

УДК 629.5.016

Д.Ю. Несин, начальник сектора

ПАО «ЦКБ «Коралл»

ул. Ретина 1, г. Севастополь, 299028

E-mail: office@cdbcorsall.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРАНОВОГО СУДНА

Выполнен анализ существующих способов определения мощности судна и их применимость к крановым судам, предложена формула для определения мощности пропульсивного комплекса кранового судна.

***Ключевые слова:** определение мощности, формула адмиралтейских коэффициентов, скоростной режим судна, число Фруда, крановые суда.*

Постановка проблемы. От выбора мощности и типа двигателя судна существенно зависят эксплуатационные качества: скорость, маневренность и другие мореходные качества. Мощность энергетической установки (ЭУ) судна зависит от скоростного режима его движения, внешних условий и потерь мощности в пропульсивном комплексе.

Наиболее точное определение сопротивления судна в настоящее время обеспечивается испытанием его модели в опытовом бассейне с последующим пересчетом измеряемого при этом сопротивления на натуре. Проведение испытаний, однако, не всегда оказывается возможным, особенно на ранних стадиях проектирования, что заставляет применять различные приближенные способы расчета сопротивления, которые основываются на использовании результатов известных испытаний моделей, представляемых в достаточно обобщенном виде.

Мощность судна по известной скорости находят с помощью приближенных зависимостей типа известной адмиралтейской формулы, связывающей водоизмещение, скорость и суммарную мощность энергетической установки сравнительно простой зависимостью [1]

$$N_E = \frac{\Delta^n \cdot v^m}{C_{mn}}, \quad (1)$$

где N_E — пропульсивная мощность энергетической установки; Δ — водоизмещение судна; v — скорость; C_{mn} — постоянный коэффициент (Адмиралтейский коэффициент).

Различные числовые значения показателей степени n и m предложены В.В. Давыдовым, В.И. Афанасьевым, В.В. Ашиком, Энтели, В.А. Лесюковым, А.И. Раковым и другими авторами [1]. Говоря о крановых судах (КС), значение коэффициента C_{mn} , при отсутствии близкого прототипа, несмотря на достаточно ограниченный диапазон эксплуатационных скоростей КС (от 8 до 14 узлов) имеет широкий разброс значений (см. таблицу 2). Зависимости типа адмиралтейской формулы справедливы лишь для однотипных по форме обводов судов с близкими по величине геометрическими характеристиками и эксплуатирующихся на одинаковых или близких скоростных режимах. На практике подобрать близкий прототип КС достаточно сложно из-за того, что в свободно доступных источниках информации (научные публикации, реклама, интернет и т.п.) как правило, не приводятся все необходимые для пересчета данные по судну-прототипу. При наличии же близкого прототипа, на ранних стадиях, затруднена или исключается возможность системной оптимизации, которая позволяет исключать из рассмотрения заведомо непригодные варианты решений.

Цель работы. Получение формулы для определения мощности ЭУ КС необходимой для движения судна с заданной скоростью на начальных стадиях проектирования, при отсутствии близкого прототипа.

Изложение основного материала. Для статистического анализа пропульсивной мощности ЭУ КС подобран массив КС [2–5] с грузоподъемностью верхнего строения от 100 до 5000 т и скоростью эксплуатации v_s , изменяющейся в диапазоне от 8,0 до 13,5 узлов, приведенный в таблице 1.

В таблице 1 приняты следующие обозначения: Q – грузоподъемность верхнего строения КС; L – длина корпуса судна; B – ширина корпуса судна; D – высота борта до главной палубы; d – транспортная осадка судна.

Недостаточную точность формул, при отсутствии близкого прототипа, аналогичных формуле (1) можно оценить, если определить погрешность расчета мощности по формуле при некотором среднем значении коэффициента C_{mn} .

