

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРАНОВОГО СУДНА БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С ПОЛНОПОВОРОТНЫМ ВЕРХНИМ СТРОЕНИЕМ

Несин Д.Ю., начальник сектора судовой архитектуры,
АО “Центральное конструкторское бюро “Коралл”, г. Севастополь
office@cdbcorall.ru

Терлыч С.В., старший преподаватель,
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
(Херсонский филиал)
stterlych@ukr.net

Аннотация. Предложена математическая модель определения водоизмещения и главных размерений крановых судов. Получены расчетные зависимости их определения. Предложенные формулы учитывают требования классификационных обществ и международных конвенций, регулирующих нормативные показатели в судостроении и судоходстве. Проведена верификация математической модели путём практического расчёта водоизмещения и главных размерений для проектов крановых судов, которые эксплуатируются в Украине и соседних государствах. Представлены абсолютные погрешности расчета, проанализированы полученные результаты и поставлены задачи дальнейших исследований.

Ключевые слова: математическая модель, проектирование крановых судов, системный анализ, крановое судно, верхнее строение.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КРАНОВОГО СУДНА ВЕЛИКОЇ ВАНТАЖОПДІЙНОСТІ ІЗ ПОВНОПОВОРотноЮ ВЕРХНЬОЮ НАДБУДОВОЮ

Несін Д.Ю., начальник сектора судової архітектури,
АТ “Центральне конструкторське бюро “Коралл”, м. Севастополь
office@cdbcorall.ru

Терлич С.В., старший викладач,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Херсонська філія)
stterlych@ukr.net

Анотація. Запропоновано математичну модель визначення водотоннажності та головних розмірювань кранових суден. Отримано розрахункові залежності їх визначення. Отримані формули враховують вимоги класифікаційних товариств та міжнародних конвенцій, які регулюють нормативні показники у суднобудуванні та при експлуатації суден. Проведена верифікація математичної моделі шляхом практичного розрахунку водотоннажності та головних розмірювань для проектів кранових суден, які експлуатуються в Україні та сусідніх державах. Наведено абсолютні похибки розрахунку, проаналізовано отримані результати та поставлено задачі подальших досліджень.

Ключові слова: математична модель, проектування кранових суден, системний аналіз, кранове судно, верхня надбудова.

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE BIG CAPACITY CRANE SHIP WITH THE FULLTURNING OVERHEAD SUPERSTRUCTURE

Nesin D.J., Manager of Naval Architecture Department,
Joint-stock company "Central Design Bureau "Corral", Sevastopol
office@cdbcorall.ru

Terlych S.V., senior lecturer,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Kherson branch)
stterlych@ukr.net

Abstract. The mathematical model of determination of displacement and main dimensions of crane ships is offered. Calculation dependences of their determination are obtained. The offered formulas take into account the requirements of classification societies and international conventions, regulating normative indexes in shipbuilding and navigation. The questions of the preliminary planning of derrick-boats which were not considered before are analyzed. The complex review of the literature is executed. Mathematical dependences take into account intercommunication between the principal items of the gravimetric loading (a corps, devices, systems, a power plant, stocked displacements) and the navigated internals especially by a buoyancy and stability on the large angles of roll. The correction coefficients of the model are obtained by the analysis of the existing projects worked out in the Central Design Bureau "Corall". Verification of the mathematical model is conducted by the practical calculation of displacement and main dimensions for the projects of crane ships that are exploited in Ukraine and nearby states. The absolute errors of the calculation are presented, the obtained results are analyzed and the tasks of further researches are determined. Further researches of the authors will be directed to the introduction of such restrictive condition of the requirement for the limitation of the initial metacentric height (GZ) that is one of determinatives of stability at the precipice of load.

Key words: numerical model, design of crane ships, systems analysis, crane ship, crane topside.

Введение. Наиболее характерной особенностью процесса проектирования судов является поиск компромиссных решений, обеспечивающих достижение наивысшей эффективности судна и выполнение многочисленных и противоречивых требований к его качествам. Это является главным принципом системной оптимизации судов, при этом оптимизация есть неперемное условие разработки проекта любого судна, задачи оптимизации решаются на всех стадиях и уровнях его проектирования [1].

