

## Проектирование и конструкция судов

Научная статья

УДК 629.12

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-4/32-41>

Ю.А. Кочнев

КОЧНЕВ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – к.т.н., доцент, [tmnknkoch@mail.ru](mailto:tmnknkoch@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-6864-4473>

Кафедра проектирования и технологии постройки судов

*Волжский государственный университет водного транспорта*

Нижний Новгород, Россия

## Потенциал безопасности грузового судна

**Аннотация.** Большинство нормативных документов в области судостроения направлены на обеспечение и повышение безопасности судов, оценка которой выполняется по показателям отдельных мореходных качеств: плавучесть, остойчивость, прочность, непотопляемость. Фактически утверждается, если эти показатели обеспечены, то, следовательно, обеспечивается и безопасность судна. В соответствии с общепринятой терминологией безопасность судна – это отсутствие связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией судна недопустимых рисков, которые определяются на основе статистики по всем видам деятельности, то есть учитывают имеющийся опыт, а не возможные случайные факторы системы «судно–окружающая среда». В статье предлагается комплексный критерий, показывающий превышение фактических характеристик судна над их опасными значениями. Он позволяет сравнивать разнородные суда по безопасности в целом, а не только по отдельным мореходным качествам. Приведены методика расчета критерия, схема формирования и, в качестве примера, численные значения для трех типов судов смешанного (река–море) плавания.

*Ключевые слова:* безопасность, мореходные качества, остойчивость, плавучесть, прочность

**Для цитирования:** Кочнев Ю.А. Потенциал безопасности грузового судна // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 4(53). С. 32–41.

### Введение

Наиболее общие требования к безопасности грузового судна смешанного (река–море) плавания изложены в Техническом регламенте о безопасности объектов внутреннего водного транспорта (ТР), который предъявляет требования к видам безопасности: биологической, взрывобезопасности, гидрометеорологической, механической, пожарной, термической, химической, электрической, электромагнитной, экологической, единству измерений и другим видам безопасности, к которой применимы требования [10].

Однако сам термин «безопасность» раскрывается в Федеральном законе о техническом регулировании (ФЗ) [11], где определяющим понятием безопасности судна является отсутствие недопустимого риска. Однако строгого определения риска также не дано ни в ТР, ни в ФЗ. Имеется противоположное понятие – допустимого риска: установленные проектантом значения рисков, отвечающие фактически достигаемому уровню, который должен быть обеспечен при проектировании, изготовлении, эксплуатации и утилизации с учетом технических и экономических возможностей проектанта, изготовителя и эксплуатанта [10].

Несмотря на неоднократное упоминание термина «безопасность судна», точного его определения автору установить не удалось. Однако исходя из анализа близких терминов можно выделить два их существенных недостатка:

1) риски рассчитываются на основе совершенных процессов, то есть не учитываются возможные случайные факторы системы судно–окружающая среда (уникальные ошибки экипажа, неточности принятых методик прогнозирования и т.п.), которые могут значительно отличаться от расчетных значений;

2) допускается наличие риска, в том числе и гибель судна, обусловленного техническими и экономическими обстоятельствами, устанавливаемыми не нормативно, а проектантом.

Снизить вероятность наступления неблагоприятных последствий и тем самым понизить риски можно путем искусственного завышения проектантом технических требований, учета возможного случайного значения внешних и внутренних факторов системы «судно–окружающая среда» в явном и неявном виде.

Уровень превышения характеристик судна в целом или его отдельных элементов над такими искусственно завышенными требованиями можно рассматривать как некоторый запас по риску и, соответственно, косвенный показатель безопасности. Но так как непосредственно риск, являющийся неотъемлемой основой понятия «безопасность», в таком случае не рассчитывается, будем использовать термин «потенциал безопасности» (ПБ). Близкое понятие – «потенциал живучести» – рассматривается, например в [5], с точки зрения автоматизации организационных работ по борьбе за живучесть кораблей ВМФ. В отечественных и зарубежных работах [1, 18, 12] безопасность оценивается как выполнение тех или иных мореходных качеств судна: остойчивости, непотопляемости, прочности.

