, 2019. — С. 36–40.
17. Труднев С.Ю. Анализ аварийности судов рыбопромыслового флота дальнего востока / С.Ю. Труднев, А.С. Нистор // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. — Петропавловск-Камчатский : Камчатский государственный университет, 2018. — С. 21–28.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Dmitriev V.I. Navigaciya i losiya, navigacionnaya gidrometeorologiya, ehlektronnaya kartografiya [Navigation and pilotage, navigational hydrometeorology, electronic cartography] / V.I. Dmitriev. — URL: <https://www.morkniga.ru/library> (accessed: 20.05.2025). [in Russian]
2. Snopkov V.I. Upravlenie sudnom [Ship handling] : textbook for universities / V.I. Snopkov. — Saint Petersburg : Autonomous Non-Commercial Organization «Scientific and Production Association "Professionals"», 2004. — 3rd edition.— 536 p. [in Russian]
3. Rukovodstvo po tekhnicheskomu nablyudeniyu za sudami v ehkspluatácii [Guidelines for technical supervision of ships in operation]. — Saint Petersburg : Russian Maritime Register of Shipping, 2003. — 226 p. [in Russian]
4. SOLAS 74. Mezhdunarodnaya konvenciya po okhrane chelovecheskoj zhizni na more [International Convention for the Safety of Life at Sea]. — Saint Petersburg : TsNIIMEF, 2015. — 1088 p. [in Russian]
5. Kodeks torgovogo moreplavaniya Rossijskoj Federacii [Merchant Shipping Code of the Russian Federation] : ot 30 aprelya 1999 g. № 81-FZ [of April 30, 1999 No. 81-FZ] : [prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 31 marta 1999 g. : odobren Sovetom Federacii 22 aprelya 1999 g.]. — Moscow : Sbranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii, 1999. — URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22916/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/) (accessed: 23.11.2025). [in Russian]
6. Borisov R.V. Kachka korablya [Ship motion] / R.V. Borisov, V.Yu. Semenova. — Saint Petersburg : Saint Petersburg State Marine Technical University, 2016. — 94 p. [in Russian]
7. Guliev Yu.M. Grebnye vinty [Propellers] / Yu.M. Guliev. — Moscow : Marine transport, 1961. — 134 p. [in Russian]
8. Kryzhevich G.B. Kompleksnyj podkhod k topologicheskoj i parametricheskoj optimizacii sudovykh konstrukcij [An integrated approach to topological and parametric optimization of ship structures] / G.B. Kryzhevich, A.R. Filatov // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra [Proceedings of the Krylov State Research Centre]. — 2020. — № 1 (391). — P. 95–108. [in Russian]

9. Vossers G. Fundamentals of the Behavior of Ships in Waves / G. Vossers // Journal of Ship Research. — 1961. — P. 13–28.
10. Buryachok V.V. K teorii kachki krupnotonnazhnykh sudov na portovykh akvatoriakh [Towards a theory of the motion of large-tonnage ships in port waters] / V.V. Buryachok // Trudy Soyuzmorniiproekt [Works of Soyuzmorniiproekt]. — 1982. — 212 p. [in Russian]
11. Pavlenko V.G. Khodkost' i upravlyaemost' sudov [Ship speed and controllability] / V.G. Pavlenko. — Moscow : Marine transport, 1991. — 397 p. [in Russian]
12. Koperchak O.P. Problema ballastnykh vod morskogo sudna. Metody ee resheniya [The problem of ship ballast water. Methods of its solution] / O.P. Koperchak // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. — 2019. — Vol. 4. — № 11 (20). — P. 143–146. — URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/2312> (accessed: 23.01.2026). [in Russian]
13. Proisshestviya i katastrofy na more: zapisi soobshchestva [Accidents and Disasters at Sea: Community Posts] // Mortrans.Info: VKontakte. — 2025. — URL: <https://vk.com/wall-52962789?q=балласт> (accessed: 20.05.2025). [in Russian]
14. Rodionov A.A. Chislennoe modelirovanie avarijnogo razrusheniya dnishchevogo perekrytiya pri kontakte s podvodnym kamnem [Numerical simulation of the bottom framing failure due to the ship's collision with a reef] / A.A. Rodionov, Aung Kui Myint // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra [Proceedings of the Krylov State Research Centre]. — 2014. — Issue 82 (366). — P. 31–36. [in Russian]
15. Muromov I. Sto velikikh korablekrushenij [One hundred great shipwrecks] / I. Muromov. — Moscow : Veche, 2015. — 321 p. [in Russian]
16. Olejnik E.A. Analiz prichin korablekrushenij, bezopasnost' grazhdanskogo sudokhodstva [Analysis of the causes of shipwrecks, safety of civil navigation] / E.A. Olejnik // Aktual'nye problemy razvitiya sudokhodstva i transporta v aziatsko-tikhookeanskom regione : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Current Problems of Navigation and Transport Development in the Asia-Pacific Region: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. — Vladivostok : Far Eastern Federal University, 2019. — P. 36–40. [in Russian]
17. Trudnev S.Yu. Analiz avarijnosti sudov rybopromyslovogo flota dal'nego vostoka [Analysis of the accident rate of fishing fleet vessels in the Far East] / S.Yu. Trudnev, A.S. Nistor // Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya vodnogo transporta: problemy i puti razvitiya [Technical operation of water transport: problems and ways of development]. — Petropavlovsk-Kamchatsky : Kamchatka State University, 2018. — P. 21–28. [in Russian]