Теория проектирования рассматривает выбор проектных решений на уровне судна в целом. Основным в теории проектирования судов является вариантный метод оптимизации. В основу вариантного метода положен выбор наилучшего варианта судна из ряда заранее рассчитанных вариантов с систематически меняющимися элементами. Подобные ряды дают возможность построить графические зависимости величин, характеризующие различные качества судна и его эффективность, от оптимизируемых элементов. Полная реализация принципов системного подхода к проектированию, требующих подчинения проектирования всех подсистем и технических средств единым требованиям оптимизации судна в целом, возможна только при одновременной оптимизации элементов судна и его подсистем в рамках единой задачи, что на данное время не реализовано и представляет **актуальность**. Принят набор элементов судна, определяемых в начальной стадии разработки проекта, называть вектором элементов $x=\{x_i\}$, $i \in I$, где I – множество элементов. В него включены главные размерения, коэффициенты полноты, количество твердого и жидкого балласта и др. Аналогично введен вектор $x_k=\{x_{kj}\}$ – вектор переменных, характеризующих k -подсистему судна ($k \in K$, где K – множество подсистем, $j \in J_k$, множество переменных k -подсистемы). Условно приняты некоторые из подсистем: корпус, энергетическая и электроэнергетическая установки, гидродинамических комплексов, устройства, системы и др.

Ранее не исследованные вопросы. Если для количественной оценки эффективности проектируемого судна есть функция $f(x, x_k)$, а качества судна (плавучесть, вместимость, остойчивость и др.), его подсистем и технических средств можно оценить с помощью функций $g_s(x, x_k)$ и $g_{sk}(x, x_k)$, соответственно, – задачу проектирования оптимального судна можно записать в следующем виде, определить x и x_k , при которых:

$$f(x, x_k) \rightarrow \min(\max) \quad (1)$$

$$g_s(x, x_k) \geq b_s, \quad \forall s \in S, \quad (2)$$

$$g_{sk}(x, x_k) \geq b_{sk}, \quad \forall s \in S_k, \quad k \in K, \quad (3)$$

$$x_{\max} \geq x \geq x_{\min}, \quad (4)$$

$$x_{k \max} \geq x_k \geq x_{k \min}, \quad \forall k \in K, \quad (5)$$

где: b_s, b_{sk} – нормы и уровни допустимых значений тех или иных качеств;

S, S_k – множества требований к качествам судна и его подсистем.

Задачу (1-5) решать как единую нецелесообразно [1]. Практика проектирования судов, как и других сложных объектов, пришла к раздельному проектированию подсистем. Фактически решается задача определения x , обеспечивающего:

$$f(x) \rightarrow \min(\max), \quad (6)$$

$$g_s(x) \geq b_s, \quad \forall s \in S_1, \quad (7)$$

$$g_s(x) \geq b_s, \quad \forall s \in S_2, \quad (8)$$

$$x_{\max} \geq x \geq x_{\min}, \quad (9)$$

где: S_1, S_2 – подмножества ограничений, выполненных в виде строгих равенств и неравенств ($S_1 \cup S_2 = S$). Применительно к крановым судам (КС) обычно принимают [2, 3]:

$$s \in S_1 : \Delta - \sum_i P_i = 0; \quad (10)$$

$$s \in S_2 : M + M_Q - g\Delta h[\theta] = 0, \quad (11)$$

где: Δ – полное водоизмещение кранового судна в рабочем положении;

$\sum_i P_i$ – сумма весов статей нагрузки;

M – расчетный кренящий момент [4];

M_Q – максимальный грузовой момент от груза на гаке главного подъема при работе крана [2, 4];

g – ускорение свободного падения;

h – исправленная метацентрическая высота (с поправкой на свободные поверхности);

$[\theta]$ – критическое значение угла крена [4].

