

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi80.507

Математическая модель наливного судна на начальных этапах проектирования

Д.А. Малов

ORCID: 0009-0007-4876-8229

Ю.А. Кочнев

ORCID: 0000-0002-6864-4473

И.Б. Кочнева

ORCID: 0000-0002-5612-3742

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

Аннотация: Для обоснования главных неизвестных на начальных этапах проектирования и прежде всего при исследовательском проектировании необходима разработка математической модели максимально чувствительной к изменению варьируемых параметров, которыми могут быть любые элементы судна или его подсистем. Необходимость обеспечения мореходных качеств, таких как прочность, плавучесть, ходкость, остойчивость, непотопляемость и вместимость требует включения перечисленных модулей в моделирование или в виде расчётных функций, как, например, определение осадки из уравнения масс и плавучести, или в виде ограничений, требующих, при невыполнении, пересчёта первых. В работе приведено описание подобной математической модели применительно к нефтеналивному танкеру смешанного (река-море) плавания класса «М-СП» Российского Классификационного общества. Её особенностью является использование автоматизированного проектирования формы корпуса и включение в математическую модель фактического расчёт элементов плавучести, начальной остойчивости и вместимости, а не использования для них статистических зависимостей, что существенно повышает адекватность конечного результата.

Ключевые слова: математическая модель, танкер, измерители масс, мореходные качества, эффективность.

A mathematical model of a liquid-loading vessel at the initial design stages

Dmitrij A. Malov

ORCID: 0009-0007-4876-8229

Yuri A. Kochnev

ORCID: 0000-0002-6864-4473

Irina B. Kochneva

ORCID: 0000-0002-5612-3742

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

Abstract: To substantiate the main unknowns at the initial stages of design and, above all, during the research design, it is necessary to develop a mathematical model as sensitive as possible to changes in variable parameters, which can be any elements of the vessel or its subsystems. The need to ensure seaworthiness, such as buoyancy, stability, unsinkability, strength, seaworthiness and capacity requires the inclusion of these modules in modeling either in the form of calculation functions, such as determining precipitation from the

equation of mass and buoyancy, or in the form of restrictions requiring, if not fulfilled, recalculation of the former. The article describes a similar mathematical model in relation to an oil tanker of mixed (river-sea) navigation of the “M-SP” class of the Russian Classification Society. Its feature is the use of computer-aided design of the hull shape and the inclusion in the mathematical model of the actual calculation of the elements of buoyancy, initial stability and capacity, rather than using statistical dependencies for them, which significantly increases the adequacy of the final result.

Keywords: mathematical model, tanker, mass meters, seaworthiness, efficiency.

Введение

Одной из доминирующих задач исследовательского проектирования судна является описание взаимосвязи между исходными данными и главными размерениями с обеспечением максимальной точности основных характеристик, таких как водоизмещение, вместимость, остойчивость и т.д. Если на последующих этапах проектирования это возможно выполнить с использованием общепринятых методик, рекомендованных классификационным обществом или руководящими документами, то при выборе, обосновании и оптимизации главных неизвестных, когда всей необходимой информации для расчёта ещё не получено, приходится прибегать к математическому моделированию. Последние включает разработку как собственных приближённых моделей, также использование и обобщение существующих, апробированных в теории проектирования судна.

Материалы и методы

Системный подход, как один из основных современных методов проектирования судна, заключается в его представлении в виде структурированного множества взаимосвязанных элементов, выполняющие заданные функции [1].

При рассмотрении задач исследовательского проектирования рассматривается система уравнений, называемая в теории проектирования математической моделью

$$F = f(A_1, A_2, A_3, A_4),$$

Где A_1 – вектор внешних и исходных данных по судну;

A_2 – вектор элементов и характеристик судна, представляемого как система;

A_3 – вектор связей между элементами A_1 и A_2 ;

A_4 – множество свойств системы и элементов.

Она отражает взаимодействие элементов и характеристик судна с рассматриваемыми на данном этапе мореходными и другими качествами.

Реализация векторов внешней среды, элементов системы, её свойств и взаимоотношений, функциональных зависимостей между перечисленными векторами зависит от типа проектируемого судна, но в общем случае состоит из набора однотипных модулей. Их структуру можно рассматривать как алгоритм реализации математической модели, который в большей степени универсален для всех судов и отражает наиболее глобальные и важные этапы функционирования моделей при исследовательском проектировании (рисунок 1).

