

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi71.249

Оптимизация комбинированного судна типа танкер/площадка на основе имитационного моделирования

И.А. Гуляев¹

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

Е.П. Роннов²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3022-1926>

Ю.А. Кочнев²

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

¹*Российский Речной Регистр, г. Москва, Россия*

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

Аннотация. Для повышения эффективности нефтеналивных перевозок водным транспортом могут использоваться комбинированные суда различных архитектурно-конструктивных типов. На внутренних водных маршрутах наиболее перспективными являются суда типа танкер/площадка, перевозящие основной (наливной) груз в корпусе и обратный (сухой) на площадке, оборудованной на открытой палубе. В статье приведена общая математическая модель и алгоритм выбора элементов и характеристик указанного типа судов, позволяющие их оптимизировать в различных условиях эксплуатации при конкретизированных исходных данных. Проведённые обширные тестовые расчёты, систематизированные и представленные в виде графических зависимостей, показывают влияние скорости хода на коэффициент общей полноты корпуса при различных объёмах обратной загрузки, эффективность в виде относительной прибыли комбинированного судна по сравнению с «чистым» танкером от доли обратной загрузки и соотношении фрахтовых ставок по сухому и жидкому грузам. Также показана низкая зависимость относительной прибыли от протяженности линий эксплуатации.

Ключевые слова: комбинированное грузовое судно, танкер/площадка, оптимизация, коэффициент общей полноты.

Optimization of a combined tanker/platform type vessel based on simulation modeling

Ilya A. Gulyaev¹

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

Yuri A. Kochnev²

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

Evgeniy P. Ronnov²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3022-1926>

¹*Russian River Register, Moscow, Russia*

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

Abstract. Combined vessels of various architectural and structural types can be used to increase the efficiency of oil-loading transportation by water transport. On inland waterways, the most perspective vessels are the tanker/platform type, carrying the main (bulk) cargo in the hull and the return (dry) on the platform equipped on an open deck. The article presents a general mathematical model and an algorithm for selecting elements and characteristics of

the specified type of vessels, allowing them to be optimized in various operating conditions with specified initial data. The carried out extensive test calculations, systematized and presented in the form of graphical dependencies, show the effect of the stroke speed on the coefficient of the overall completeness of the hull at various backloading volumes, the efficiency in the form of the relative profit of a combined vessel compared to a "clean" tanker from the share of backloading and the ratio of freight rates for dry and liquid cargo. The low dependence of the relative profit on the length of the lines of operation is also shown.

Keywords: combined cargo ship, tanker/platform, optimization, coefficient of overall completeness.

Введение

Перевозимые на судах нефть и нефтепродукты являются наиболее эффективным решением по логистике этого вида массовых грузов по сравнению с другими транспортными средствами, используемыми для этих целей. Лучшими являются не только экономические показатели, но и характеристики экологического воздействия транспорта на окружающую среду, что в настоящее время приобрело весьма актуальное значение.

Перевозка осуществляется в специализированных нефтеналивных судах (танкерах). Их корпусные грузовые помещения (танки) практически нельзя использовать для обратной загрузки не только сухим навалочным грузом, но и другим видом наливного нефтегруза. Поэтому большая часть навигационного времени у этого типа судов приходится на балластные порожние переходы. Данное обстоятельство, конечно, имеет место и при подобных перевозках другими видами транспорта, что так же отрицательно сказывается на их эффективности.

В мировой морской практике судоходства, когда перевозка нефтепродуктов в прямом направлении сочетается с грузопотоком навалочных грузов в обратном, используются комбинированные суда. Они позволяют в обратном рейсе, как правило, в других грузовых помещениях перевозить сухие навалочные грузы. Их конструктивные типы проанализированы в работе [1] и подробно описаны в [2, 3, 4, 5].

Это суда-нефтерудовозы типа ОО, нефтенавалочники типа ОВ, нефтенавалочники-рудовозы типа ОВО и ВОВО. Нефтерудовозы типа ОО предназначены для переменной перевозки нефти в бортовых танках, не имеющих ни вторых бортов, ни второго дна, и руды в узком центральном трюме. При необходимости в трюме при выполнении соответствующих условий могут перевозиться нефть и нефтепродукты.

Нефтенавалочники типа ОВ по конструкции корпуса и грузовых помещений близки к типу ОО, но только в центральном грузовом трюме перевозят относительно лёгкие навалочные грузы, а не руду.

Нефтенавалочники-рудовозы типа ОВО перевозят нефть и нефтепродукты, а также навалочные грузы и руду в грузовых помещениях – трюмах-танках, оборудованных водогазонепроницаемыми люковыми крышками.

Комбинированные суда типа ВОВО перевозят навалочные и генеральные грузы, загружаемые в специальный твиндек накатом.

Комбинированные суда типа ОВО и ВОВО для эксплуатации на внутренних водных путях до настоящего времени не создавались по ряду объективных причин, и их реализация требует глубоких экономических и проектных обоснований. Перевозка сухого и нефтеналивного груза в одних и тех же грузовых помещениях на судах типа ОВО требует высокого качества их зачистки, что приводит к дополнительным временным и финансовым затратам, наличию прочного нефтегазового люкового

закрытия, усложняющего и удорожающего его конструкцию. Такие суда создаются, прежде всего, как крупные морские для линий большой протяженности и значительной партионностью груза. На них относительные потери полученного объема корпуса в его грузовом районе на вторые борта и второе дно несравнимо меньше, чем на судах внутреннего плавания, имеющих существенные ограничения на размерения габаритами судового хода.

В нашей стране была спроектирована и построена большая серия комбинированных судов типа нефтерудовоз ОО проектов 1553, 1570 и 15790. Они предназначались для перевозки нефтепродуктов в Северо-Западных бассейнах, а обратно - активной руды. Отсутствие второго дна и вторых бортов в бортовых грузовых нефтеналивных танках при современных экологических требованиях [6] сделало их эксплуатацию невозможной. При сравнительно небольшой ширине этих судов, принятой из условия прохода шлюзов Волго-Балтийского канала, модернизация с целью удовлетворения экологическим нормам [7] из-за существенного уменьшения грузовместимости и, соответственно, грузоподъемности не имеет экономических перспектив.

В Северном и Сухонском парокходствах эксплуатируются нефтеналивные несамходные суда (баржи) проектов Р93У, 81540, 81542, у которых на палубном перекрытии корпусных нефтеналивных танков, как у судна-площадки, находится грузовая площадка, используемая для перевозки навалочных и тарно-штучных грузов в обратном рейсе.

