

УДК 629.122

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.184>

Расчет грузоподъемности комбинированных судов в задаче оптимизации главных элементов

И. А. Гуляев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2602-3115>

Е. П. Роннов²

¹ФАУ «Российский Речной Регистр», г. Москва, Россия

²Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Статья посвящена разработке методики оценки грузоподъемности комбинированного судна типа танкер/судно-площадка. Особенность расчета грузоподъемности таких судов связана с тем, что они имеют два конструктивно разных грузовых помещения, которые в тоже время взаимосвязаны, в том числе размерами, и влияющие друг на друга. Это обстоятельство приводит к необходимости корректировки известных методик оценки грузоподъемности при обосновании главных размерений отдельно как танкеров, так и судов-площадок. Предлагается в уравнениях грузоподъемности этих судов включать параметры, учитывающие это взаимное влияние и влияющие на грузоподъемность. Даны способы их определения на начальных стадиях проектирования. Все это позволило получить зависимости, включение которых в математическую модель задачи оптимизации главных элементов комбинированного судна типа танкер/судно-площадка позволяет корректно оценивать все возможные варианты главных размерений с точки зрения их соответствия грузоподъемности по каждому из перевозимых грузов и исключать из рассмотрения не удовлетворяющие этому требованию.

Ключевые слова: комбинированное судно, грузоподъемность по жидкому наливному грузу, грузоподъемность по сухому грузу, длина отсеков корпуса, условие грузоподъемности.

Cargo carrying capacity calculation for combined ships in optimization problem for ship's main elements

Ilya A. Gulyaev¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2602-3115>

Evgeniy P. Ronnov²

¹Federal Autonomous Institution Russian River Register, Moscow, Russia

²Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article is devoted to the development of the cargo carrying capacity evaluation method for a combined ship of tanker/platform type. A specific feature of cargo carrying capacity calculation for such ships lies in the fact that they have two cargo compartments of different structure. The compartments are interconnected, including dimensions, and influence each other. This fact leads to the need to update the existing calculation methods when justifying the main dimensions both of tankers and of platform ships. It is proposed to include the parameters which affect the cargo carrying capacity and take into account the above-mentioned influence into the cargo carrying capacity equations. This article also specifies the determination methods for these parameters in the early stages of ship designing. All this made it possible to obtain relations, the inclusion of which into the mathematic model of optimization problem for main elements of a combined ship (tanker/platform type) allows proper evaluation of all available options of main dimensions in terms of their compliance with carrying capacity for each specific cargo as well as exclusion of improper options from consideration.

Keywords: combined ship, liquid bulk cargo carrying capacity, dry bulk cargo carrying capacity, hull compartments length, cargo carrying capacity requirement.

Введение

Комбинированные суда предназначены для перевозки в разных рейсах (раздельная перевозка) жидких наливных и сухих навалочных либо тарно-штучных грузов, как правило, в различных помещениях.

На этапе исследовательского проектирования при оптимизации главных элементов судна и анализе главных размерений возникает необходимость оценки их соответствия заданной грузоподъемности. Перевозка разного вида груза на комбинированном судне приводит к архитектурно-конструктивным особенностям этого типа флота и необходимости контроля грузоподъемности по каждому роду перевозимого груза.

Возможны различные архитектурно-конструктивные типы комбинированных судов [1]. Для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания в настоящее время при перевозке нефтепродуктов наливом действует жесткое требование наличия вторых бортов и второго дна [2], [3]. Поэтому из всех возможных типов [1] наиболее рациональным и перспективным является судно с корпусом танкера, на гладкой палубе которого, как на палубе судна-площадки, располагают грузовую площадку для навалочных либо тарно-штучных грузов (рис. 1). Поэтому такие суда принято называть комбинированными типа «танкер/судно-площадка» [4], [5].