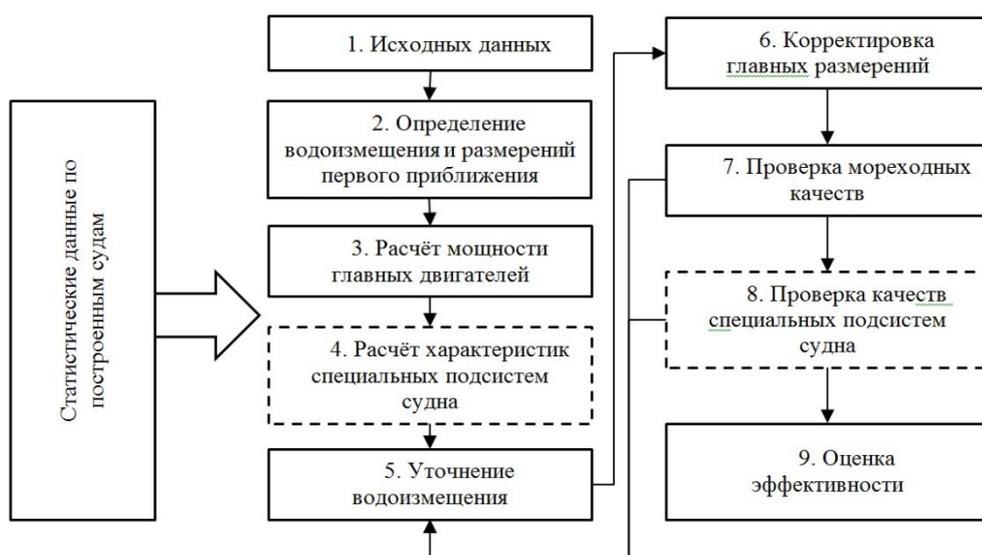


Рис.1. Основные модули математической модели судна

Блок 1 приведённой блок-схемы организует ввод необходимых исходных данных, состав которых будет существенно отличаться как для судов различных типов, так и от конкретной решаемой задачи. Например, при оптимизации и обосновании главных размеров грузового судна необходимо иметь характеристики предполагаемой линии эксплуатации, а в случае исследования мореходных качеств достаточным будет грузоподъёмность и плотность грузов. Подобные различия выделяются в каждом элементе алгоритма, а блоки 4 и 8 будут иметь место для специализированных судов и задач, требующих отдельной подробной специальных подсистем, например, сцепного устройства для толкачей, или при перевозке на танкере одновременно нескольких сортов грузов.

Для нефтеналивного танкера смешанного плавания класса Российского Классификационного Общества «М-СПЗ,5» подробная реализация модулей математической модели рассмотрена ниже.

Результаты

Для танкера к исходным данным (блок 1) относятся грузоподъёмность $P_{гр}$, минимальная плотность перевозимого груза $\rho_{гр}$, класс и ограничительные характеристики линии эксплуатации (глубина судового хода или на короле шлюза в межень (T_{max}), ширина B_{max} и длина (L_{max}) лимитирующего шлюза на линии).

Длину и ширину судна (L, B), а также коэффициент общей полноты (δ), рационально рассматривать в виде параметров математической модели. Водоизмещение первого приближения в блоке 2 находится через коэффициент утилизации в неявном виде [2]

$$D_1 = \frac{P_{гр}}{0,682 + 1,765 \times P_{гр} \times 10^{-5}} \quad (2)$$

Осадка судна, м

$$T = \frac{D_1}{\rho \delta L B'} \quad (3)$$

где ρ – плотность воды, т/м³.