Используя такую же конструктивную схему корпуса Морское инженерное бюро (МИБ) спроектировало комбинированный теплоход проекта RST54, позволяющий использовать грузовые пространство в корпусе для перевозки наливных грузов, а на палубной грузовой площадке в обратном рейсе перевозить, как навалочный, так и генеральный груз. Серия судов проекта RST54 в 2014-2016 гг. построена и успешно эксплуатируется в настоящее время. Такой архитектурно-конструктивный тип комбинированного судна классифицируется условно как танкер/площадка [8], и требуется научно-методический анализ для обоснования проектных элементов и характеристик таких судов, предназначенных для различных условий эксплуатации.

Результаты

Обратная загрузка комбинированного судна наряду с дополнительным доходом, приводит и к дополнительным затратам времени на погрузо-разгрузочные работы, на время их ожидания, манёвры, увеличение ходового времени. Последнее может быть следствием уменьшения скорости хода из-за наличия полной загрузки обратным грузом, а также из-за большей протяженности обратного рейса по сравнению с прямым (с жидким наливным грузом).

Отмеченное приводит к дополнительным эксплуатационным расходам, а также к уменьшению за навигационный период количества рейсов, перевезённого объема основного наливного груза и, соответственно, получаемого дохода.

Такой отрицательный эффект от обратной загрузки может быть уменьшен либо совсем устранён, в зависимости от того, насколько обоснованно приняты основные проектные элементы и характеристики судна.

Нефть и нефтепродукты относятся, как отмечалось выше, к массовым грузам, при перевозке которых используются суда максимальной грузоподъемностью [9]. Её повышение, исходя из этого, при принятых по условиям габаритов судового хода главных размерениях можно достигать увеличением коэффициента полноты водоизмещения.

На экономическую эффективность комбинированного судна, кроме отмеченной выше грузоподъёмности, влияют и другие проектные элементы судна, в том числе специфические для судов данного типа. Например, соотношение грузоподъёмностей по наливному и сухому грузу, протяженность линии с обратным грузом, фрахтовая ставка за него, скорость хода и др.

В целом это задача комплексная, требующая учета при её решении всех отмеченных выше обстоятельств, влияющих на эффективность обратной загрузки. Сделать это возможно, решая оптимизационную задачу обоснования проектных элементов и характеристик комбинированного судна.

Рассматривая судно как систему с множеством элементов с известными свойствами и связями между элементами, ориентированных на выполнение поставленных перед системой задач, проектирование судна можно трактовать как синтез технической системы. Тогда на основе системного, то есть комплексного подхода, задача синтеза оптимального проекта комбинированного судна в соответствии с [10] может быть сформулирована в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 & C(c_1, \dots, c_p); X(x_1, \dots, x_n); \\
 & (x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max}, \quad i = 1, \dots, n \\
 & x_i = \|x_{is}\|, \quad i = 1, \dots, n; \quad s = 1, \dots, s_i; \\
 & G_j(X, C) \geq A_j(C), \quad j = 1, \dots, m; \\
 & G_j(X, C) = A_j(C), \quad j = m + 1, \dots, M; \\
 & q_r(X, C) \otimes Q_r(C) = y_r, \quad y_r = 1, \dots, R \\
 & y_r = \begin{cases} 1; \\ 0; \end{cases} \\
 & \text{extr}Z(X, C).
 \end{aligned}$$

То есть при заданном векторе (множестве) исходных данных $C(c_1, \dots, c_p)$ найти комбинацию (вектор $X(x_1, \dots, x_n)$) варьируемых параметров, при котором функция цели Z будет достигать экстремума.

При этом должны выполняться на необходимом уровне A_j, Q_r требуемые навигационные и эксплуатационные качества G_j и q_r комбинированного судна, а также логические условия y_r по принципу «истина» (1) или «ложь» (0), используемые при переходе от одного условия к другому.

Варианты основных исходных данных и варьируемых параметров приведены в таблице 1. Отметим, что в перечень исходных данных традиционно включающих данные технического задания, также входят так называемые нормативы, определяющие предельные значения нормативных величин.

Таблица 1

Варианты исходных данных

Величины	Варианты задачи		
	Оптимизация с фиксированными главными размерениями	Оптимизация главных элементов	«Танкерный» вариант
Исходные данные	$L, B, T, H, L_{\text{ж}}, \Phi_{\text{ж}}, \rho_{\text{ж}}, \mu_c$	$P_{\text{ж}}, L_{\text{ж}}, \Phi_{\text{ж}}, T_{\text{н}}, \rho_{\text{ж}}, \mu_c$	$L, B, T, H, \rho_{\text{ж}}, L_{\text{ж}}, \Phi_{\text{ж}}$ либо $\rho_{\text{ж}}, P_{\text{ж}}, L_{\text{ж}}, \Phi_{\text{ж}}, v$
Варьируемые параметры	$\delta, v, \frac{P_c}{P_{\text{ж}}}, \frac{L_c}{L_{\text{ж}}}, \frac{\Phi_c}{\Phi_{\text{ж}}}$	$\delta, L/B, B/T, v, \frac{P_c}{P_{\text{ж}}}, \frac{L_c}{L_{\text{ж}}}$	δ, v либо $P_{\text{ж}}, \delta, L/B, B/T$
<p>В таблице приняты следующие обозначения:</p> <p>$L_{\text{ж}}, L_c$ – протяженность линии перевозки с жидким (прямым) и сухим (обратным) грузом соответственно;</p> <p>$P_{\text{ж}}, P_c$ – грузоподъемность по наливному и сухому грузу;</p> <p>$\Phi_{\text{ж}}, \Phi_c$ – фрахтовые ставки за перевозку нефтеналивного и сухого груза соответственно;</p> <p>$\rho_{\text{ж}}, \mu_c$ – плотность нефтеналивного и удельный погрузочный объем сухого грузов;</p> <p>δ, v – коэффициент полноты водоизмещения и скорость хода судна;</p> <p>$T_{\text{н}}$ – продолжительность навигационного периода;</p> <p>L, B, T, H – главные размерения судна.</p>			

Ограничения G_j по существу определяют условия существования и целостности судна отдельно при прямом и обратном (с сухим грузом) рейсах и включают в себя условия обеспечения:

- плавучести

$$D'(C, X) = \rho g V(X, C),$$

$D'(C, X)$ – сила веса, кН;

$V(X, C)$ – объемное водоизмещение, м³;

- баланса масс

$$D(C, X) - \sum P_i(X, C) = P_{\text{сп}},$$

$D(C, X)$ – масса судна, т;

$P_i(X, C)$ – i -ая составляющая нагрузки масс, т;

P_{cp} – грузоподъёмность судна по прямому или обратному рейсу, т.