В настоящей работе математически потенциал безопасности запишем в виде:

$$ПБ = \frac{K_p}{K_{np}}, \quad (1)$$

где  $K_p$  – расчетное значение характеристик судна;

$K_{np}$  – опасное (предельное) значение характеристик судна.

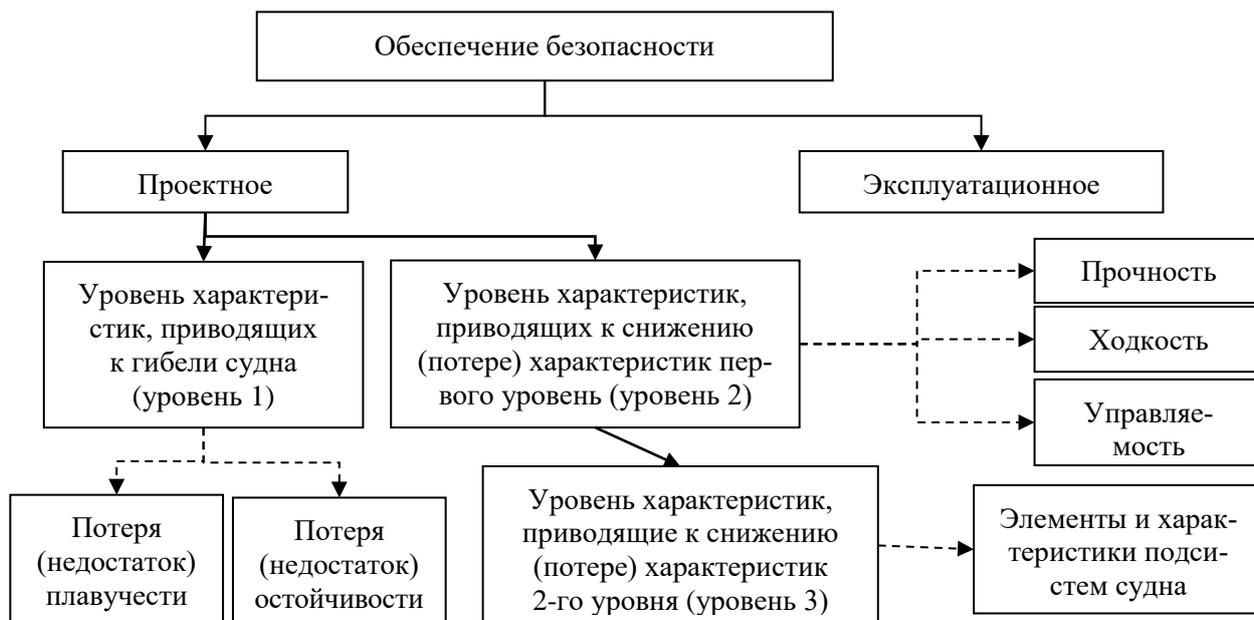
Методики для получения расчетных характеристик судна в большинстве своем имеют хорошо разработанную и апробированную базу и не требуют дополнительных обоснований. Предельные значения характеристик судна, при которых может развиваться авария или дальнейшая эксплуатация судна становится невозможной, как правило, не определены.

## Материалы и методы

Обеспечение безопасности можно классифицировать по нескольким уровням (рис. 1). Во-первых, безопасность зависит от заложенных в процессе проектирования характеристик судна, во-вторых – от решений, принимаемых экипажем во время эксплуатации. Потенциал безопасности определяется на проектном уровне и позволяет нивелировать человеческие ошибки и случайные внешние факторы в течение жизненного цикла судна.