С учетом того, что $\Delta = \rho C_B L B d$ условия (10, 11) можно переписать как:

$$s \in S_1 : \gamma C_B L B d - \sum_i P_i = 0, \quad (12)$$

$$s \in S_2 : M + M_Q - \gamma C_B L B d h[\theta] = 0. \quad (13)$$

На ранних стадиях искомые $x = \{L, B, d, D, C_B\}$.

γ – удельный вес морской воды; ρ – плотность морской воды; C_B – коэффициент общей полноты соответствующий рабочему положению кранового судна; L, B, d, D – расчетные длина, ширина, осадка и высота корпуса судна, соответственно.

Определение аналитических зависимостей подмножества ограничений накладываемых уравнением начальной остойчивости на основные элементы кранового судна. Рассмотрены зависимости, связывающие переменные (13) с основными элементами судна.

Исправленная метацентрическая высота может быть представлена как [4]:

$$h = z_C + r_i - z_g - m_h. \quad (14)$$

Здесь z_C, r_i, z_g – соответственно аппликата центра величины, поперечный метацентрический радиус и аппликата центра тяжести КС при заданной расчетной нагрузке

судна; m_h – суммарная максимальная поправка на свободные поверхности, согласно [4]:

$$m_h = \Delta^{-1} \sum_i \rho_i i_{xi}. \quad (15)$$

В формуле (15) ρ_i – плотность жидкости в i -ой цистерне со свободной поверхностью; i_{xi} – поперечный момент инерции площади свободной поверхности при $\theta = 0$ в i -ой цистерне со свободной поверхностью. Комбинация цистерн со свободной поверхностью должна выбираться при худшем случае их влияния на начальную остойчивость судна. На начальных стадиях проектирования допустимо принять $\rho_i \approx 1$. Анализ компоновок общего расположения дает приближенную оценку i_{xi} в следующем диапазоне:

$$\sum_i i_{xi} = k_{MH} LB^3, \quad (16)$$

где: $k_{MH} = (1,65 \dots 2,47) \cdot 10^{-3}$ – для КС с противокреновой системой (ПКС); для КС без ПКС можно принять $k_{MH} = 0$.

Величина z_C на эксплуатационных осадках для КС является линейно зависимой по отношению к d . Для удобства представим ее через коэффициент:

$$z_C = k_C d = k_C k_{dB} B, \quad (17)$$

$$k_{dB} = \frac{d}{B}. \quad (18)$$

Поперечный метацентрический радиус согласно [5] можно выразить как:

$$r_i = k_1 \frac{LB^3}{C_B LBd}, \quad (19)$$

где: k_1 – коэффициент, учитывающий отличие поперечного момента инерции площади расчетной ватерлинии от произведения LB^3 ; произведение $C_B LBd$ является объемным водоизмещением при заданной нагрузке КС.

С учетом (17) формулу (18) можно переписать как:

$$r_i = \frac{k_1}{k_{dB} C_B} B. \quad (20)$$

Массовое водоизмещение КС представим как:

$$\Delta = \rho k_{dB} C_B LB^2. \quad (21)$$

Величину аппликаты центра тяжести судна z_g (в судовых координатах [2, 5]) можно представить в виде:

$$z_g = \frac{z_f [g\Delta - (P_{UC} + gQ)] + z_{UC} P_{UC} + z_Q gQ}{g\Delta}, \quad (22)$$

где: z_H – аппликата центра тяжести судна без учета верхнего строения (ВС) и груза на гаке;

z_{UC} , P_{UC} – аппликата центра тяжести и вес поворотной части ВС, соответственно;

z_{gQ} , Q – аппликата центра тяжести груза на гаке и его масса, соответственно.