- ходкости

$$N(C, X) - \frac{R(C, X) \times v}{\eta(C, X) \times \eta_e} = 0,$$

$N(C, X)$ – суммарная мощность главных двигателей, кВт;

$R(C, X)$ – полное сопротивление движению судна, кН;

$\eta(C, X)$ – пропульсивный коэффициент;

η_e – коэффициент, учитывающий потери на валопроводе и редукторе;

- вместимость по наливному $P_{жс}$ и сухому грузу P_c

$$W_T(C, X) \geq \frac{P_{жс}}{\rho_{жс}},$$

$$W_c(C, X) \geq \mu_c P_c,$$

$W_T(C, X), W_c(C, X)$ – объём грузовых помещений под наливной и сухой груз, м³;

$\rho_{жс}, \mu_c$ – плотность наливного и удельный погрузочный объём сухого груза соответственно;

- общей продольной прочности

$$\sigma_p(C, X) \leq [\sigma]_{доп},$$

$$\frac{L(C, X)}{H(C, X)} \leq L/H(C),$$

$\sigma_p(C, X)$ – наибольшие расчётные напряжения при общем продольном изгибе корпуса, Па;

$[\sigma]_{доп}$ – допускаемые напряжения, Па;

$L(C, X), H(C, X)$ – длина и высота борта судна, м;

$L/H(C)$ – максимально допустимое отношение длины к высоте борта судна;

- остойчивости

$$M_{кр}(C, X) \leq M_{доп}(C, X),$$

$$h(C, X) \geq h_{\min},$$

$M_{кр}(C, X)$, $M_{доп}(C, X)$ – кренящий и допускаемый момент при соответствующем наклонении, кНм;

$h(C, X)$, h_{\min} – начальная метацентрическая высота и допустимое её значение, м

- минимальной высоты надводного борта

$$H(C, X) - T(C, X) \geq H_{нб}(C, X),$$

$T(C, X)$ – осадка судна, м;

$H_{нб}(C, X)$ – регламентируемое минимальное значение надводного борта, м;

- диапазон возможных значений варьируемых величин

$$x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}$$

- ограничения на точность расчётных характеристик

$$\left| \frac{D_i - D_{i-1}}{D_i} \right| \leq \zeta_1,$$

$$\left| \frac{N_j - N_{j-1}}{N_j} \right| \leq \zeta_2,$$

$$\left| \frac{Z_q - Z_{q-1}}{Z_q} \right| \leq \zeta_3,$$

Z_q – критерий оптимальности на q-ом шаге поиска;

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ – допустимое значение расхождения двух смежных величин.

В качестве критерия оптимальности (функции цели) $Z(C, X)$ могут быть приняты следующие удельные показатели экономической эффективности, отнесённые к показателям «чистого» танкера:

$$\Pi = \frac{\Pi_K}{\Pi_T}, \quad Z_{np} = \frac{Z_{ПРК}}{Z_{ПРТ}}, \quad T_{ок} = \frac{T_{окК}}{T_{окТ}},$$

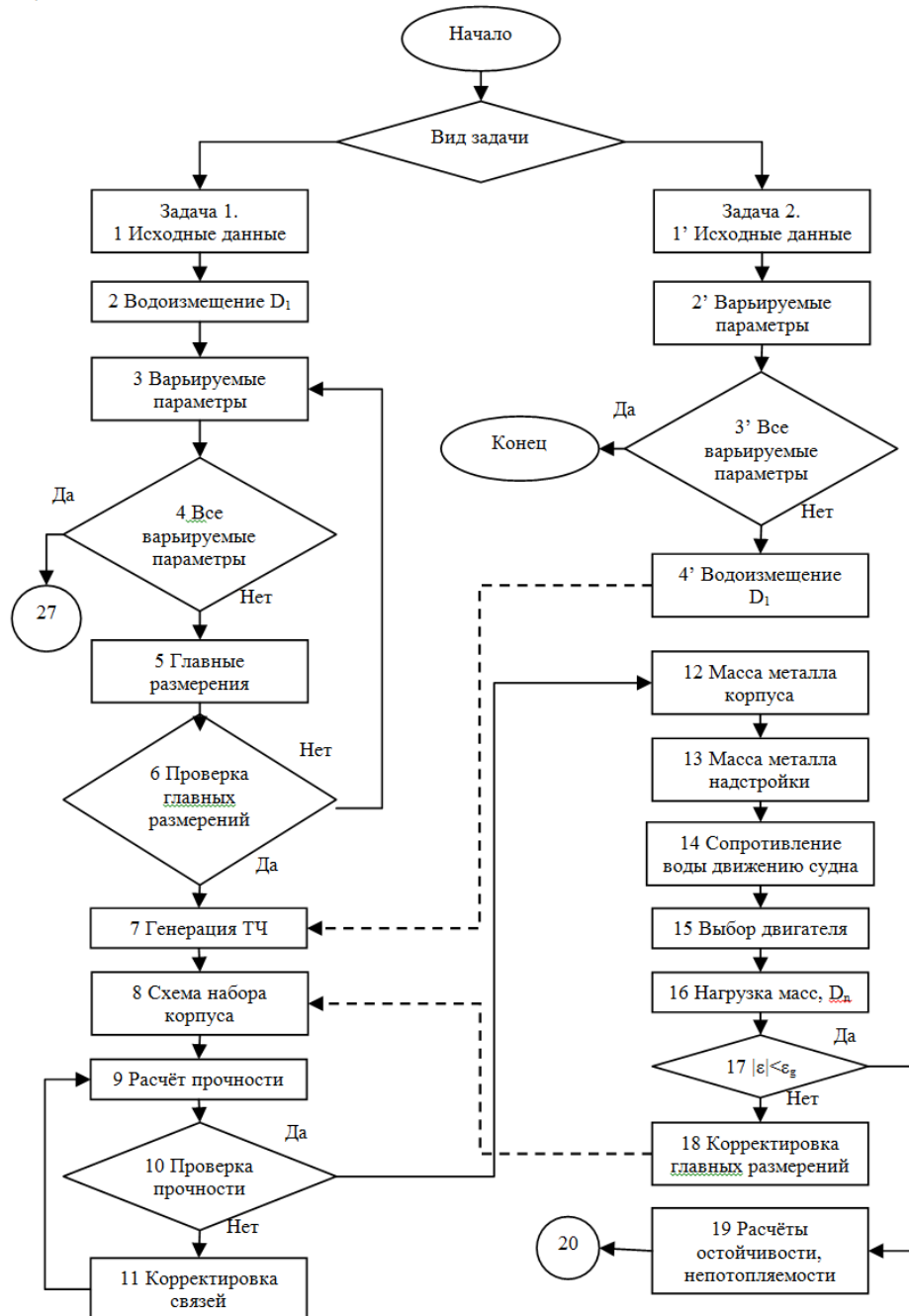
Π_K, Π_T – прибыль, получаемая от перевозки комбинированным судном и танкером соответственно;

$Z_{ПРК}, Z_{ПРТ}$ – приведённые затраты по комбинированному судну и танкеру соответственно;

$T_{окК}, T_{окТ}$ – срок окупаемости комбинированного судна и танкера соответственно.