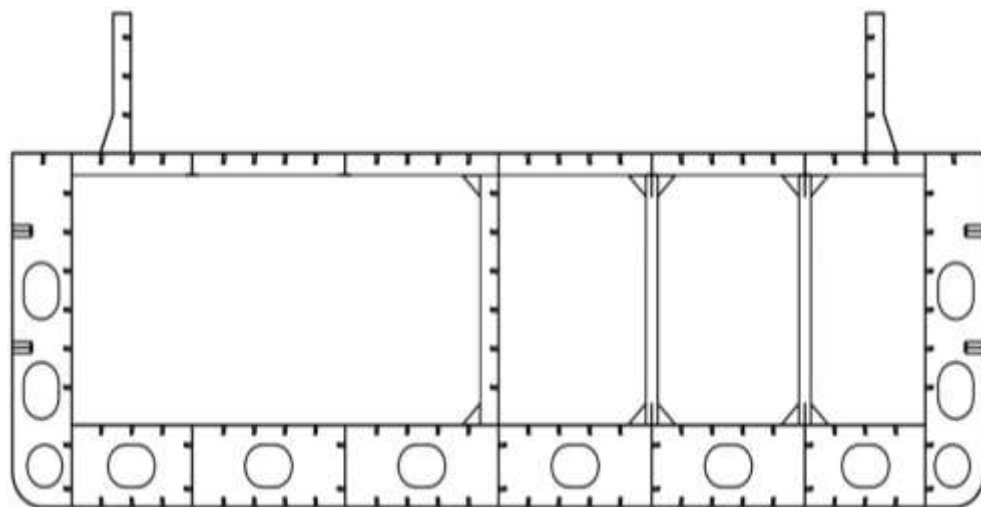


Рис. 1. Типовая схема мидель-шпангоута комбинированного судна типа «танкер/судно-площадка».

Fig 1. Typical layout of the midship frame of a combined tanker / platform vessel.

Конструкция корпуса танкерной части такого судна совмещает в себе особенности наливного и судна-площадки, что необходимо учитывать при анализе их грузоподъемности, которая в этом случае должна обеспечиваться не только по основному, наиболее высокотарифицированному грузу, располагаемому в корпусе (в грузовых танках) судна, но и по сухому грузу. В отечественной практике в большинстве случаев таким грузом является нефть и нефтепродукты. Общие вопросы грузоподъемности грузовых судов рассмотрены в [6], [7] и других. В работах [8], [9],

[10], [11] и [13] отмечается актуальность этих вопросов для комбинированных судов. В работах [14] и [15] предпринята попытка обоснования соотношения грузоподъемности по жидкому и тарно-штучному грузу (контейнерам) комбинированного судна типа нефтерудовоз. Однако вопросы анализа грузовместимости при заданных главных размерениях комбинированного судна типа танкер/судно-площадка остаются открытыми. С учетом необходимости выполнения требований МК МАРПОЛ 73/78 [2] в части необходимости наличия вторых бортов и второго дна конструкция комбинированных судов эксплуатируемых в морских районах (нефтерудовозов, танкеров-балкеров и т.п.) вынужденно претерпела значительные изменения [12]. Подобные тенденции оказывают влияние и на облик комбинированных судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания.

Грузовместимость по наливным грузам

Грузовместимость помещений для наливного комбинированного судна с главными размерениями $L \times B \times H \times T$ определяется условием размещения в грузовом районе («танковой части») корпуса не только грузовых танков, но и некоторых дополнительных специальных, например, отстойных, сборных, напорных и т.п. в этом случае условие грузовойместимости будет иметь вид:

$$W_T \geq W_{гр} + W_0 \quad (1)$$

где W_T – полезный объем «танковой» части корпуса;

$W_{гр}$ – объем танков, необходимый для размещения заданного количества жидкого груза;

W_0 – объем специальных танков.