Из теории и устройства судна известно, что основными мореходными качествами являются плавучесть, остойчивость, непотопляемость, прочность, ходкость, управляемость, плавность качки [4]. Непосредственно гибель судна может произойти при *потере им плавучести и остойчивости*, поэтому отнесем их характеристики к показателям безопасности первого уровня. Непотопляемость, являющуюся комплексным мореходным качеством, включающим совместно два предыдущих качества, исключим из потенциала безопасности, аналогично поступим и с качкой, поскольку она зависит от остойчивости, а потеря последней, как правило, связана именно с показателями качки судна.

*Потеря мореходных качеств (прочность, ходкость и управляемость)* самостоятельно к гибели судна не приводит, однако в ряде случаев существенно ухудшает показатели безопасности первого уровня. Например, вариант потери общей прочности в виде перелома корпуса судна приведет к возникновению его негерметичности, следовательно, к поступлению воды внутрь и постепенному исчерпанию мореходного качества плавучести. Поэтому перечисленные мореходные качества отнесем ко второму уровню показателей безопасности судна.



**Рис. 1. Уровни безопасности судна**

Снижение характеристик основных подсистем судна будет оказывать влияние на первый и второй уровни безопасности, но привести к полному исчерпанию плавучести и остойчивости они не в состоянии. Такие характеристики отнесем к третьему уровню показателей безопасности. Например, низкая держащая сила якоря окажет свое влияние на управляемость (судно сорвет с якоря, и оно начнет перемещаться без управления), а она, в свою очередь, может привести к потере остойчивости или потере прочности и в результате к гибели судна.

Учитывая предложенный иерархический вид влияния характеристик судна на безопасность, потенциал безопасности можно записать в виде

$$ПБ = \left( \Gamma_1^I \times \beta_1^I \times \Gamma_1^{II} + \Gamma_2^I \times \beta_2^I \right) \times \beta_1^{III}, \quad (2)$$

где  $\Gamma_1^I$  – частный потенциал безопасности показателей первого уровня – потенциал плавучести;

$\Gamma_2^I$  – частный потенциал безопасности показателей первого уровня – потенциал остойчивости;

$\Gamma_1^{II}$  – частный потенциал безопасности показателей второго уровня – потенциал прочности;

$\beta_1^I, \beta_2^I$  – весовые коэффициенты влияния показателей безопасности первого уровня;

$\beta_1^{III}$  – коэффициент влияния показателей безопасности третьего уровня на потенциал безопасности.

Потенциал безопасности показателей первого и второго уровней (плавучесть, остойчивость, прочность) в связи с тем, что есть некоторое минимально требуемое Правилами Российского классификационного общества [9] значение, целесообразно представлять как превышение фактического значения характеристики над ее нормой.

Нормативное значение для характеристик подсистем судна, то есть для показателей безопасности третьего уровня, как правило, не является абсолютно жестким требованием и в большинстве случаев может лежать в некотором допустимом диапазоне значений. Поэтому потенциал безопасности показателей безопасности третьего уровня, на наш взгляд, должен представляться как недостаток численного значения характеристики или элемента до его оптимального, с точки зрения безопасности, значения.

Из теории корабля известно, что запас плавучести – это объем водонепроницаемого

корпуса выше ватерлинии, который в практике проектирования судна определяется в виде высоты надводного борта. Опасным значением надводного борта можно считать его минимальное значение, которое должно быть обеспечено, чтобы судно оставалось на плаву при затоплении одного или нескольких регламентируемых Правилами отсеков. Таким образом, частный потенциал безопасности – плавучесть – может быть записан в виде:

$$\Gamma_1^I = \frac{H - T}{H_{HB}^{\min}}, \text{ при } H - T \geq H_{HB}^{PKO}, \quad (3)$$

$$\Gamma_1^I = 0, \text{ при } H - T < H_{HB}^{PKO}, \quad (4)$$

где  $H, T$  – соответственно высота борта и осадка судна;

$H_{HB}^{PKO}$  – значение минимальной высоты надводного борта, требуемое Правилами РКО;

$H_{HB}^{\min}$  – минимально необходимое значение надводного борта из условия запаса плавучести, определяемое по формуле

$$H_{HB}^{\min} = \max \{T_x^i\} - T_{KBЛ}, \text{ при } i \in I, \quad (5)$$

где  $T_{KBЛ}$  – осадка судна по КВЛ;

$T_x^i$  – осадка в опасном сечении, при затоплении  $i$ -го отсека;

$I$  – массив отсеков, которые должны быть затоплены при проверке непотопляемости судна.