На рисунке 1 представлена укрупнённая блок-схема задачи синтеза оптимального проекта комбинированного судна рассматриваемого типа и сопоставляемого с ним танкера. Она предусматривает решение двух задач. В первой главные размеры задаются, и они соответствуют максимально возможным из условия габаритов судового хода в рассматриваемом бассейне эксплуатации судна.

а) часть I



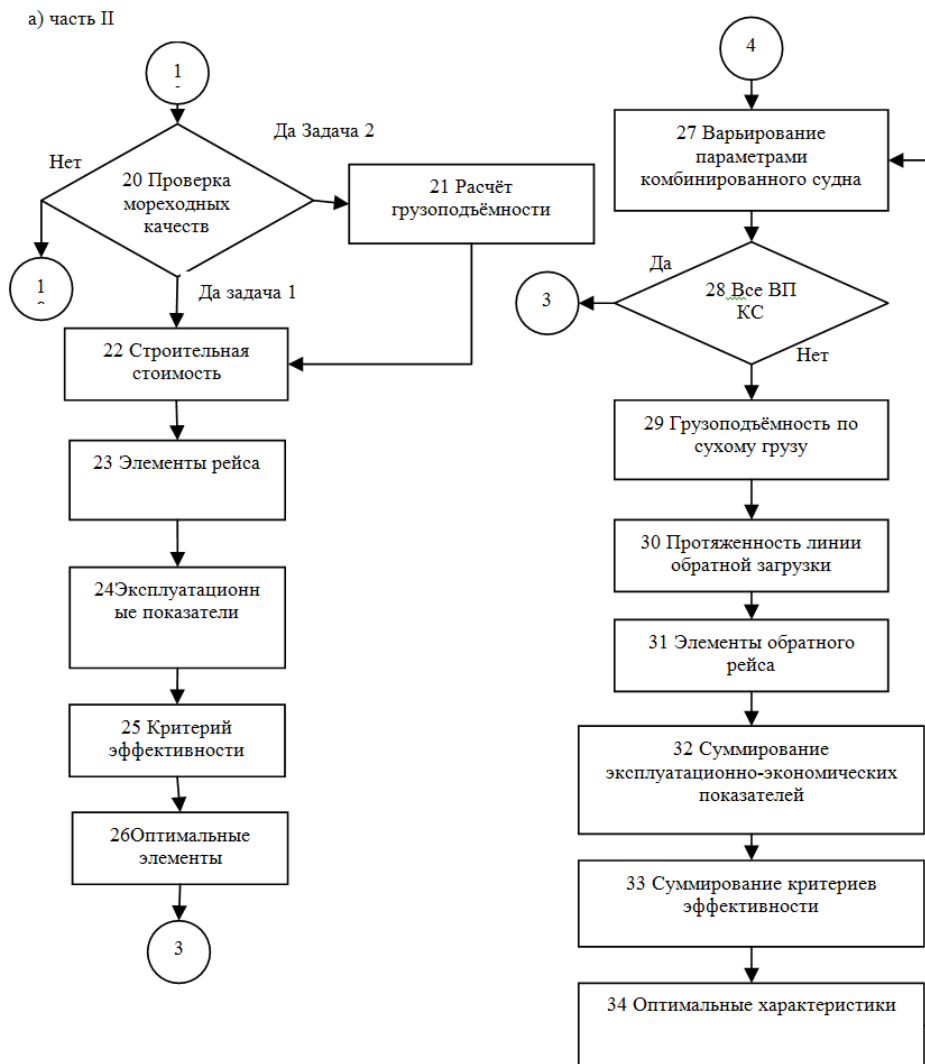


Рис. 1. Блок-схема оптимизации проектных элементов и характеристик комбинированного судна типа танкер/площадка

Вторая задача соответствует проектированию судна заданной грузоподъёмности, когда ограничения на размерения судна отсутствуют. Методики и процедуры проектирования корпуса, расчёта нагрузки масс, расчёта прочности, ходкости, устойчивости, вместимости и непотопляемости приведены в наших работах [11, 12, 13, 14]. Строительная стоимость рассчитывалась исходя из стоимости материалов, трудоёмкости изготовления, зарплаты основного и вспомогательного персонала, налоговых и амортизационных отчислений и норм прибыли.

Элементы прямого и обратного рейсов включают в себя определения ходового времени, времени погрузки и выгрузки, ожидания грузовых работ и манёвров. Эксплуатационные расходы и получаемые доходы рассчитывались по общепринятой схеме с использованием среднеотраслевых нормативов на речном транспорте.

Разработанное на языке FORTRAN [15] программное обеспечение реализует приведённые выше алгоритм синтеза как комбинированного судна типа танкер/площадка, так и сопоставляемого с ним «чистого» танкера и позволяет оптимизировать главные проектные элементы и характеристики этих судов.

Выполненные широкие тестовые расчёты подтверждают работоспособность программы и позволяют проанализировать, как зависят характеристики комбинированного судна от соответствующих варьируемых параметров, определяющих его экономическую эффективность по сравнению с танкером.

Одним из основных варьируемых параметров, обеспечивающих максимум грузоподъёмности и, соответственно, дохода при принятых главных размерениях, является коэффициент полноты водоизмещения δ . В теории проектирования судов введено понятие о так называемом экономическом значении коэффициента δ , при превышении которого происходит интенсивный рост сопротивления движению судна, мощности главных двигателей, расходов на топливо, ухудшение экономических показателей работы. Отсюда и следует, что задача выбора коэффициента δ при соответствующей скорости хода является экономической задачей. Его величина для судов с соотношением главных размерений как у морских, может быть найдена, например, по формулам Тейлора и Александра [16]. Существует значительное количество работ [7, 17, 18, 19, 20] в которых приводятся выражения, связывающие адекватные значения коэффициента полноты δ со скоростью хода. Все они отражают статистические данные по существующим грузовым судам, и нет рекомендаций, основанных на непосредственно экономическом анализе. Суть этого анализа сводится к определению предельно возможного увеличения полноты корпуса судна, при котором вызванный рост сопротивления воды движению и, следовательно, увеличивающиеся расходы на топливо главными двигателями будут компенсированы возросшими доходами и прибылью из-за увеличения за счёт коэффициента полноты δ грузоподъёмности судна.