Так как для грузовых судов одной из актуальнейших задач является обеспечение вместимости, высота борта определяется из условия необходимого объема грузовых трюмов

$$H = \frac{1,03P_{гр}}{\rho_{гр} \times L_{ГТ} \times (B - 2b'')} + h'', \quad (4)$$

где $L_{ГТ}$ – длина грузовых трюмов, м;

b'', h'' – ширина межбортового пространства, м, и высота междудонного пространства, определяемые из требований [3] и равные

$$b'' = 0,4 + \frac{2,4Dw}{20000} \geq 0,9, \quad (5)$$

$$h'' = \frac{B}{15}, \quad (6)$$

$$h'' \geq 0,8 \text{ при } Dw < 5000\text{т} \quad (7)$$

$$h'' \geq 1,0 \text{ при } Dw \geq 5000\text{т} \quad (8)$$

где Dw – полный дедвейт судна, т,

$$Dw = P_{гр} + P_5 \quad (9)$$

где P_5 – суммарная масса запасов

$$P_5 = \sum_{i=1}^4 P_i ; \quad (10)$$

$P_1 = qN$ – масса запаса топлива, т;

$P_2 = 0,041n_{эк}t_2$ – запас продовольствия, т;

$P_3 = 0,18n_{эк}t_3$ – масса воды или максимальная масса фекально-сточных вод, т;

$P_4 = 0,12n_{эк}$ – масса экипажа, т;

где q – расход топлива главными двигателями на единицу мощности, т/кВт, учитывающий необходимую автономность по запасам топлива, паспортный расход двигателя и штормовой запас;

$n_{эк}$ – количество человек экипажа;

N – суммарная мощность главных двигателей, кВт;

t_2 – время между бункеровками продовольствием, сут

t_3 – время между бункеровками водой, сут.

Длина грузового трюма рассчитывается из условия общей компоновки судна (рисунок 2) и составляет

$$L_{ГТ} = \left(0,98 \times L - \frac{B}{2} - L_{ПУ} - L_{МО} - L_{БО} \right) \times 0,97, \quad (11)$$



Рис.2. Компонка танкера, принятая в математической модели

где $L_{ПУ}, L_{МО}, L_{БО}$ – длины отсека подруливающего устройства, машинного отделения и балластного отсека соответственно, равные [4]

$$L_{ПУ} = (0,041 - 1,318 \times L \times 10^{-4})L, \quad (12)$$

$$L_{БО} = (0,034 - 1,443 \times Dw \times 10^{-6})L \quad (13)$$

$$L_{МО} = \left(0,250 - 0,045 \times \frac{LBT}{N \times v}\right)L, \quad (14)$$

где v – скорость хода, м/с.

Мощность главных двигателей на этапе, когда главные размерения первого приближения не определены рассчитывается по формуле

$$N = 0,804 \times (Dw \times v)^{0,73}, \quad (15)$$

а при переходе в блок алгоритма 3, заменяется на

$$N = \frac{Rv}{\eta}, \quad (16)$$

где R – сопротивление движению судна, кН;

η – пропульсивный КПД.

Прогнозирование сопротивления воды на этапах исследовательского проектирования может быть выполнено различными методами [5, 6, 7 и др.], однако, учесть наибольшее количество особенностей формы корпуса, можно использованием метода Холтропа-Менена [8] реализующим принцип Хьюза с дополнительным учетом поправок на сверхполные обводы корпуса, которые применяются в настоящее время при проектировании грузовых судов [9].

Таким образом в разрабатываемой математической модели сопротивление определяется по выражению

$$R = [(1 + k_1)R_f + R_{APP} + R_w + R_B + R_A]k_{\delta v}, \quad (17)$$

где k_1 – коэффициент влияния формы корпуса на сопротивление трения;

$R_f, R_{APP}, R_w, R_B, R_A$ – соответственно сопротивление трения, выступающих частей, волновое, сопротивление бульбового носа и аэродинамическое сопротивление судна;

$k_{\delta v}$ – поправка для речных и судов смешанного плавания, равная

$$k_{\delta v} = 3,51 + 0,73 \times v - 2,28 \times \delta - 0,95 \times v \times \delta. \quad (18)$$

На начальном этапе проектирования в рассматриваемой задаче по моделированию наливного судна отсутствуют модули по расчёту специальных подсистем, то есть блоки 4 и 8 в разрабатываемой модели не задействованы.