Таблиця 1 — Характеристики досліджуваних КС

Назва КС	Q , т	Δ , т	v_s , узлы	L , м	B , м	D , м	d , м
Гюльбала Алиев	100	6790	10,00	120,77	17,03	6,90	4,00
Капитан Долгополов	100	3788	11,30	98,98	17,43	6,10	3,20
Voyager	300	9310	10,00	100,50	24,50	7,00	5,00
КС350 (var)	350	8640	9,50	107,00	25,80	7,40	2,90
КС350	350	10222	12,46	123,80	25,00	7,40	3,40
КС600	600	19506	12,00	151,80	32,00	9,20	4,30
Osa Goliath	1600	35380	12,00	180,00	32,00	12,00	7,50
Pearl Marine	2400	54015	12,17	203,94	37,30	16,30	10,30
Azerbaidjan	2500	20311	8,20	126,89	34,50	7,50	4,95
Stanislav Yudin	2500	24822	12,00	183,30	36,00	13,00	5,50
OHI 5000	3000	69800	9,50	206,20	45,00	15,44	8,02
McDermott DB 50	3500	45500	11,50	151,50	46,00	12,50	5,00
Lan Jiang	2500	51665	8,40	157,05	48,00	12,50	5,25
EPTM 1601	1450	57400	8,00	180,00	35,00	15,00	6,50
Orca	725	35700	13,48	171,60	30,10	13,50	6,58
Sarita	1450	60500	12,17	208,00	37,00	15,60	7,30
Sea Lion 1	1450	57800	13,00	209,00	38,30	14,70	6,97
Проект Вяртсиля	1600	49300	11,00	176,00	36,00	13,00	5,50
Проект Вяртсиля p-2142	1600	62700	11,00	198,70	38,00	15,00	7,00
Oleg Strashnov	5000	80026	12,00	182,85	37,80	19,20	8,50

В таблиці 2 приведені порівняльні розрахунки коефіцієнтів C_{mn} , по деяким відомим формулам (2-4), а також похибки визначення пропульсивної потужності при підстановці їх середніх значень.

Формули, запропоновані В.В. Ашиком [1]:

$$N_{E1} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot v_s^3}{C_{mn1}}, \quad (2)$$

$$N_{E2} = \frac{\Delta^{0,5} \cdot v_s^{2,5}}{C_{mn2}}. \quad (3)$$

Формула, запропонована В.В. Давыдовим [1]:

$$N_{E3} = \frac{\Delta^{0,5} \cdot v_s^{3,25}}{C_{mn3}}. \quad (4)$$

Як видно з таблиці 2, застосування формул (2)–(4) для визначення пропульсивної потужності КС дає середні відносні похибки порядку «-25%», «+30%», для деяких випадків похибки по абсолютній величині перевищують 50%, що робить їх непридатними для застосування навіть на найранніх стадіях проектування КС.

Форма корпусу КС характеризується в першу чергу порівняльно високими значеннями відношень B/d (від 4 до 9 в похоронному положенні). Для КС навіть близьких по грузопідйомності, число Фруда, що характеризує режим швидкості, може зменшуватися разом з відношенням B/d , що неможливо відслідкувати навіть на однотипних судах, використовуючи як характеристики форми корпусу тільки водозміщення. Таким чином, в відсутності близького прототипу, слід враховувати як режим швидкості, так і вплив змін відношень розмірів судна: $N_E = f(Fr, L/B, B/d)$.

В якості додаткової характеристики форми корпусу КС візьмемо B/d , т.к. це відношення пов'язано з одним з основних елементів КС – початкової метacentричної висотою, є визначальним при виборі головних розмірів КС [2]. Крім того, дослідження показують, що існує кореляція між C_{mn} і B/d (на рисунку 1 показано такі залежності для C_{mn} розрахованих за формулою (2)).