Осадка судна в опасном сечении учитывает изменение геометрии палубной линии за счет носового и кормового сужения, наличия седловатости или бака и юта (рис. 2) определяется выражением

$$T_x^i = T_m + x \times tg\psi + B(x)tg\theta, \quad (6)$$

где  $T_m$  – осадка судна на мидели при затоплении  $i$ -го отсека;

$x$  – абсцисса опасного сечения;

$B(x)$  – полуширина судна в опасном сечении;

$\psi, \theta$  – угол дифферента и крена при затоплении  $i$ -го отсека.

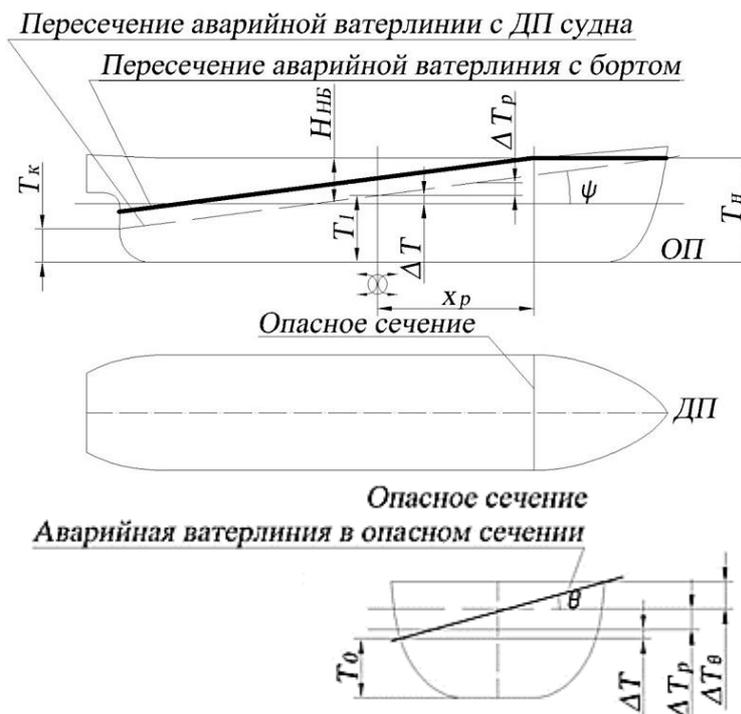


Рис. 2. Опасное сечение судна

Потенциал остойчивости судна может быть выражен как соотношение фактического коэффициента запаса остойчивости – соотношения кренящих и допустимых моментов, определенных так, как этого требуют Правила Регистра ( $K_\phi$ ), к требуемой величине запаса остойчивости  $\Phi$ :

$$\Gamma_2^I = \frac{K_\phi}{\Phi} = K_p, \text{ при } K_\phi \geq 1, \quad (7)$$

$$\Gamma_2^I = 0, \text{ при } K_\phi < 1, \quad (8)$$

где  $K_p$  – опасное значение коэффициента запаса остойчивости, определяемое при учете проверки остойчивости нормируемых и ненормируемых (эксплуатационных) факторов;  
 $\Phi$  – коэффициент запаса остойчивости [7].

В общем виде опасное значение коэффициента запаса остойчивости находится по формуле [9, 10]:

$$K_p = 1 + dw(D, Z_G, \Delta l), \quad (9)$$

где  $w$  – функциональная зависимость между допустимым и кренящим моментами;

$D$  – фактическое водоизмещение судна;

$Z_G$  – координаты центра тяжести судна;

$\Delta l$  – поправки к плечу статической остойчивости, на влияние свободной поверхности жидких грузов в малых цистернах, на циркуляцию и т.п.