В блоке 5 определяется водоизмещение порожнем

$$D_{п} = 1,03 \sum_{j=1}^9 P_j \quad (19)$$

где P_1 – масса металлического корпуса, т;

P_9 – масса оборудования помещений;

P_j – остальные массы, представляемые через измерители ψ_j и модули M_j j-ой массы, приведённые в таблице 1 [10], полученные пересчётом на класс «М-СП»

$$P_j = \psi_j M_j. \quad (20)$$

Таблица 1

Измерители и модули массы

| Масса | Индекс массы | Значение измерителя | Модуль |
|---------------------------------|--------------|---------------------|-----------------|
| Фундаменты | 2 | 0,294 | L |
| Дельные вещи | 3 | 0,031 | $(LBH_1)^{2/3}$ |
| Окраска, покрытие, цементировка | 4 | 0,045 | $(LBH_1)^{2/3}$ |
| Изоляция, зашивка | 5 | 0,089 | $(LBH_1)^{2/3}$ |
| Судовые устройства | 6 | 0,342 | $(LBH_1)^{2/3}$ |
| Судовые системы | 7 | 0,097 | $(LBH_1)^{2/3}$ |
| СЭУ | 8 | 46,2 | $N/n_{об}$ |

Используемая в модулях приведённая высота борта учитывает наличие надстроек на палубе различной длины и расположения

$$H_1 = H + h_{тр} + \left(\sum_1^a l_n h_n + \sum_1^b l_p h_p \right) L^{-1}, \quad (21)$$

где $h_{тр}$ – высота тронка, м;

l_n, l_p – соответственно длина надстроек и рубок, м;

h_n, h_p – соответственно высота надстроек и рубок, м;

a – число надстроек;

b – число рубок.

Масса оборудования помещений наиболее точно представляется по формуле [2]

$$P_9 = \left(5,444 - 6,4 \times \frac{Dw}{n_{эк}} \times 10^{-3} \pm 0,425 \right) \times Dw, \quad (22)$$

где $n_{эк}$ – численность экипажа.

Масса металлического корпуса, которая является основной составляющей водоизмещения судна в состоянии порожнем, может быть рассчитана по виртуальной модели требуемой конструкции корпуса [11], то есть математического представления размеров и положения в пространстве всех его элементов. Его общая система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} P_i = f(\theta_i, S, U) \\ P_1 = \sum P_i \\ \sigma(S', U') < [\sigma(S', U')] \end{cases}, \quad (23)$$

где P_i – составляющие массы металлического корпуса, т;
 f – некоторая функциональная зависимость
 θ_i – вектор характеристик i -ого элемента (размеры связи, свойства материала и т.п.);

S' – вектор характеристик судна;

U' – вектор нормативных требований к характеристикам судна;

$\sigma, [\sigma]$ – действующие и допускаемые напряжения в корпусе судна, МПа;

Корректировка главных размерений в блоке 6 выполняется за счёт изменения максимальной осадки судна. Учитывая, что оно в реальных условиях эксплуатации может перевозить груз с различными масса-габаритными характеристиками, в зависимости от его порционности, что существенно сказывается на прочности корпуса, в разработанной модели, прогнозируются несколько видов нагрузки.

Окончательные водоизмещения, получаемые при различном количестве перевозимого на судне груза равны

$$D_i = D_0 + P_i + P_5 + P_B, \quad (24)$$

где P_B – масса балласта, т, которая учитывается, если при его массе равной нулю средняя осадка T_i не превышает величину T'_i , обеспечивающую минимально необходимую мореходность, то есть

$$T_i < T'_i, \quad (25)$$

$$T_i = \frac{D_i}{\rho \times \delta \times L \times B}, \quad (26)$$

$$T'_i = \frac{0,8T + 0,5h_B}{2}. \quad (27)$$

Окончательно масса балласта принимается равной

$$P_B = (T'_i - T_i)(\alpha \times L \times B)\rho, \quad (28)$$

где α – коэффициент полноты ватерлинии;

h_B – высота расчётной волны 3% обеспеченности;

Проверка остойчивости в блоке 7 выполняется по метацентрической высоте

$$r_{0i} + z_{ci} - z_{gi} > 0,5, \quad (29)$$

где r_{0i}, z_{ci} – соответственно малый метацентрический радиус и аппликата центра величины при i -ом случае загрузки [1]

z_{gi} – аппликата центра тяжести судна, м, для i -ого случая нагрузки, равная

$$z_{gi} = \frac{(D_0 + P_3) \times z_{gпор} + P_i(h'' + 0,5h_{rpi}) + 0,5 \times P_B \times h''}{D_i}, \quad (30)$$