Предположив, что $z_Q \cong (H_{LD} + d)$ и представив z_H , z_{UC} , z_Q в следующем виде:

$$z_H = k_H D, \quad (23)$$

$$z_{UC} = k_{UCZ} (H_{LD} - D + d) + D, \quad (24)$$

$$z_Q \cong H_{LD} + d, \quad (25)$$

$$P_{UC} = k_{UCQ} Q. \quad (26)$$

H_{LD} высота подъема груза над свободной поверхностью воды, задается в техническом задании на проектирование КС. Если представить высоту борта как сумму рабочей осадки и некоторого нормируемого надводного борта h_n , задаваемого в техническом задании или определяемого исходя из условия незаливаемости главной палубы при заданных условиях работы:

$$D = d + h_n, \quad (27)$$

выражения (23) и (24) примут вид:

$$z_H = k_H(d + h_n), \quad (28)$$

$$z_{UC} = k_{UCZ}(H_{LD} + h_n) + d + h_n. \quad (29)$$

Теперь с учетом (18), (25), (26), (28) и (29) а так же после перегруппировки переменных относительно элементов и характеристик КС (22) примет вид:

$$z_g = k_{B1}B + (k_{H1}H_{LD} - k_{\Delta 1})\frac{Q}{\Delta} + k_H h_n. \quad (30)$$

В (30) приняты следующие обозначения:

$$k_{B1} = k_H k_{dB} + (k_{dB} k_{UC} + k_{dB})\frac{Q}{\Delta}, \quad (31)$$

$$k_{H1} = k_{UCZ} k_{UC} + 1, \quad (32)$$

$$k_{\Delta 1} = k_H k_{UC} + k_H + (k_{UCZ} k_{UC} - k_{UC})h_n. \quad (33)$$

Грузовой момент M_Q принят, как предложено в [2], и с учетом требований Части IV Правил [4]:

$$M_Q = (1 - \varphi + k_{UCY} k_{UC})(k_P B + A_{LD})Qg. \quad (34)$$

В (34) φ – коэффициент уравнивания [2];

k_{UCY} – коэффициент, учитывающий смещение ординаты центра тяжести поворотной части ВС от оси вращения крана (положительно в сторону поднятия груза), представляет отношение ординаты ВС y_g с учетом знака к выражению $(0,5B + A_{LD})$;

k_P – коэффициент, учитывающий смещение ординаты оси вращения ВС от диаметральной плоскости (ДП) судна, при расположении ВС в ДП $k_P = 0,5$, у борта (на расстоянии $0,5B$ от ДП) $k_P = 0$;

A_{LD} – полезный вылет груза от борта КС, при работе крана на борт.

После подстановки в (13) (17), (20), (30) и (34) и необходимых преобразований, условие примет вид:

$$M + (1 - \varphi + k_{UCY} k_{UC})(k_P B + A_{LD})Qg - [k_{B3}LB^3 - k_{B2}LB^2 - (k_{H1}H_{LD} - k_{\Delta 1})Q][\theta] = 0, \quad (35)$$

где:

$$k_{B2} = \gamma k_H k_{dB} C_B h_n, \quad (36)$$

$$k_{B3} = \gamma \left(k_C k_{dB} + \frac{k_1}{k_{dB} C_B} - k_{B1} \right) k_{dB} C_B - k_{MN}. \quad (37)$$

Выражение (35) представляет модифицированное уравнение начальной остойчивости КС в функции главных размерений судна. Оно не может быть решено в явном виде. Для решения (35) методом последовательных приближений по B необходимо задание следующих параметров:

$Q, A_{LD}, H_{LD}, h_n, k_P, [\theta]$ – изначально известны, т.к. заданы в техническом задании на проектирование;

M – на ранних стадиях проектирования принимается по близким прототипам;

$L=f(B)$ – определяется по близким прототипам или статистическим зависимостям, может быть также определено в ходе решения задачи оптимизации;

$k_{MN}, k_C, k_1, k_H, k_{UCZ}, k_{UCY}, k_{UC}$ – коэффициенты, которые определяются по близким прототипам или статистическим зависимостям. Для конкретного крана k_{UCZ}, k_{UCY}, k_{UC} известны;

k_{dB}, C_B – задаются проектантом в виде подмножеств, в пределах которых осуществляется поиск оптимальных значений;

k_1 – коэффициент, может быть задан в ТЗ или по прототипу, может быть определен в ходе решения задачи оптимизации. В [2] приводится обоснование условия $k_1 \leq 0,5$.