Проверка прочности судна выполняется как по допустимым напряжениям, так и предельному моменту, при расчете которого уже используется коэффициент запаса прочности по предельному моменту  $k$ , равный для судов всех типов и классов 1,35 [9]. Однако в исследованиях, приведенных в [2, 3], показано, что опасным значением коэффициента  $k$  следует считать его величину, равную 1,19.

Фактический коэффициент запаса прочности может быть получен из соотношения предельного момента  $M_{np}$ , определенного так, как этого требуют Правила к расчетному изгибающему моменту  $M_p$ :

$$k_\phi = \frac{M_{np}}{M_p}. \quad (10)$$

Соответственно, частный потенциал безопасности показателей второго уровня – прочность – находится по формуле

$$\Gamma_1^{II} = \frac{k_\phi}{1,35}, \text{ при } k_\phi \geq 1,19, \quad (11)$$

$$\Gamma_1^{II} = 0, \text{ при } k_\phi < 1,19. \quad (12)$$

К показателям безопасности третьего уровня могут быть отнесены характеристики всех мореходных качеств судна. Поскольку их сниженное значение к гибели судна не приводит, частный потенциал безопасности целесообразно выразить как недостаток того или иного качества от его оптимального значения:

$$\Gamma^{III} = \frac{A_\phi}{A_{opt}}, \quad (13)$$

где  $A_\phi$  – фактическое значение элемента или характеристики судна;

$A_{opt}$  – оптимальное значение элемента или характеристики судна.

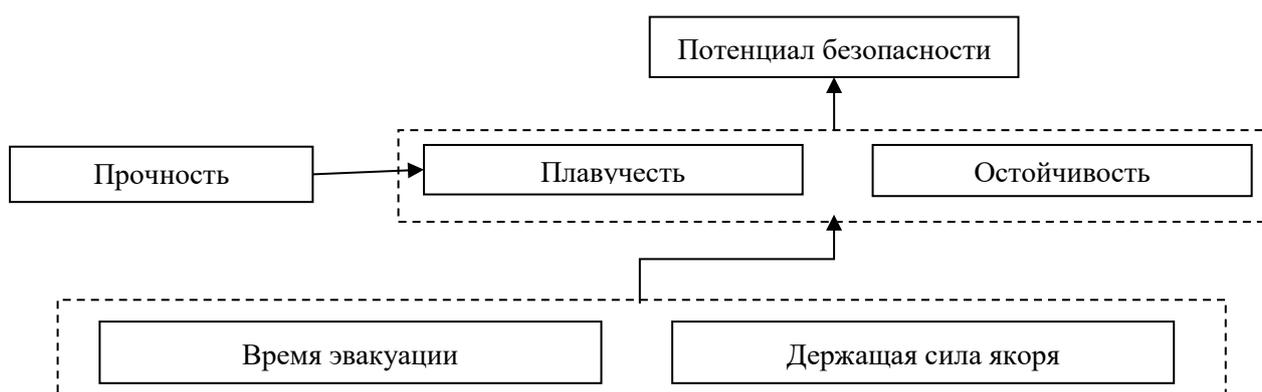
В качестве показателей безопасности третьего уровня рассмотрены время, затрачиваемое на эвакуацию из помещений надстройки членами экипажа, несущими вахту, и держащая сила судового якоря, то есть

$$\Gamma_1^{III} = \frac{F_{я}}{F_{opt}}, \tag{14}$$

$$\Gamma_2^{III} = \frac{T_{\phi}}{T_{opt}}, \tag{15}$$

где  $F_{я}, F_{opt}$  – соответственно держащая сила принятого на судне якоря и оптимального [6];  
 $T_{\phi}, T_{opt}$  – соответственно время эвакуации из надстройки с проектным и оптимальным расположением помещений.

Окончательно можно предложить схему формирования потенциала безопасности грузового судна смешанного (река–море) плавания (рис. 3).