Объем $W_{гр}$ находится исходя из его количества (грузоподъемности по жидкому грузу $P_{гр}$) и плотности $\rho_{гр}$. Объем специальных танков может быть выражен в долях от объема, занимаемого грузом, тогда условие грузовойместимости примет вид:

$$W_T \geq (1 + k_0)W_{гр} \quad (2)$$

Значение коэффициента k_0 зависит от конкретных конструктивных требований и решений по грузовой системе. В частности, применительно к нефтетанкерам смешанного (река-море) плавания Правилами [3] предусматривается минимальный объем отстойных танков не менее 3% от объема груза.

Объем $W_{гр}$, необходимый для размещения заданного количества $P_{гр}$, учитывая его плотность и возможное температурное расширение будет:

$$W_{гр} = \frac{P_{гр} \cdot k_T}{\rho_{гр}} \quad (3)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий увеличение объема при температурном расширении груза, обычно принимаемый равным 1,05.

Объем танковой части корпуса с учетом наличия у наливного судна второго борта и второго дна можно представить:

$$W_T = (1 - \chi_n) \cdot \delta_T \cdot L_T \cdot (B - 2b) \cdot (H - h) \quad (4)$$

где b, h – ширина межбортовых отсеков и высота второго дна соответственно;

δ_T, L_T – коэффициент общей полноты и длина помещений «танковой» части корпуса соответственно;

χ_n – коэффициент, учитывающий потери объема грузовых танков на набор, пиллерсы, фермы, располагаемые внутри танков.

Условие грузопместимости (2), учитывая (3) и (4) можно представить относительно лимитирующих размеров «танковой» части корпуса и соответствующих главных размерений:

$$\begin{aligned} L_T &\geq \frac{k_T \cdot (1 + k_0) \cdot P_{гр}}{\rho_{гр} \cdot \delta_T \cdot (1 - \chi_n)} \cdot [(B - 2b) \cdot (H - h)]^{-1} \\ H &\geq \frac{k_T \cdot (1 + k_0) \cdot P_{гр}}{\rho_{гр} \cdot \delta_T \cdot (1 - \chi_n)} \cdot [L_T \cdot (B - 2b)]^{-1} - h \end{aligned} \quad (5)$$

Полученные выражения могут использоваться для проверки условия обеспечения грузопместимости. Входящие в (5) величины b и h принимаются конструктивно с учетом требований [3] и технологичности исполнения. Коэффициенты для рассматриваемого судна являются константами и их можно объединить. Тогда условия (5), которые также характеризуют достаточность грузопместимости при первоначальном анализе выполнения этого качества, примут вид:

$$\begin{aligned} L_T &\geq k_0 \rho^{-1} P_{гр} [(B - 2b) \cdot (H - h)]^{-1} \\ H &\geq k_0 \rho^{-1} P_{гр} [L_T (B - 2b)]^{-1} - h \end{aligned}$$

Принимая средние значения входящих в (5) коэффициентов, можно получить диапазон изменения $k_0 = 1,1 \div 1,2$.

Действительные размеры помещений танковой части корпуса в первом приближении можно найти следующим образом:

$$L_T = L - \sum L_i \quad (6)$$

где L_1, L_2, L_3, L_4 – длина форпика, ахтерпика, машинного отделения, коффердама и насосного отделения, если оно предусматривается, соответственно.

Длина форпика в соответствии с требованиями Правил [3] должна быть не менее половины ширины судна и на стадии исследовательского проектирования может быть принята из условия равенства. Однако между форпиком и грузовыми танками, как правило, предусматривается коффердам, а иногда и сухой отсек. Суммарная длина этих отсеков в относительном виде по статистическим данным составляет [17]:

$$l_\phi = \frac{2L_1}{B} = 1,0 \dots 1,8$$

На начальных стадиях проектирования можно принять следующие значения величины l_ϕ

$$l_\phi = \begin{cases} 1,0 \dots 1,1 & \text{если } \frac{L}{B} \leq 6,9 \\ 0,15 \frac{L}{B} + 0,125 & \text{если } \frac{L}{B} > 6,9 \end{cases} \quad (7)$$