Верификация уравнения начальной остойчивости в функции главных размерений судна. Верификация уравнения начальной остойчивости КС в функции главных размерений судна произведена сравнением численных значений полученных при решении уравнения

(35) с размерениями построенных КС [3, 6-10].

Все необходимые для решения уравнения параметры были рассчитаны по характеристикам соответствующих прототипов, кроме коэффициентов k_{MH} , k_C , k_L , k_H . В случае, когда в источнике не был указан коэффициент общей полноты, он принимался $C_B = 0,78$. Для всех расчетных случаев верификации принято: $k_{MH} = 0,00412$; $k_C = 0,525$; $k_L = 0,0671$; $k_H = 0,550$.

Результаты сравнительных расчетов представлены в табл. 1-3. В табл. 1 представлены главные характеристики и элементы построенных судов, в табл. 2 – рассчитанные по (35), в табл. 3 – относительные погрешности элементов судна рассчитанных по (35).

Таблица 1 – Основные характеристики судов-прототипов

Наименование судна	Q , т	L , м	B , м	D , м	d , м	C_B
Toisa Perseus	150	98,32	22,00	9,50	6,75	-
КС350	350	116,00	25,00	7,40	4,40	0,782
Toisa Proteus	400	117,70	22,00	9,50	6,75	-
КС600	600	138,00	32,00	9,20	5,20	0,829
Saibos FDS	600	152,00	30,00	12,40	8,00	-
Toisa OCV	900	144,00	32,00	13,30	7,50	-
Azerbaidjan	2000	121,00	34,50	7,50	6,50	0,730
Sapura 3000	1996	144,40	37,80	15,00	6,50	-
Stanislav Yudin	2500	173,20	36,00	13,00	8,91	0,865
Lan Jiang	2500	153,50	48,00	12,50	8,00	0,855
Oleg Strashnov	5000	171,60	47,00	19,20	13,84	0,699

Таблица 2 – Результаты расчета Δ по зависимости (35)

Наименование судна	Q , т	L , м	B , м	D , м	d , м	C_B
Toisa Perseus	150	111,61	23,79	10,05	7,30	0,780
КС350	350	127,19	26,11	7,60	4,60	0,782
Toisa Proteus	400	107,57	21,14	9,23	6,48	0,780
КС600	600	149,27	32,97	9,36	5,36	0,829
Saibos FDS	600	158,94	30,51	12,54	8,14	0,780
Toisa OCV	900	136,61	31,48	13,18	7,38	0,780
Azerbaidjan	2000	116,64	34,25	7,45	6,45	0,730
Sapura 3000	1996	149,69	38,08	15,05	6,55	0,780
Stanislav Yudin	2500	167,20	35,78	12,94	8,85	0,865
Lan Jiang	2500	145,22	47,53	12,42	7,92	0,855
Oleg Strashnov	5000	170,89	46,94	19,38	14,02	0,699

Таблица 3 – Погрешности расчета Δ по зависимости (35)

Наименование судна	Q , т	δL , %	δB , %	δD , %	δd , %	C_B
Toisa Perseus	150	13,51%	8,12%	5,77%	8,12%	0,780
КС350	350	9,65%	4,43%	2,64%	4,43%	0,782
Toisa Proteus	400	-8,60%	-3,93%	-2,79%	-3,93%	0,780
КС600	600	8,17%	3,02%	1,71%	3,02%	0,829
Saibos FDS	600	4,56%	1,70%	1,10%	1,70%	0,780
Toisa OCV	900	-5,13%	-1,61%	-0,91%	-1,61%	0,780
Azerbaidjan	2000	-3,61%	-0,74%	-0,64%	-0,74%	0,730
Sapura 3000	1996	3,66%	0,74%	0,32%	0,74%	0,780
Stanislav Yudin	2500	-3,46%	-0,62%	-0,43%	-0,62%	0,865
Lan Jiang	2500	-5,40%	-0,97%	-0,62%	-0,97%	0,855
Oleg Strashnov	5000	-0,41%	-0,13%	0,91%	1,26%	0,699