**Рис. 3. Схема формирования потенциала безопасности судна**

Коэффициенты влияния показателей первого уровня на потенциал безопасности учитывают долю в нем плаву́чести и осто́йчи́вости, и в связи с тем, что потеря осто́йчи́вости происходит более скоротечно, приняты  $\beta_1^I = 0,3$ ,  $\beta_2^I = 0,7$ . Коэффициент влияния показателей третьего уровня снижает ПБ в связи с неоптимальными значениями, распределен в диапазоне от 0 до 1 и определяется по формуле

$$\beta_1^{III} = \sum_{j=1}^n \Gamma_j^{III} \alpha_j, \text{ при } j \in N_1, \tag{16}$$

где  $\Gamma_j^{III}$  – потенциал безопасности показателей третьего уровня для j-й подсистемы судна;  
 $N_1$  – массив показателей третьего уровня, принятых в расчете потенциала безопасности;  
 $\alpha_j$  – весовой коэффициент влияния показателей безопасности третьего уровня, определяемых экспертно из условия

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1. \tag{17}$$

### Результаты

Анализ потенциала безопасности выполнен для трех грузовых судов смешанного (река–море) плавания: нефтеналивного танкера, сухогруза с носовой надстройкой и комбинированного судна типа танкер/площадка (см. таблицу).

Наибольший потенциал безопасности имеет нефтеналивной танкер, что можно объяснить следующими факторами: при ходе судна «в грузу» влияние перемещения жидкого груза невелико (в связи с наполненностью танков на 96%); танкер имеет большую высоту надводного борта и, следовательно, большую составляющую потенциала безопасности – плаву́честь.

**Расчетные значения безопасности судов смешанного (река-море) плавания**

Характеристика	Тип судна		
	Танкер	Сухогруз	Комбинированное
Длина, м	139	140,66	140,66
Ширина, м	16,6	16,7	16,7
Осадка, м	3,74	3,6	3,6
Высота борта, м	6,1	5,0	5,0
Опасное значение коэффициента запаса остойчивости	6,4	5,2	2,6
Потенциал безопасности – остойчивость	6,4	5,2	2,6
Фактическая высота борта	2,36	1,4	1,4
Опасное значение высоты надводного борта	1,19	0,67	0,75
Потенциал безопасности – плавучесть	1,98	2,08	1,87
Коэффициент запаса прочности	1,77	1,45	1,84
Потенциал безопасности – прочность	1,31	1,07	1,36
Оптимальное время эвакуации из надстройки	5,1	5,1	5,1
Время эвакуации из надстройки	5,1	91,2	5,1
Потенциал безопасности – надстройка	1	0,06	1
Тип судового якоря	Холла	Холла	Холла
Потенциал безопасности – судовой якорь	0,35	0,35	0,35
Полный потенциал безопасности	3,87	0,75	1,94

Существенное снижение потенциала безопасности на всех рассмотренных судах связано с применением якоря Холла, а на сухогрузном судне перенос рулевой рубки в носовую часть понижает еще и потенциал надстройки судна в связи со значительным увеличением времени эвакуации с судна (посадка в спасательную шлюпку).

Приведенный анализ показывает приспособленность предложенной методики оценки потенциала безопасности для различных судов, в том числе для судов, имеющих особенности архитектурно-конструктивного типа (носовая надстройка, наличие грузовой открытой площадки для сухого обратного груза на наливном судне).

### Обсуждение

Разработанный потенциал безопасности позволяет оценивать комплексный уровень технической безопасности однотипных и разнотипных судов на этапе их проектирования, что может найти применение как в области сравнения судов по рассматриваемому показателю, так и при оптимизации элементов и характеристик как один из частных критериев эффективности.

Уход от прямого расчета рисков, которые имеют место в методиках для нормативных величин, значительно упрощает оценку безопасности судна, что позволяет учитывать маловероятные факторы.