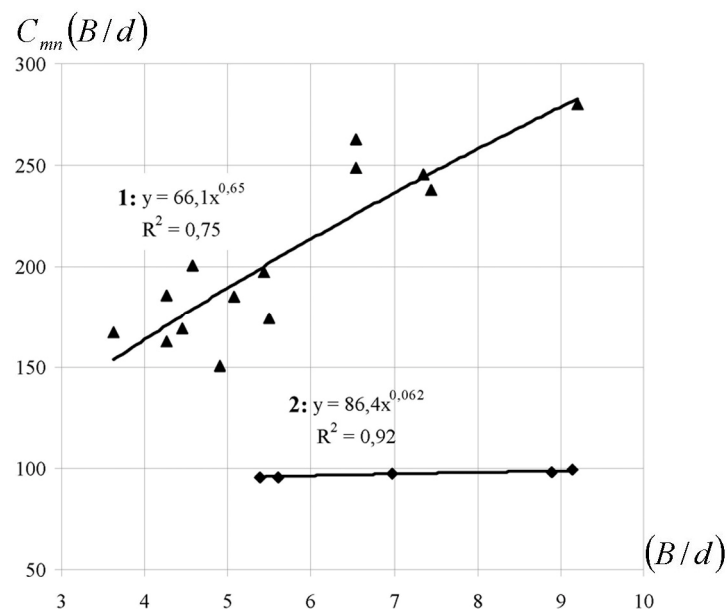
Аналізуючи залежності на рисунку 1 можна виділити дві залежності $C_{mn} = f(B/d)$ для КС з судовими обводами (крива 1: $v_s \geq 10$ вузлів) і КС з упрощеними обводами (крива 2: $v_s < 10$ вузлів). Якісний стрибок пропульсивних характеристик пояснюється тим, що при більш низьких швидкостях застосовуються упрощені і більш повні обводи корпусу, що відповідно знижує ходові характеристики судна.

Таблиця 2 — Сравнительные расчеты N_E по формулам (2-4)

Название КС	N_E , кВт	C_{mn1}	C_{mn2}	C_{mn3}	δ_1	δ_2	δ_3
Гюльбала Алиев	2200	163,0	11,8	66,6	-7,3%	19,3%	9,5%
Капитан Долгополов	2200	159,4	12,0	74,0	-9,3%	20,9%	21,7%
Voyager	2940	150,5	10,4	58,4	-14,4%	4,5%	-4,0%
КС350	3700	245,8	15,0	99,2	39,9%	50,6%	63,1%
КС600	5000	238,1	13,4	86,5	35,5%	35,1%	42,2%
Osa Goliath	9999	186,0	9,4	60,4	5,8%	-5,6%	-0,6%
Pearl Marine	15435	167,0	7,8	50,7	-5,0%	-21,6%	-16,6%
Stanislav Yudin	5600	262,6	14,0	90,5	49,4%	41,3%	48,8%
McDermott DB 50	4800	280,2	15,2	94,6	59,4%	52,6%	55,6%
Orca	13235	200,6	9,5	67,0	14,1%	-4,1%	10,1%
Sarita	11300	185,0	9,1	59,2	5,2%	-8,5%	-2,6%
Sea Lion 1	16544	174,6	8,0	55,0	-0,7%	-19,0%	-9,5%
Проект Вярсиля	5040	248,7	13,5	81,8	41,5%	36,3%	34,4%
Проект Вярсиля р-2142	8200	197,7	10,1	60,9	12,5%	1,6%	0,2%
Oleg Strashnov	11000	169,2	8,5	55,0	-3,7%	-14,1%	-9,6%
КС350 (var)	3678	98,2	7,0	38,0	-44,2%	-29,2%	-37,4%
Azerbaidjan	3870	97,8	6,7	32,3	-44,4%	-32,8%	-46,9%
OHI 5000	11550	95,8	5,2	28,1	-45,5%	-47,8%	-53,9%
Lan Jiang	6000	99,3	6,1	30,0	-43,5%	-38,7%	-50,6%
EPTM 1601	5882	95,8	5,9	28,0	-45,5%	-40,8%	-54,0%
Среднее значение		175,8	9,9	60,8	-23,9%	-23,8%	-26,0%
					29,3%	32,6%	31,7%

Учет влияния $f(B/d)$ выразим следующим образом

$$N_E = \frac{\Delta^n \cdot v^m}{C_{mn}(B/d)}. \quad (5)$$

Рисунок 1 — Зависимости $C_{mn} = f(B/d)$

Для приведения (5) к системе линейных уравнений при обработке статистических данных методом наименьших квадратов $C_{mn}(B/d)$ аппроксимирована степенной функцией вида

$$C_{mn}(B/d) = k \left(\frac{B}{d} \right)^q. \quad (6)$$

Тогда зависимость (5) можно представить в виде линейного уравнения

$$\ln(N_E) + \ln(k) + q \ln\left(\frac{B}{d}\right) - n \ln(\Delta) - m \ln(v_S) = 0, \quad (7)$$

где искомыми неизвестными являются k, q, n, m .