При наличии на судне подруливающего устройства относительную длину форпика можно рассчитать по следующей эмпирической формуле [17]:

$$l_{\phi} = 0,3 \frac{L}{B} - 0,8 \quad (8)$$

При носовом расположении надстройки, что для комбинированных судов может быть актуальным из увеличения объема палубного грузового «ящика», при обеспечении необходимого уровня видимости из рулевой рубки, суммарная длина форпика и отсека под надстройкой L_{1H} , может быть найдена по выражению:

$$L_{1H} = \left(\frac{l_{\phi}}{2} + 1 \right) B \quad (9)$$

Длина ахтерпика Правилами [3] не регламентируется и принимается из условия размещения в этом отсеке рулевой машины, а также с учетом общепринятых требований, таких как форма обводов кормовой оконечности, размещение двигателей, движительно-рулевого комплекса, механизмов и оборудования в смежных отсеках. Приняв допущение, что длина ахтерпика является функцией:

$$L_2 = f \left(\frac{L}{B}, L_3, \alpha, \delta \right), \quad (10)$$

на основе статистического анализа получено [17]:

$$L_2 = 0,38 \cdot L_3 \cdot \delta^{-2,63} \cdot \alpha^{0,78} \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{-0,107} \quad (11)$$

где α, δ – коэффициенты полноты ватерлинии и объемного водоизмещения соответственно. Длина машинного отделения L_3 во многом определяет его площадь и возможность размещения в нем главных двигателей и других механизмов, и устройств, размеры которых прямо или косвенно зависят от мощности главных двигателей. Анализ статистических данных позволяет получить следующую зависимость:

$$L_3 = 5N \cdot 10^{-3} + a \quad (12)$$

где N – мощность главных двигателей, кВт;

a – эмпирический коэффициент, принимаемый равным 8,5 при низко- и среднеоборотных главных двигателях мощностью более 350 кВт и 7,0 – при средне- и высокооборотных двигателях мощностью менее 350 кВт.

В перечень прочих отсеков могут входить насосные отделения, диптанки, топливные отсеки. Их размеры могут быть приняты как константы, исходя из конструктивных особенностей судна.

Отличительной особенностью современных танкеров внутреннего и смешанного (река-море) плавания является использование в качестве грузовых насосов погружных, обслуживающих некоторую совокупность грузовых танков [16]. Это позволяет отказаться от насосного отделения, располагаемого перед машинным отделением, оставив кофердам стандартных размеров. Кроме того, широкое применение на этих танкерах винто-рулевых колонок исключило необходимость размещения в ахтерпике рулевых машин. Размещение в ахтерпике привода колонки делает этот отсек при математическом моделировании как бы продолжением машинного. Исходя из этого, состав слагаемых в (5) несколько изменяется, поскольку исключается длина ахтерпика L_2 и насосное отделение из прочих отсеков.

Грузовместимость по сухим грузам

Другой стороной вместимости комбинированных судов является оценка объема грузовых помещений под обратный сухой навалочный либо тарно-штучный груз. Применительно к принятому архитектурно-конструктивному типу комбинированного судна, за основной, как отмечалось выше, принимается наливной груз, размещающийся в корпусе гладкопалубного танкера. Насыпной и тарно-штучный в обратном рейсе принимается на грузовую площадку-палубу грузовых танков. В такой постановке возникает задача определения максимально возможных размеров этой грузовой площадки, а затем, исходя из удельного погрузочного объема, можно определить грузоподъемность по навалочному грузу.