Если остойчивость, плавучесть и прочность практически однозначно определяют выделенные показатели безопасности первого и второго уровней, то коэффициент влияния третьего уровня может быть дополнен другими характеристиками подсистем судна. Для однозначной идентификации ПБ необходимо, по-видимому, разработать систему кодирования или классификации, показывающую, какие частные значения потенциала учтены в его конечной величине.

Результаты численного эксперимента показывают влияние главных размерений и принятых конструктивных решений на полный и частные потенциалы безопасности, которые в итоге также могут быть использованы конструктором для поиска слабых мест проекта и, как следствие, при необходимости их усиления для снижения вероятности аварии.

## Выводы

Потенциал безопасности грузового судна как в предложенном, так и уточненном виде с учетом нерассмотренных, но принципиально применимых характеристик, например для мореходного качества «ходкость», можно рассматривать как один из потенциальных критериев общей оценки технической безопасности судна. Его рассмотрение является задачей Российского Классификационного общества, но отсутствует в структуре Правил, несмотря на наличие упоминаний об этом в Уставе.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов Р.В., Лузянин А.А. Безопасность судна, качающегося под действием нерегулярных ветра и волн // *Морские интеллектуальные технологии*. 2022. № 2-2(56). С. 22–28. DOI: 10.37220/МТ.2022.56.2.037
2. Гирин С.Н., Фролов А.М. К вопросу нормирования общей прочности судов смешанного плавания с классом Российского Речного Регистра // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2004. № 10. С. 93–100.
3. Гирин С.Н., Фролов А.М. О назначении коэффициентов запаса при проверке общей прочности судов смешанного плавания по методу предельных моментов // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. 2004. № 10. С. 100–109.
4. Жинкин В.Б. Теория и устройство корабля. Москва: Юрайт, 2019. 379 с.
5. Зварич И.М., Лобанов С.Л., Бледнов Д.А., Цапков А.П. Потенциал живучести кораблей ВМФ// *Морской сборник*. 2021. № 3(2088). С. 34–39.
6. Кочнев Ю.А., Костерина С.Д. Испытания модели судового якоря // *Транспорт. Горизонты развития: материалы II междунар. науч.-практ. форума, Нижний Новгород, 7–9 июня 2022 г. Нижний Новгород: ВГУВТ, 2022. URL: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/5\\_18.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/5_18.pdf) (дата обращения: 02.11.2022).*
7. Кочнев Ю.А., Роннов Е.П. Анализ уровня запаса остойчивости судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания // *Вестник Инженерной школы ДВФУ*. 2022. № 3(52). С. 37–46. DOI: 10.24866/2227-6858/2022-3/37-46
8. Москаленко М.А., Друзь И.Б., Москаленко В.М. Методологические подходы к проектированию морских транспортных судов с использованием математических моделей комплексного показателя и оценок риска // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2020. Т. 12, № 5. С. 906–914. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-906-914
9. Российское классификационное общество. Правила классификации и постройки судов (ПКПС). Москва, 2022. URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PKPS.pdf?t=321> (дата обращения: 06.11.2022).
10. Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта: утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. № 623. Москва: Стандартинформ, 2010. 90 с.
11. Федеральный Закон № 184-ФЗ. О техническом регулировании. Введ. 2002-27-12. Москва: Омега-Л, 2009. 56 с.
12. Hasanudin, Jeng-Hornng Chen, Modification of the Intact Stability Criteria to Assess the Ship Survivability from Capsizing. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015;14:64–75. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.07.086
13. Kochnev Y.A, Ronnov E.P., Gulyev I.A. Indicators of the critical state of the ship's stability. Indicators of the critical state of the ship's stability. *Journal of Physics: Conf. Series*. 2021;2131:052057. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/5/052057

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-4/32-41>

Kochnev Yu.