Экономический анализ при обосновании применительно к грузовым судам максимальных размерений для Волжско-Камского бассейна ограниченного района плавания выполнены МИБом и приведены в работе [21]. Для анализа влияния формы корпуса на ходкость были использованы данные буксировочных испытаний моделей судов проекта МИБа. Пересчитанная на натуру буксировочная мощность была основной при выборе характеристик движительно-рулевых комплексов этих судов, оценки их строительной стоимости и эксплуатационных расходов. Выполненные в итоге расчёты эксплуатационно-экономических показателей судов подтвердили превышение прибыльности с ростом значений коэффициента δ , с достижением его максимума до 0,93, в соответствующем скоростном диапазоне хода.

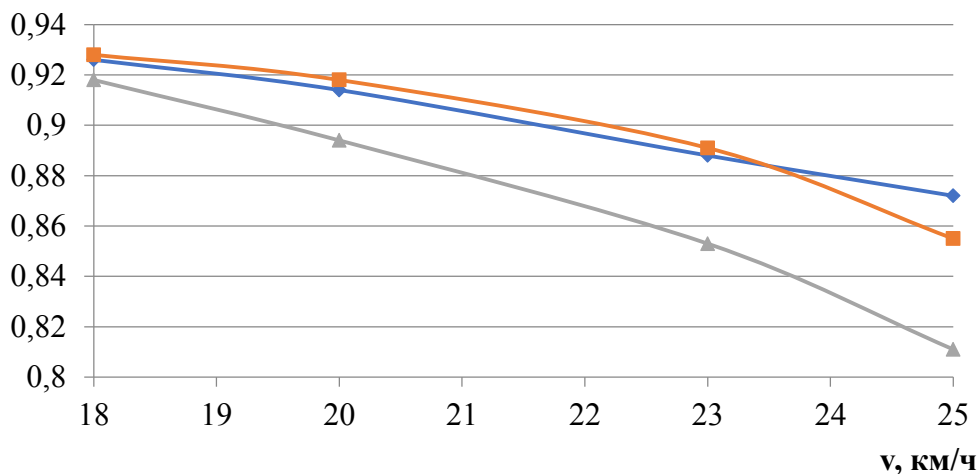
У комбинированных судов эта тенденция качественно, безусловно, сохраняется. Но она требует корректировки исходя из необходимости учета дополнительной загрузки в обратном рейсе. Она, с одной стороны, даёт дополнительный доход, зависящий от фрахтовой ставки и количества сухого груза на судне. Но в то же время при гружёном обратном рейсе возрастает, по отмеченным выше обстоятельствам, время кругового рейса и эксплуатационные расходы.

На рисунке 2 приведена зависимость оптимального значения коэффициента полноты δ от скорости хода, рассчитанная по приведённой выше оптимизационной методике с учётом отмеченных влияний полноты корпуса с размерениями

применительно к комбинированным судам типа танкер/площадка проекта RST54 (Проект 1), нефтерудовоза проекта 1553 (Проект 2) и танкера Лена-нефть проекта P77 (Проект 3).

а) при одинаковой грузоподъёмности по сухому и наливному грузу

допт



б) грузоподъёмность по грузу 20% от наливного

допт

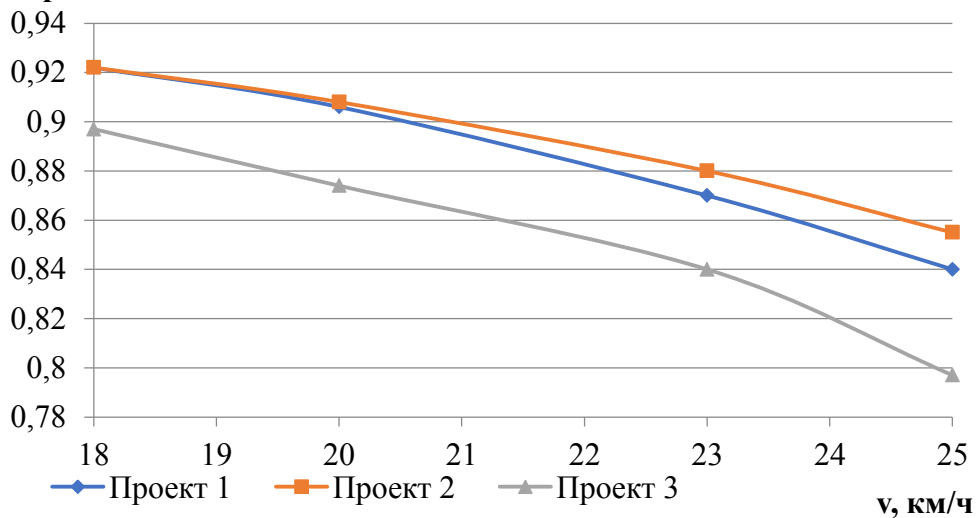


Рис. 2. Оптимальное значение коэффициента общей полноты

Уменьшение величины грузоподъёмности по обратному сухому грузу приводит к уменьшению дохода за круговой рейс. Это не позволяет компенсировать эксплуатационные затраты, связанные с увеличением сопротивления движению и

мощности главных двигателей при коэффициенте δ соответствующей обратной загрузки, равной грузоподъёмности по прямому рейсу наливным грузом. Поэтому полнота корпуса уменьшается, что и видно из анализа приведённых зависимостей.

Так как степень влияния полноты корпуса на сопротивление движению судна зависит от скоростного режима, корректнее зависимость максимально допустимого значения коэффициента полноты δ показывать в функции от числа Фруда (рисунок 3).