Размер грузовой площадки в плане L_n и B_n зависит от размеров «танковой» части корпуса и всегда меньше их, так как специальные системы и устройства, располагаемые обычно на палубе танкера, на комбинированном судне выносятся за пределы грузовой площадки, уменьшая ее относительно размеров танковой части корпуса:

$$L_n = L_r - \sum_{i=1}^2 \Delta l_i \quad \text{и} \quad B_n = B_r - 2\Delta b, \quad (13)$$

где $\Delta L_1, \Delta L_2$ – ширина поперечной потопчины палубы в ее носовой и кормовой части соответственно;

Δb – ширина потопчины палубы по борту.

Потопчина по борту Δb обеспечивает не только возможность прохода из надстройки на бак, на ней размещаются вынесенные за пределы грузовой площадки элементы необходимых специальных систем и устройств танкера, которые обычно располагаются на палубе танкера, над грузовыми танками. Естественно, Δb больше, чем потопчина на сухогрузных трюмных судах и судах-площадках. Ее размеры определяются конструктивно. На стадиях исследовательского проектирования, учитывая известный опыт проектной проработки и создания комбинированных судов, величину Δb можно принимать в диапазоне 2,1÷2,2 м. При этом большие значения соответствуют судам грузоподъемностью по наливному грузу больше 3000 т.

Ширина поперечных потопчин также принимается минимально возможной из условия общесудовых конструктивных требований и составляет в носу три практические шпации от бака, а в кормовой части грузовой площадки пять шпаций.

Объем груза на грузовой площадке, имеющей ограждение от остальной палубы, как и на судах-площадках, складывается из двух составляющих (рис. 2):

$$W_{сг} = W_n + W_r \quad (14)$$

где W_n – объем груза в грузовой площадке, то есть в пределах параллелепипеда со сторонами $L_n \times B_n \times h_n$;

W_r – составляющая, определяемая возможным объемом «горки» навалочного груза и их количества по длине грузовой площадки. Его величина зависит от угла естественного откоса α , характерного для каждого вида навалочного груза.

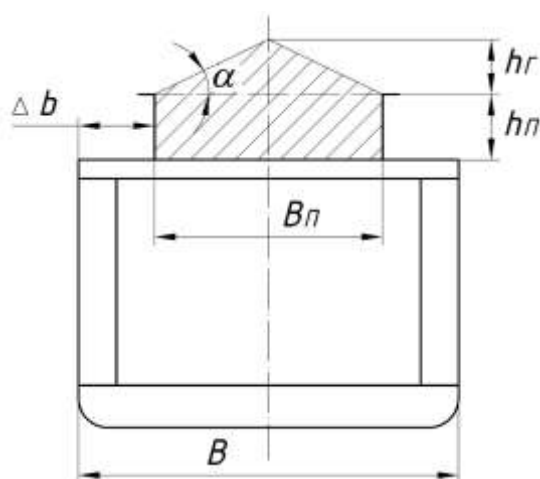


Рис.2. Схема поперечного сечения

Fig. 2. Cross-sectional diagram

Из геометрических представлений нами получено:

$$W_{гр} = h_n L_n B_n + 0,15tg\alpha L_n B_n^2 \quad (15)$$

В том случае, если поставлена задача определения необходимых размеров грузовой площадки при заданной грузоподъемности по сухому грузу $P'_{гр}$ и принятых главных размерениях, то есть только за счет высоты ограждения h_n , из условия грузовместимости будем иметь:

$$h_n \geq (\mu_{гр} P'_{гр} - 0,15tg\alpha L_n B_n^2) (L_n B_n)^{-1} \quad (16)$$

где $\mu_{гр}$ – удельный погрузочный объем груза, м³/т.

Если есть ограничение на высоту ограждения грузовой площадки h_n , то необходимый объем можно обеспечить либо за счет ее ширины, определяемой по выражению:

$$B_n \geq -\frac{h_n}{0,3tg\alpha} + \left(\frac{h_n^2}{0,09tg^2\alpha} - \frac{\mu_{гр} P'_{гр}}{0,15tg\alpha L_n} \right)^{0,5} \quad (17)$$

либо за счет длины:

$$L_n = \frac{\mu_{гр} P'_{гр}}{h_n B_n + 0,15tg\alpha B_n^2} \quad (18)$$

Но и в том, и в другом случае это приведет к соответствующей корректировке главных размерений судна, выполняемых с учетом (4) и (6).