Исследование влияния относительной ширины и коэффициента общей полноты на водоизмещение кранового судна большой грузоподъемности в рабочем положении. Рассмотрим задачу поиска оптимальных значений подмножества x (6-9) для рабочего режима на примере кранового судна максимальной грузоподъемностью 5000 метрических тон. Подмножество значений $k_{дв}$ и C_B снизу и сверху ограничены предельными значениями, которые применяются на судах данного типа. В качестве функции цели примем минимум полного водоизмещения судна в рабочем положении $\Delta(x)$:

$$\Delta(x) \rightarrow \min, \quad (38)$$

$$s \in S_1 : \gamma C_B L B d - \sum_i P_i = 0, \quad (39)$$

$$s \in S_2 : M + (1 - \varphi + k_{UCY} k_{UC}) (k_P B + A_{LD}) Q g - [k_{B3} L B^3 - k_{B2} L B^2 - (k_{H1} H_{LD} - k_{\Delta 1}) Q] [\theta] = 0, \quad (40)$$

$$0,18 \leq k_{дв} \leq 0,30, \quad (41)$$

$$0,60 \leq C_B \leq 0,85. \quad (42)$$

Исходные данные для расчета: $Q = 5000$ т; $A_{LD} = 10$ м; $H_{LD} = 130$ м; $M = 30744$ кНм; $h_n = 6$ м; $k_P = 0,5$; $[\theta] = 0,08727$; $k_{MH} = 0,00412$; $k_L = 0,0671$; $k_{UCZ} = 0,5$; $k_{UCY} = -0,3$; $k_{UC} = 1,30$; Используются следующие, полученные авторами, статистические зависимости:

$$\sum_i P_i = 0,135 \gamma C_B L B d + k_{UC} g Q + 25000, \text{ кН};$$

$$L = k_P B + 2,92(k_P B + A_{LD}) + 50, \text{ м};$$

$$k_C = k_H = 0,96(1 + 1,13 C_B).$$

На КС большой грузоподъемности в рабочем положении большую часть дедвейта занимает жидкий балласт ПКС (как правило более 30% полного водоизмещения судна [3, 6]) поэтому условие (39) целесообразно представить в следующем виде:

$$\gamma C_B L B d - \sum_i P_i \geq 0,3 \gamma C_B L B d. \quad (40)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 4 в виде зависимости Δ от варьируемых значений $k_{дв}$ (B/d) и C_B , а также на рис. 1. Как видно из рисунков функция цели не достигает экстремума внутри исследуемого диапазона x – водоизмещение судна монотонно убывает с уменьшением $k_{дв}$ и C_B , следовательно двух ограничительных условий для КС большой грузоподъемности, как предполагалось ранее в [1, 2], недостаточно с точки зрения решения задач системной оптимизации судна.