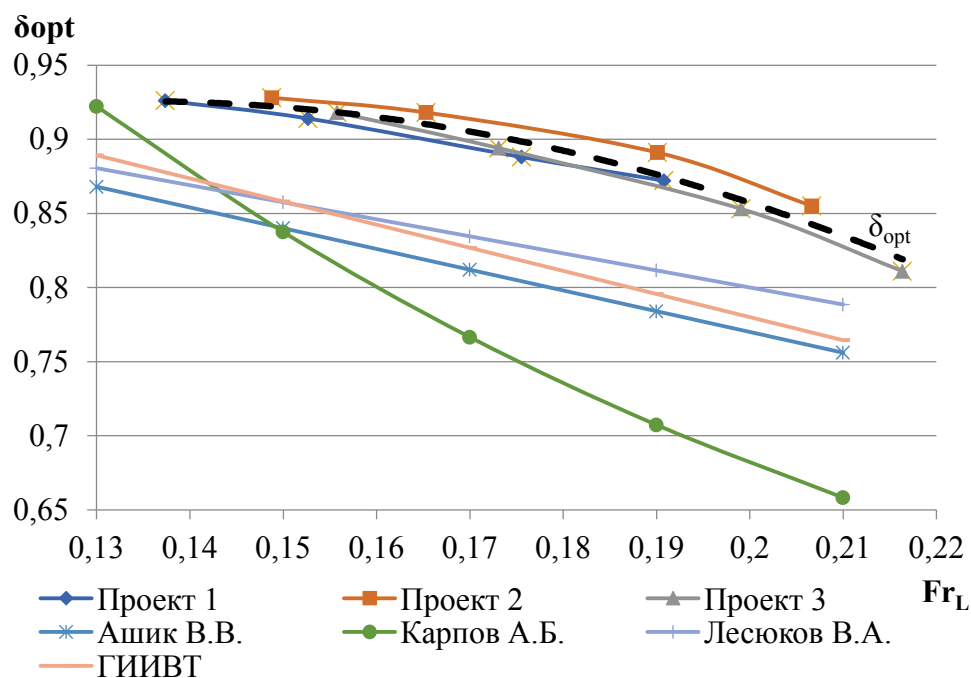


Рис. 3. Оптимальное значение коэффициента общей полноты зависимости от числа Фруда.

Плотность расположения в этом случае расчётных точек позволяет получить регрессионную зависимость

$$\delta = 0,645 + 4,188Fr_L - 15,65Fr_L^2$$

Приведённые на рисунке 3 графики некоторых известных статистических зависимостей подтверждают необходимость при выборе коэффициента полноты δ исходить не только из общепринятых требований, но и учитывать результаты глубокого экономического анализа.

Грузоподъёмность по обратному сухому грузу и его фрахтовая ставка безусловно влияют на экономическую эффективность комбинированного судна в сравнении с танкером тех же размерений. На рисунке 4 дана зависимость изменения от этих факторов прибыли комбинированного судна по сравнению с прибылью танкера такой же грузоподъёмности по наливному грузу (5000т), но с балластным пробегом в обратном рейсе. Из графика следует, что при массе обратного груза до 20% от основного наливного и при фрахте за него мене 0,8 от фрахта за основной груз эффективность комбинированного судна практически не превышает эффективность танкера. Такой же вывод можно сделать, если фрахт не превышает 20% от фрахта

перевозимого нефтегруза. Проведённые аналогичные расчёты при сравнении с танкерами с грузоподъёмностью 3500 и 2700 т. также согласуются с этими выводами.

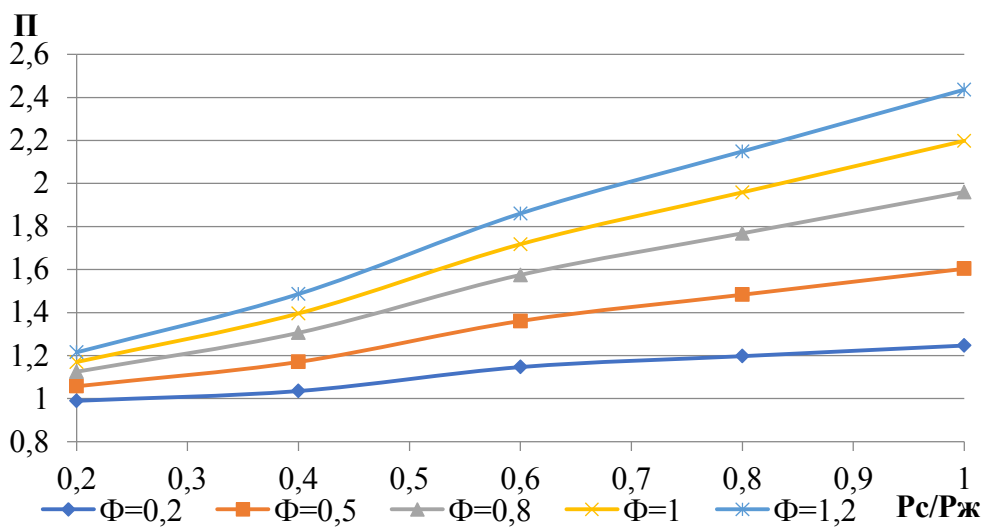


Рис. 4. Зависимость относительной прибыли комбинированного судна от соотношения грузоподъёмностей по сухому и наливному грузу при различных соотношениях их фрахтовых ставок

Эффективность комбинированного судна при одинаковой полной загрузке в прямом и обратном рейсах и неизменных фрахтовых ставках за сухой груз не зависит от протяженности линии (рисунок 5). Однако при низких ставках $\Phi \leq 0,2$ увеличение линии обратного рейса отрицательно сказывается на показателях прибыли.

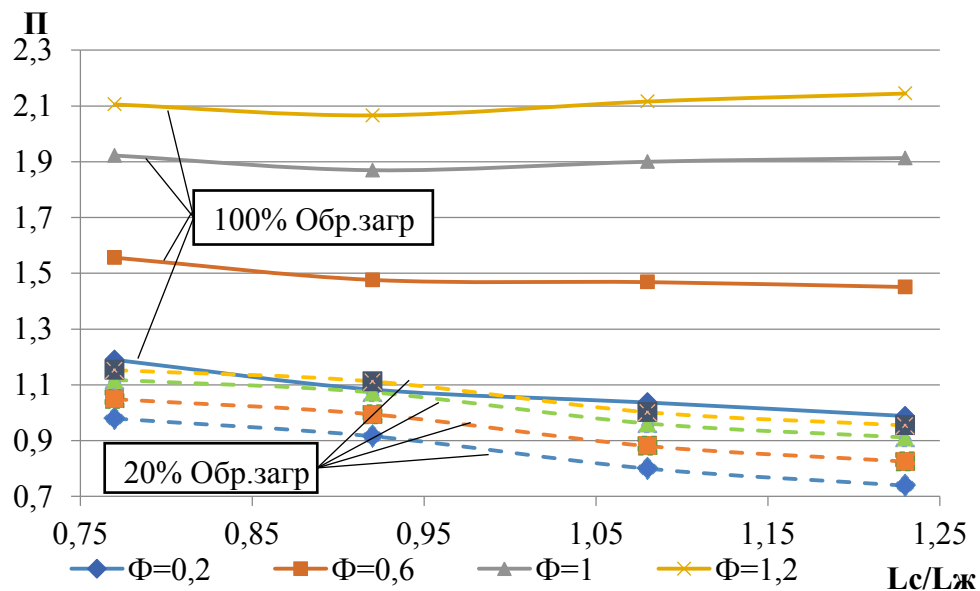


Рис. 5. Зависимость относительной прибыли комбинированного судна от соотношения длины линии с сухим грузом к линии с жидким грузом при их различных фрахтовых ставках

Кроме того, надо иметь в виду, что обратный гружёный рейс может иметь «фрагтовый» сухой груз только на части его протяженности, поскольку некоторая доля линии при этом уходит на порожние пробеги к месту погрузки. Это особенно характерно при соотношении отношении $L_C/L_{Ж} > 1$. Разработанная математическая модель учитывает это обстоятельство, отрицательно влияющее на эффективность судна. Доля холостого (без груза) пробега в обратном рейсе задаётся в исходных данных.