Заключение

При разработке математической модели оптимизации главных элементов судна необходимо на каждом шаге выбора главных размерений проводить анализ их соответствия многочисленным требованиям, в том числе возможности обеспечения

грузовместимости судна. Комбинированные суда рассматриваемого типа предназначены для перевозки двух разных родов груза – наливного жидкого и сухого. Это сказывается как на размерах и конструктивных особенностях грузовых помещений, так и методиках обоснования их грузовой вместимости. Полученные в работе зависимости учитывают эту особенность и позволяют исключать их рассмотрения варианты, не удовлетворяющие условию обеспечения грузовой вместимости комбинированного судна.

Список литературы

1. Гуляев И. А., Роннов Е. П. Классификация и архитектурно-конструктивные особенности комбинированных судов. // Научные проблемы водного транспорта № 62 (2020):, С. 40–50.
2. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ 73/78.
3. ФАУ «Российский Речной Регистр» Правила классификации и постройки судов Москва, 2019.
4. Егоров Г. В., Тонюк В. И., Дурнев Е.Ю. «Сверхполные» комбинированные суда проекта RST54 для перевозки нефтепродуктов и сухих грузов, а также контейнеров, накатной техники и проектных грузов. // ООО «Морское инженерное бюро», журнал «Судостроение», № 4, 2017 г.
5. Егоров Г.В., Тонюк В.И., Ворона О.А., Бутенко Н.В. Обоснование главных параметров комбинированных судов смешанного (река-море) плавания для перевозки нефтепродуктов, навалочных грузов, контейнеров, накатной техники и негабаритов. // Вестник Одесского национального морского университета, № 3 (52), 2017 г
6. Ногид Л.М. Теория проектирования судов. – Л.: Судпромгиз. 1955. – 497 с.
7. Ашик В.В. Проектирование судов: учебник //– 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1985. –320 с.
8. Burneett A. To own a combination ship «Marine design international», march 26, 1971, P.19.
9. Dorman W. Combination bulk carriers «Marine technology», 1966, № 4, P.409-453.
10. MARIE DOUET (1999) Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, P. 231-248
11. Drewry Shipping Consultants, 1989, Combined Carriers: Future Role and Profitability of O/O and OBO Carriers (London, UK: Drewry), p. 51.
12. A. Campanile, V. Piscopo, A. Scamardella (2018) Comparative analysis among deterministic and stochastic collision damage models for oil tanker and bulk carrier reliability. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 10 (2018) P. 21-36.
13. Железяков Ж.К. Комбинированные суда для перевозки нефти и навалочных грузов //Ленинград: Судостроение, 1976.
14. Кочнев Ю.А., Масленников А.В. Обоснование целесообразности постройки комбинированного судна «танкер-контейнеровоз». //Вестник ВГАВТ, № 28 (2010) С. 34–41.
15. Кочнев Ю. А. Оптимизация главных элементов и доминирующих признаков архитектурно-конструктивного типа танкеров смешанного (река-море) плавания: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.08.03: защищена 20.06.2011 / Юрии Александрович Кочнев. – Нижний Новгород, 2011. – 262с.
16. Егоров Г.В., Егоров А. Г. Основные решения нового поколения «сверхполных» грузовых судов смешанного (река-море) и внутреннего плавания. //ООО «Морское инженерное бюро», журнал «Судостроение», № 4, 2018 г.
17. Роннов Е.П. Вместимость сухогрузного судна внутреннего плавания //Вестник ВГАВТ, №31 (2012) С. 86–92.