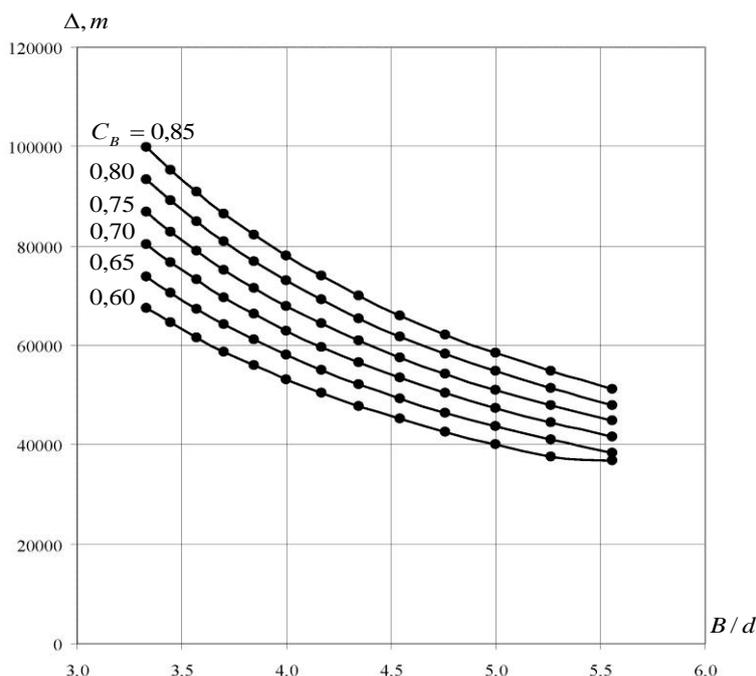


Рис. 1. Зависимость водоизмещения Δ от варьируемых значений $k_{дв}$ (B/d) и C_B

Таблица 4 – $\Delta = f(k_{dB}, B/d, C_B)$, т

k_{dB}	B/d	C_B					
		0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
0,18	5,56	36749	38416	41598	44798	48016	51251
0,19	5,26	37653	41042	44454	47889	51343	54815
0,20	5,00	40100	43724	47374	51049	54746	58464
0,21	4,76	42600	46464	50359	54281	58228	62199
0,22	4,55	45151	49263	53409	57586	61790	66021
0,23	4,35	47755	52122	56526	60964	65433	69932
0,24	4,17	50412	55041	59710	64417	69159	73933
0,25	4,00	53124	58021	62962	67946	72967	78025
0,26	3,85	55891	61063	66284	71552	76861	82210
0,27	3,70	58714	64168	69677	75236	80841	86490
0,28	3,57	61593	67337	73141	78999	84909	90866
0,29	3,45	64529	70571	76677	82844	89066	95340
0,30	3,33	67524	73870	80287	86770	93313	99912

Выводы. В статье представлена математическая модель кранового судна большой грузоподъемности с полноповоротным верхним строением, которая, как показала верификация, позволяет с хорошей степенью точности определить значения основных элементов судна, при наличии данных по прототипам, в случае когда нужно определить элементы судна отличающегося от прототипа проектными характеристиками, например, грузоподъемностью ВС.

Для использования данной модели при системной оптимизации КС необходимо введение дополнительных ограничительных условий.

Дальнейшие исследования авторов будут направлены на введение в качестве такого ограничительного условия требования к ограничению начальной метацентрической высоты, которая является одним из определяющих факторов остойчивости при обрыве груза [4].

Литература

1. Пашин В.М. Оптимизация судов / В. М. Пашин. – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с.
2. Воеводин Н.Ф. Основы проектирования универсальных плавучих кранов / Н.Ф. Воеводин. – М.: Издательство Министерства речного флота СССР, 1950. – 362 с.
3. Новиков А.И. Режимы работы и годовая производительность плавучих кранов / А.И. Новиков. – Севастополь: Издательство СевНТУ, 2003. – 228 с.
4. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден. Том 2. – Київ.: Регістр судноплавства України, 2011. – 394 с.
5. Ногид Л.М. Проектирование морских судов / Л.М. Ногид. – Л.: Судостроение, 1976. – 208 с.
6. Construction Vessels of the World incorporating Diving Support Vessels of the World. – Led bury, England: OPL (Oilfield Publication Limited), 96/7 edition. – 548 p., ill.
7. Toisa Proteus: offshore support vessel with heavy-lift capability / M.J. Staunton-Lambert // The Royal Institution of Naval Architects. – 2002. – P. 123-124.
8. Sapura 3000: huge crane ship/pipelayer/ T. Knaggs // The Royal Institution of Naval Architects. – 2007. – P. 98-99.
9. OSA Goliath: Latest Coastline Group addition / N. Savvides // The Royal Institution of Naval Architects. – 2009. – P. 88-89.
10. Oleg Strashnov. Latest Gusto design heavy-lift vessel / M. J. Staunton-Lambert // The Royal Institution of Naval Architects. – 2010. – P. 88-89.