Увеличение загрузки в обратном рейсе приводит к повышению эффективности комбинированного судна вне зависимости от протяженности линии эксплуатации (рисунок 6). При этом грузоподъёмность по обратному грузу должна быть не менее 40% от наливного и 40% при длине линии 500 км.

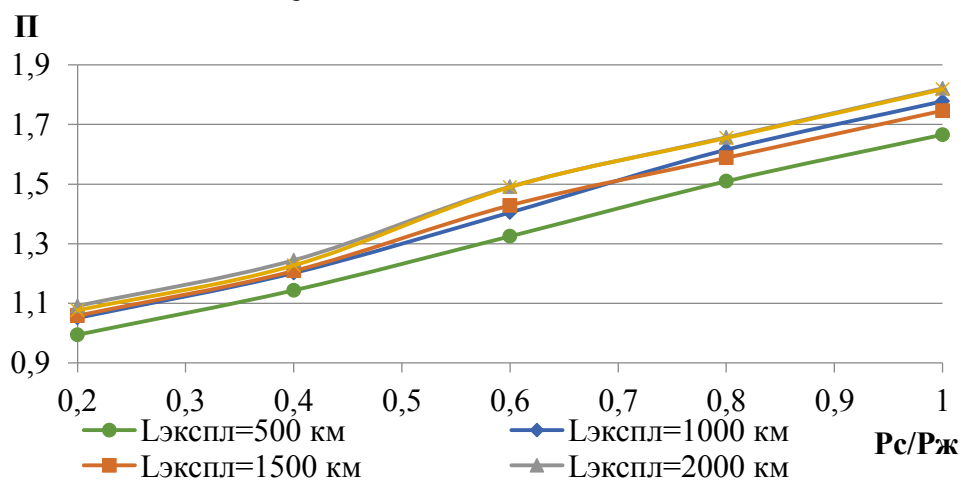


Рис. 6. Зависимость эффективности комбинированного судна по сравнению с танкером грузоподъёмностью 5000 т от грузоподъёмности по сухому грузу и протяженности линии эксплуатации

Выводы

Разработанное программное обеспечение предназначено для решения задач оптимизации основных проектных элементов и характеристик комбинированных судов типа танкер/площадка в системе сопоставления с имеющим такие же размерения и грузоподъёмность нефтеналивным танкером. Выполненные широкие тестовые расчёты подтверждают работоспособность программы и позволили проанализировать характеристики функциональных зависимостей основных оптимизируемых параметров от соответствующих исходных данных.

Список литературы

1. И.А. Гуляев. Классификация и архитектурно-конструктивные особенности комбинированных судов / Гуляев И.А., Роннов Е.П. // Научные проблемы водного транспорта, 62, 2020 – с. 40-50. DOI: 10.37890/jwt.vi62.38
2. Burneett A. To own a combination ship. "Marine design international", march 26, 1971, p. 19.
3. Dorman W. Combination bulk carriers. "Marine technology", 1966, N4, p. 409-453.

4. Marie Douet. Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, p. 231-248.
5. Report of the Commission on American Shipbuilding, Volume III, Annexes IA-IE. United States Commission on American Shipbuilding, 1973, p. 684
6. Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта (с изменениями на 6 августа 2020 года). Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. N 623
7. ФАУ «Российский Речной Регистр». Правила классификации и постройки судов. [Режим доступа]: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf>
8. Егоров Г.В. «Сверхполные» комбинированные суда проекта RST54 для перевозки нефтепродуктов и сухих грузов, а также контейнеров, накатной техники и проектных грузов / Егоров Г. В., Тонюк В. И., Дурнев Е.Ю // Судостроение, № 4, 2017 г.
9. Егоров Г.В., Егоров А.Е. Основные решения нового поколения «сверхполных» грузовых судов смешанного (река-море) и внутреннего плавания // Судостроение. №4, 2018 – с.9-15
10. Гайкович А.И. Моделирование процессов создания морской техники. С-Пб.: Электронное издание, СПбГМТУ. – 2015 – 149с.
11. Гуляев И.А. Математическая модель расчёта массы металлического корпуса комбинированного судна / И.А. Гуляев, Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев // Научные проблемы водного транспорта, Выпуск 63, 2020 – с. 48-54. DOI: 10.37890/jwt.vi63.75
12. Гуляев И.А. Прогнозирование сопротивления движению грузовых комбинированных судов в задаче их оптимизации / И.А. Гуляев, Ю.А. Кочнев // Труды 22-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2020" (27-29 мая 2020 г.). Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек, Нижний Новгород, 2020 г.
13. Гуляев И.А. Анализ устойчивости комбинированных судов на стадии исследовательского проектирования / Е.П. Роннов, И.А. Гуляев // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 66. – с. 29-35. DOI: 10.37890/jwt.vi66.158
14. Гуляев И.А. Расчет грузоподъемности комбинированных судов в задаче оптимизации главных элементов / И.А. Гуляев, Е.П. Роннов // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 68. С. 59-67. DOI: 10.37890/jwt.vi68.184
15. Бартедьев, О.В. Современный фортран - 3-е изд., доп. и перераб. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. - 449 с.
16. Ашик В. В. Проектирование судов: Учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1985.-320 с.
17. Дормидонтов Н. К., Анфимов В. Н., Малый П. А., Пахомов Б. А., Шмуйлов Н. Л. Проектирование судов внутреннего плавания. Л.: Судостроение, 1974, 335с.
18. Лесюков В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. Учебник для вузов водного транспорта - М.: Транспорт, 1982. – 303 с.
19. Роннов, Е. П. Статистическая модель прогнозирования остаточного сопротивления грузовых судов внутреннего и смешанного плавания / Е. П. Роннов, П. С. Цыбин // Труды ГИИВТ. - Горький, 1988. – Вып. 235. - С. 35-48.
20. Prateek Gupta, Bhushan Taskar, Sverre Steen, Adil Rasheed, Statistical modeling of Ship's hydrodynamic performance indicator // Applied Ocean Research, Volume 111, June 2021, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102623>
21. Егоров Г.В. О возможности создания судна смешанного река-мореплавания с предельно высоким коэффициентом общей полноты // Труды Центрального научно-исследовательского института им. академика А.Н. Крылова. 2013. № 75 (359). С. 6-14.