$z_{gпор}$ – аппликата центра тяжести судна в состоянии порожнем, определяемая по регрессионному уравнению

$$z_{gпор} = (0,871 - 2,133 \times P \times 10^{-5}) \times H \quad (31)$$

h_{rpi} – средняя высота груза в танках, в предположении его равномерного распределения, учитывающая, в том числе обеспечение вместимости судна, то есть

$$h_{\text{rpi}} = \frac{\rho_{\text{rpi}} P_i}{V_{\text{ГТ}}}, \quad (32)$$

$V_{\text{ГТ}}$ – объём грузовых танков, для судов с коэффициентом полноты соответствующим современным судам смешанного плавания определяется по теоретическому чертежу (в математическом виде) с учётом требуемых размеров межбортового и междудонного пространства (b'' , h'') во всех сечения корпуса.

Поверхность корпуса грузового судна задается уравнением [10]

$$S_c = f(x_i, y_{i,j}, z_j) \quad (33)$$

где x_i – абсциссы рассматриваемых поперечных сечений,

z_j – аппликаты рассматриваемых продольно-горизонтальных сечений;

$y_{i,j}$ – ординаты поверхности судна в i -ом поперечном и j -ом горизонтально-продольном сечении.

Обеспечение непотопляемости на этапе исследовательского проектирования может сведено к проверке высоты надводного борта на её соответствие требованиям РКО

$$H - T_{\text{max}} + t_{\text{ш}} \geq H_{\text{НБ}}^{\text{min}}, \quad (34)$$

где T_{max} – максимальная осадка судна, м;

$t_{\text{ш}}$ – толщина листов палубного стрингера, м;

$H_{\text{НБ}}^{\text{min}}$ – минимально необходимая высота надводного борта судна, м.

Общая и местная прочность судна обеспечивается при проектировании виртуального конструктивного мидель-шпангоута, реализованного в системе уравнений (22).

Оценка экономической эффективности выполняется по различным видам критериев подробно рассмотренных, например, в [1, 13]. Она состоит из прогнозирования

строительной стоимости

$$R = q_1 \times \sum_{i=1}^{10} R_i \times (1 + \varphi), \quad (35)$$

затрат на эксплуатацию

$$З = \sum_{j=1}^6 З_j k_{\text{доп}} + З_8, \quad (36)$$

доходов от работы судна за некоторый период

$$Д = \sum_{k=1}^{n_{\text{ГР}}} \Phi_k \times P_{\Sigma k}, \quad (37)$$

где q_1 – экспертный коэффициент;

R_i , – отдельные статьи расходов, связанные с строительством судна, и принятые в методике расчёта предполагаемого завода строителя;

φ – налоговая ставка;

Z_j – отдельные статьи расходов на эксплуатацию судна;

$k_{доп}$ – коэффициент, учитывающий прочие прямые «незначительные» расходы по судну;

Z_8 – лизинговые платежи;

Φ_k – фрахтовая ставка перевозки k -ого типа груза;

$P_{\Sigma k}$ – суммарная масса k -ого типа груза;

$n_{гр}$ – количество типов перевозимых грузов.

В таблице 2 приведены тестовые сравнительные расчёты главных элементов судна, полученных по предложенной математической модели и танкера проекта №630 с грузоподъемностью 5000 т, которые показывают хорошую адекватность предлагаемой модели. Погрешность в определении водоизмещения судна составляет менее 2%, а мощности менее 10, что для этапа исследовательского проектирования можно считать хорошим результатом.

Таблица 2

Пример результатов вычислений

| Характеристика судна | Проект №630 | Расчетный проект |
|----------------------|-------------|------------------|
| Грузоподъемность, т | 5000 | |
| Автономность | 10 | |
| Длина L , м | 134,12 | |
| Ширина B , м | 16,5 | |
| Высота борта H , м | 6,4 | 6,4 |
| Осадка T , м | 3,7 | 3,5 |
| Водоизмещение, т | 6984,29 | 6891,3 |
| Мощность | 1764,7 | 1622 |

Обсуждение

Предложенная математическая модель судна состоит из двух частей: расчёт главных размерений, водоизмещения и мощности судна «первого приближения» с использованием наиболее простых математических зависимостей теории проектирования, и разработки условного приближённого цифрового двойника судна с определением общей компоновки, формы корпуса, основных элементов конструкции, прогнозирования величины разделов нагрузки масс, проверки выполнения мореходных качеств.