YURI A. KOCHNEV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, [tmnknkoch@mail.ru](mailto:tmnknkoch@mail.ru)  
Federal State-Financed Educational Institution  
*Volga State University of Water Transport*  
Nizhny Novgorod, Russia

## Cargo ship safety potential

**Abstract.** Most of the regulatory documents in the field of shipbuilding are aimed at ensuring and improving the safety of ships, the assessment of which is carried out according to the indicators of individual seaworthiness: buoyancy, stability, strength, unsinkability. In fact, it is claimed that if they are secured, then, as a consequence, the safety of the vessel is also ensured. The latter, in accordance with generally accepted terminology, is the absence of unacceptable risks associated with the design, construction and operation of the vessel, which are determined on the basis of statistics on all types of activities, that is, they take into account existing experience, and not possible random factors of the ship – environment system. The article offers a comprehensive criterion showing the excess of the actual characteristics of the vessel over their dangerous values, which allows you to compare heterogeneous vessels for safety in general, and not only for individual seaworthiness. The method of its calculation, the scheme of formation and numerical values are given, as an example, for three types of vessels of mixed (river-sea) navigation.

**Keywords:** safety, seaworthiness, stability, buoyancy, strength

**For citation:** Kochnev Yu. Cargo ship safety potential. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2022;(4):32–41. (In Russ.).

The authors declare no conflict of interests.

## REFERENCES

1. Borisov R.V., Luzyanin A.A. Safety of a vessel rocking under the action of irregular winds and waves. *Marine intelligent technologies*. 2022;(2–2):22–28. (In Russ.). DOI: 10.37220/MIT.2022.56.2.037
2. Girin S.N., Frolov A.M. To a question of overall strength notes for ships of "river-sea" type with Russian River Register's Class. *Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport*. 2004;(10):93–100. (In Russ.).
3. Girin S.N., Frolov A.M. On the appointment of reserve coefficients when checking the overall strength of mixed navigation vessels by the method of limiting moments. *Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport*. 2004;(10):100–109. (In Russ.).
4. Zhinkin V.B. Theory and device of the ship. Moscow, Yurayt, 2019. 379 p. (In Russ.).
5. Zvarich, I.M., Lobanov S.L., Blednov D.A., Tsapkov A.P. The survivability potential of Navy ships. *Marine Collection*. 2021;(3):34–39. (In Russ.).
6. Kochnev Yu.A. Kosterina S.D. Ship anchor model tests. Horizons of development. *Proc. of the Int. Sci. and Prac. Forum*. 2022. URL: [http://вф-река-море.rf/2022/5\\_18.pdf](http://вф-река-море.rf/2022/5_18.pdf) – 02.11.2022. (In Russ.).
7. Kochnev Yu.A., Ronnov E.P. Analysis of the level of stability reserve of inland and mixed (river-sea) navigation vessels. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2022;(3):37–46. (In Russ.). DOI: 10.24866/2227-6858/2022-3/37-46
8. Moskalenko M.A., Druz I.B., Moskalenko V.M. Methodological approaches to the design of marine transport vessels using mathematical models of a complex indicator and risk assessments. *Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of the Sea and River Fleet*. 2020;12(5):906–914. (In Russ.). DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-906-914
9. Russian Classification Society. Rules for the Classification and Construction of Ships. Moscow, 2022. URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PKPS.pdf?t=321> – 06.11.2022. (In Russ.).

10. Technical Regulations on the safety of inland waterway transport facilities: approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 623 of August 12, 2010, Moscow, Russian Federation. Moscow, Standartinform, 2010. 90 p. (In Russ.).
11. Federal Law No. 184-FZ. About technical regulation. Introduction 2002-27-12. Moscow, Omega-L, 2009. 56 p. (In Russ.).
12. Hasanudin, Jeng-Horng Chen, Modification of the Intact Stability Criteria to Assess the Ship Survivability from Capsizing. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015;14:64–75. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.07.086
13. Kochnev Y.A, Ronnov E.P., Gulyev I.A. Indicators of the critical state of the ship's stability. Indicators of the critical state of the ship's stability. *Journal of Physics: Conf. Series*. 2021;2131:052057. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/5/052057