References

1. Gulyaev I. A., Ronnov E. P. Klassifikaciya i arhitekturno-konstruktivnye osobennosti kombinirovannyh sudov. // Russian Journal of Water Transport, (2020). № 62. S. 40–50. (in Russ)
2. International Convention for the prevention of pollution from ships, MARPOL 73/78.
3. FAI «Russian River Register». Rules for the Classification and Construction. Moscow, 2019.
4. Egorov G. V. Tonyuk V.I., Durnev E. Y. "Saturated" multi-purpose P.RST54 ships for transportation of oil and dry cargo, as containers, rolling equipment and special-purpose cargo and other containers. Marine Engineering Bureau, zhurnal «Sudostroenie», No 4, 2017. (in Russ)
5. Egorov G. V. Tonjuk V.I., Vorona O.A., Butenko N.V. Obosnovanie glavnyh parametrov kombinirovannyh sudov smeshannogo (reka-more) plavanija dlja perevozki nefteproduktov,

- navalochnyh gruzov, kontejnerov, nakatnoj tehniki i negabaritov. Vestnik Odesskogo nacional'nogo morskogo universiteta, No 3 (52), 2017. (in Russ)
6. Nogid L.M. Teoriya proektirovaniya sudov / L.M. Nogid. – L.:Sudpromgiz. 1955. –497 s. (in Russ)
 7. Ashik V. V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. - 2-e izd., pererab. i dop. - L.: Sudostroenie, 1985.- 320 s. (in Russ)
 8. Burneett A. To own a combination ship «Marine desigen international», march 26, 1971, P.19.
 9. Dorman W. Combination bulk carriers «Marine technology», 1966, № 4, P.409-453.
 10. MARIE DOUET (1999) Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, P. 231-248
 11. Drewry Shipping Consultants, 1989, Combined Carriers: Future Role and Profitability of O/O and OBO Carriers (London, UK: Drewry), p. 51.
 12. A. Campanile, V. Piscopo, A. Scamardella (2018) Comparative analysis among deterministic and stochastic collision damage models for oil tanker and bulk carrier reliability. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 10 (2018) P. 21-36.
 13. Zhelezjakov Zh. K. Kombinirovannye suda dlja perevozki nefi i navalochnyh gruzov. Leningrad, «Sudostroenie», 1976. (in Russ)
 14. Kochnev J.A. Maslennikov A. V. Expediency substantiation of the construction of the combined vessel the tanker-container carrier, Vestnik VGUVT, No 28, 2010, p. 34-41. (in Russ)
 15. Kochnev YU. A. Optimizaciya glavnyh elementov i dominiruyushchih priznakov arhitekturno-konstruktivnogo tipa tankerov smeshannogo (reka-more) plavaniya: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk: 05.08.03: zashchishchena 20.06.2011 / YUrii Aleksandrovich Kochnev. – Nizhnij Novgorod, 2011. – 262 s. (in Russ)
 16. Egorov G. V. Egorov A. G. Main solutions for the new generation of "superfull hull line" cargo ships of mixed (river-sea) and internal navigation. Marine Engineering Bureau, journal «Sudostroenie», No 4, 2018. (in Russ)
 17. Ronnov E.P. Vmestimost' suhogruznogo sudna vnutrennego plavaniya / Ronnov E. P. // № 31 (2012): Vestnik VGAVT, S. 86–92. (in Russ)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гуляев Илья Александрович, начальник корпусного отдела ФАУ «Российский Речной Регистр», Окружной проезд, 15, корп. 2, Москва, 105187, e-mail: guliaev@rivreg.ru

Ilya A. Gulyaev, Head of Hull Department, Russian River Register, bld. 2, 15, Okruzhnoy proezd, Moscow, Russia, 105187, e-mail: guliaev@rivreg.ru

Роннов Евгений Павлович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Evgeniy P. Ronnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Volga State University of Water Transport 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950, e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021