Основные отличия предлагаемой математической модели заключаются в разработке виртуальной модели корпуса судна, что позволяет выполнять более точный расчёт характеристик, связанных с ним и использование при проверке мореходных качеств нескольких вариантов загрузки. Последнее особенно актуально в обеспечении общей прочности, при распределении весов по теоретическим шпациям и прогнозировании изгибающего момента на тихой воде, и проверке устойчивости поскользку для наливного судна наиболее опасным может оказаться вариант неполной загрузки грузовых танков и возникновению существенного кренящего момента от жидкого груза.

Заключение

Разработанная математическая модель взаимосвязи элементов и характеристик судна может применяться для решения различных задач теории проектирования

судна, как на этапе проработок технического предложения, так и для исследовательского проектирования. Она может выступать самостоятельным блоком или быть частью более крупной задачи оптимизации.

Использование развёрнутого модуля по моделированию конструкции корпуса и его массы, позволит оптимизировать такие параметры как холостая и рамная шпация, толщины листов обшивки, расположение отдельных связей корпуса.

Дополнительное включение в модель некоторых блоков, например, по построению диаграммы статической остойчивости и анализу посадки при различных случаях нагрузки, в том числе при затоплении отсеков, позволит исследовать остойчивость и непотопляемость судна с максимальным выполнением норм Российского Классификационного Общества.

Использование современных персональных компьютеров с высокой производительностью позволит решать многоуровневые задачи оптимизации, когда при вариационном обосновании главных размерений на верхнем уровне, интересующие подсистемы имеют возможность максимизации или минимизации по принятому частному критерию.

Список литературы

1. Гайкович А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. В 2 т. Т1. Описание системы «Корабль». Санкт-Петербург: НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. 819 с.
2. Кочнев, Ю. А. Математическая модель расчета массы танкера смешанного (река-море) плавания / Ю. А. Кочнев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 7-12.
3. Российское классификационное общество. Правила по предотвращению загрязнения с судов, эксплуатирующихся в морских районах и на внутренних водных путях российской федерации. URL: https://rfclass.ru/assets/Uploads/ppzs_ms.pdf?t=1710953576 (Дата обращения: 20.03.2024).
4. Роннов, Е. П. Методика расчёта массы металлического корпуса танкера смешанно-го (река-море) плавания / Е. П. Роннов, Ю. А. Кочнев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 1. – С. 114-118.
5. Басин, А.М. Ходкость и управляемость судов. Учебное пособие для ВУЗов водно-го транспорта / А.М. Басин. – М.: Транспорт, 1977. – 456с.
6. Фомкинский Л.И. Методика тяговых расчётов при обосновании судов речного флота/Труды ЦНИИЭВТа. –1972. –вып. 86. – с.1–184.
7. Платов А.Ю., Васильева О.Ю. Анализ применимости методов расчета коэффициента остаточного сопротивления для судов внутреннего плавания при эксплуатационно-экономическом обосновании новых судов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 60. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019 – с. 193-202.
8. Holtrop J, Mennen G.G.J. A statistical power prediction method / International ship-building progress, vol. 25, October 1978.
9. Кочнев, Ю. А. Прогнозирование сопротивления движению грузовых комбинированных судов в задаче их оптимизации / Ю. А. Кочнев, И. А. Гуляев // Великие реки - 2020: Труды 22-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 27–29 мая 2020 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С. 27.
10. Егоров, А. Г. Определение весовой нагрузки судов смешанного "река-море" плавания нового поколения в начальной стадии проектирования / А. Г. Егоров // Морской вестник. – 2013. – № 4(48). – С. 019-022.
11. Гуляев, И. А., Кочнев, Ю. А., Роннов, Е. П. Математическая модель расчета массы металлического корпуса комбинированного судна/ И. А. Гуляев, Ю. А. Кочнев, Е. П. Роннов. // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – №63. – С. 48-54. – DOI 10.37890/jwt.vi63.75.