References

1. Gulyaev I.A. Ronnov E.P. Klassifikatsiya i arkhitekturno-konstruktivnye osobennosti kombinirovannykh sudov [Classification and architectural and structural features of combined vessels]. Nauchnye problemy vodnogo transporta, 62, 2020, s. 40-50. DOI: 10.37890/jwt.vi62.38

2. Burneett A. To own a combination ship. "Marine design international", march 26, 1971, p. 19.
3. Dorman W. Combination bulk carriers. "Marine technology", 1966, N4, p. 409-453.
4. Marie Douet. Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, p. 231-248.
5. Report of the Commission on American Shipbuilding, Volume III, Annexes IA-IE. United States Commission on American Shipbuilding, 1973, p. 684
6. Tekhnicheskii reglament o bezopasnosti ob"ektov vnutrennego vodnogo transporta [Technical Regulations on the safety of inland water transport facilities] (s izmeneniyami na 6 avgusta 2020 goda). Utverzhden Postanovleniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 12 avgusta 2010 g. N 623
7. FAU «Rossiiskii Rechnoi Registr». Pravila klassifikatsii i postroiki sudov. [Rezhim dostupa]: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf>
8. Egorov G. V., Tonyuk V. I., Durnev E. YU «Sverkhpolnye» kombinirovannye suda proekta RST54 dlya perevozki nefteproduktov i sukhikh gruzov, a takzhe konteinerov, nakatnoi tekhniki i proektnykh gruzov. ["Super-full" combined vessels of the RST54 project for the transportation of petroleum products and dry cargo, as well as containers, rolling equipment and project cargo] Sudostroenie, № 4, 2017 g.
9. Egorov G.V., Egorov A.E. Osnovnye resheniya novogo pokoleniya «sverkhpolnyKH» gruzovykh sudov smeshannogo (reka-more) i vnutrennego plavaniya [The main solutions of the new generation of "super-full" cargo vessels of mixed (river-sea) and inland navigation]. Sudostroenie. №4, 2018, s.9-15
10. Gaikovich A.I. Modelirovanie protsessov sozdaniya morskoi tekhniki. [Modeling of the processes of creating marine equipment] S-Pb.: Ehlektronnoe izdanie, SPBGMTU, 2015, 149s.
11. I.A. Gulyaev, E.P. Ronnov, YU.A. Kochnev Matematicheskaya model' rascheta massy metallicheskogo korpusa kombinirovannogo sudna [Mathematical model for calculating the mass of the metal hull of a combined vessel]. Nauchnye problemy vodnogo transporta, Vypusk 63, 2020, s. 48-54. DOI: 10.37890/jwt.vi63.75
12. I.A. Gulyaev, YU.A. Kochnev Prognozirovaniye soprotivleniya dvizheniyu gruzovykh kombinirovannykh sudov v zadache ikh optimizatsii [Forecasting the resistance to the movement of combined cargo vessels in the task of their optimization]. Trudy 22-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma "Velikie reki-2020" (27-29 maya 2020 g.). Problemy ispol'zovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putei v basseinakh velikikh rek, Nizhnii Novgorod, 2020 g.
13. E.P. Ronnov, I.A. Gulyaev Analiz ostoichivosti kombinirovannykh sudov na stadii issledovatel'skogo proektirovaniya [Stability analysis of combined vessels at the research design stage]. Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2021. № 66, s. 29-35. DOI: 10.37890/jwt.vi66.158
14. I.A. Gulyaev, E.P. Ronnov Raschet gruzovmestimosti kombinirovannykh sudov v zadache optimizatsii glavnykh ehlementov [Calculation of cargo capacity of combined vessels in the problem of optimization of the main elements]. Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2021. № 68. S. 59-67. DOI: 10.37890/jwt.vi68.184
15. Barten'ev, O.V. Sovremenniy fortran [Modern Fortran] - 3-e izd., dop. i pererab. - M.: DIALOG-MIFI, 2000. - 449 s.
16. Ashik V. V. Proektirovanie sudov [Ship design]: Uchebnik. - 2-e izd., pererab. i dop. - L.: Sudostroenie, 1985.-320 s.
17. Dormidontov N. K., Anfimov V. N., Malyi P. A., Pakhomov B. A., Shmuilov N. L. Proektirovanie sudov vnutrennego plavaniya [Design of inland navigation vessels]. L.: Sudostroenie, 1974, 335c.
18. Lesyukov V.A. Teoriya i ustroistvo sudov vnutrennego plavaniya [Theory and design of inland navigation vessels]. Uchebnik dlya vuzov vodnogo transporta - M.: Transport, 1982. - 303 s.
19. E. P. Ronnov, P. S. Tsybin Statisticheskaya model' prognozirovaniya ostatochnogo soprotivleniya gruzovykh sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya [Statistical model for

- predicting the residual drag of inland and mixed cargo vessels], Trudy GIIVT. - Gor'kii, 1988. – Вып. 235. - S. 35-48.
20. Prateek Gupta, Bhushan Taskar, Sverre Steen, Adil Rasheed, Statistical modeling of Ship's hydrodynamic performance indicator // Applied Ocean Research, Volume 111, June 2021, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102623>
21. Egorov G.V. O vozmozhnosti sozdaniya sudna smeshannogo reka-moreplavaniya s predel'no vysokim koehffitsientom obshchei polnoty [About the possibility of creating a mixed river navigation vessel with an extremely high coefficient of overall completeness]. Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta im. akademika A.N. Krylova. 2013. № 75 (359). S. 6-14.

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,

Илья А. Gulyaev, Head of Hull Department, Federal Autonomous Institution Russian River Register, bld. 2, 15, Okruzhnoy proezd, Moscow, Russia, 105187

Кочнев Юрий Александрович, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: tmnkoach@mail.ru

Yuri A. Kochnev, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education Volga State University of Water Transport (VSUWT), 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Роннов Евгений Павлович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Evgeniy P. Ronnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education Volga State University of Water Transport (VSUWT), 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Статья поступила в редакцию 07.04.2022; опубликована онлайн 07.06.2022.
Received 07.04.2022; published online 07.06.2022.