12. Давыдова, С. В. Анализ расчетов при создании теоретического чертежа бук-сира интерполяционным методом / С. В. Давыдова, И. В. Андриянов // Научные проблемы водного транспорта. – 2021. – № 67. – С. 24-32. – DOI 10.37890/jwt.vi67.191.
13. Платов А.Ю., Платов Ю.И. Необходимые условия адекватности экономико-математических моделей на речном транспорте // Научные проблемы водного транспорта. 2020. № 64. С. 171-179. DOI 10.37890/jwt.vi64.108.

References

1. Gajkovich A.I. Theory of design of displacement ships and vessels. In 2 vols. T1. Description of the "Ship" system. St. Petersburg: SIC MORINTECH, 2014. 819 p.
2. Kochnev Ju. A. Mathematical model for calculating the mass of a tanker of mixed (river-sea) navigation / Ju. A. Kochnev // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology. - 2010. – No. 1. – pp. 7-12.
3. RKO. Rules for the prevention of pollution from ships operating in marine areas and on inland Waterways of the Russian Federation. URL: https://rfclass.ru/assets/Uploads/ppzs_ms.pdf?t=1710953576 (Date of application: 03/20/2024).
4. Ronnov, E. P. The method of calculating the mass of the metal hull of a tanker of mixed (river-sea) navigation / E. P. Ronnov, Ju. A. Kochnev // Scientific problems of transport in Siberia and the Far East. - 2010. – No. 1. – pp. 114-118.
5. Basin A.M. Seaworthiness and controllability of vessels. Textbook for universities of water transport / A.M. Basin. – М.: Transport, 1977. – 456s.
6. Fomkinskij L.I. The method of traction calculations for the justification of river fleet vessels//The works of the Central Research Institute. -1972. –vol. 86. – pp.1-184.
7. Platov A.Ju., Vasil'eva O.Ju. Analysis of the applicability of methods for calculating the coefficient of residual resistance for inland navigation vessels in the operational and economic justification of new vessels // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. Iss. 60. – N. Novgorod: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution "VGUVT", 2019 – pp. 193-202.
8. Holtrop J, Mennen G.G.J. A statistical power prediction method / International ship-building progress, vol. 25, October 1978.
9. Kochnev Ju. A. Forecasting the resistance to the movement of combined cargo vessels in the task of their optimization / J. A. Kochnev, I. A. Guljaev // Great Rivers 2020: Proceedings of the 22nd International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod, May 27-29, 2020. Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2020. – p. 27.
10. Egorov, A. G. Determination of the weight load of a new generation of mixed river-sea navigation vessels at the initial design stage / A. G. Egorov // Marine Bulletin. – 2013. – № 4(48). – Pp. 019-022.
11. Guljaev, I. A., Kochnev, Ju. A., Ronnov, E. P. A mathematical model for calculating the mass of the metal hull of a combined vessel. / I. A. Guljaev, Ju. A. Kochnev, E. P. Ronnov // Scientific problems of water transport. - 2020. – No. 63. – pp. 48-54. – DOI 10.37890/jwt.vi63.75.
12. Davydova S. V. Analysis of calculations when creating a theoretical drawing of a tugboat by the interpolation method / S. V. Davydova, I. V. Andrianov // Scientific problems of water transport. - 2021. – No. 67. – pp. 24-32. – DOI 10.37890/jwt.vi67.191.
13. Platov A.Ju., Platov Ju.I. Necessary conditions for the adequacy of economic and mathematical models in river transport // Scientific problems of water transport. 2020. No. 64. pp. 171-179. DOI 10.37890/jwt.vi64.108.
- 14.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Малов Дмитрий Александрович, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта (г.Нижний Новгород, Россия), d.a.malov@inbox.ru,

Dmitrij A. Malov, Postgraduate student, Volga State University of Water Transport (Nizhny Novgorod, Russia), d.a.malov@inbox.ru,

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

Кочнева Ирина Борисовна, к.т.н., доцент,
Волжский государственный университет
водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: iringre@mail.ru

Yuri A. Kochnev, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor of
design and construction of ships, Volga State
University of Water Transport, 5, Nesterova
street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Irina B. Kochneva, Ph.D. in Engineering
Science, Associate Professor, Associate Professor
of the Environmental Protection and Industrial
Safety, Volga State University of Water
Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod,
Russia, 603951

Статья поступила в редакцию 04.06.2024; опубликована онлайн 20.09.2024.
Received 04.06.2024; published online 20.09.2024.