Обработка массива данных из таблицы 1 методом наименьших квадратов дает следующие значения искомых коэффициентов: $q=0,69$; $n=0,59$; $m=2,86$; для скоростей $v_S < 10$ узлов – $k=8,5$; для скоростей $v_S \geq 10$ узлов – $k=20,1$.

Проверка точности полученных зависимостей приведена в таблице 3.

Таблица 3 — Сравнительные расчеты N_E по формуле (8)

Название КС	Δ , т	N_E , кВт	v_S , узлы	B/d	N_{E*} , кВт (по 8)	δ
Гюльбала Алиев	6790	2200	10,00	4,258	2418	9,9%
Капитан Долгополов	3788	2200	11,30	5,447	2051	-6,8%
Voyager	9310	2940	10,00	4,900	2644	-10,1%
КС350 (var)	10194	3700	12,46	7,353	3954	6,9%
КС350	18086	5000	12,00	7,442	4939	-1,2%
КС600	35300	9999	12,00	4,267	10757	7,6%
Osa Goliath	54015	15435	12,17	3,621	16132	4,5%
Pearl Marine	24822	5600	12,00	6,545	6505	16,2%
Azerbaidjan	26300	4800	11,50	9,200	4712	-1,8%
Stanislav Yudin	35700	13235	13,48	4,572	14393	8,7%
ОНИ 5000	39434	11300	12,17	5,068	10625	-6,0%
McDermott DB 50	47658	16544	13,00	5,492	13564	-18,0%
Lan Jiang	28900	5040	11,00	6,545	5548	10,1%
ЕРТМ 1601	42500	8200	11,00	5,429	7925	-3,4%
Orca	35364	11000	12,00	4,447	10465	-4,9%
Sarita	8640	3678	9,50	8,897	3423	-6,9%
Sea Lion 1	17973	3870	8,20	6,970	4097	5,9%
Проект Вяртсиля	46360	11550	9,50	5,611	12678	9,8%
Проект Вяртсиля р-2142	31886	6000	8,40	9,143	5105	-14,9%
ЕРТМ 1601	36500	5882	8,00	5,385	6929	17,8%

Как видно из таблицы 3, полученная нами формула дает результаты со средней относительной погрешностью $\delta = \pm 8,6\%$. Максимальная относительная погрешность составила – 18,0%. Случаев, когда относительная погрешность составила 10%, – 6 из 20.

Выводы. Получена зависимость

$$N_E = \frac{\Delta^{0,59} \cdot v^{2,86}}{k(B/d)^{0,69}}, \quad (8)$$

где для скоростей $v_S < 10$ узлов – $k=8,5$; для скоростей $v_S \geq 10$ узлов – $k=20,1$.

Данная формула позволяет определить пропульсивную составляющую мощности ЭУ на ранних стадиях проектирования КС; при этом (8) имеет более высокую точность, чем известные зависимости. Данное соотношение рекомендуется использовать при проектировании КС.

Перспективой дальнейших исследований является уточнение рассматриваемого соотношения, которое будет произведено в ходе численных модельных испытаний при помощи программного пакета FlowVision.

Библиографический список использованной литературы

1. Ашик В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1985. — 318 с.
2. Новиков А.И. Режимы работы и годовая производительность плавучих кранов / А.И. Новиков. — Севастополь: СевНТУ, 2003. — 228 с.
3. 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.

4. Savvides N. OSA Goliath: Latest Coastline Group addition / N. Savvides // The Royal Institution of Naval Architects. — 2009 — P. 88–89.

5. Staunton-Lambert M.J. Oleg Strashnov: Latest Gusto design heavy-lift vessel / M.J. Staunton-Lambert // The Royal Institution of Naval Architects. — 2010. — P. 88–89.

Поступила в редакцію 27.08.2013 з.

Несін Д.Ю. Визначення потужності енергетичної установки на ранніх стадіях проектування судна крану

Виконано аналіз існуючих способів визначення потужності судна та їх застосовність до кранових суден для визначення потужності пропульсивного комплексу кранового судна.

Ключові слова: визначення потужності, формула адміралтейських коефіцієнтів, швидкісний режим судна.

Nesin D.J. Determination of vessel's power plant of the crane vessel for early design stages

The existing means of the determination of vessel's power, and their applicability to crane vessels have been studied; a formula for power determination of the crane vessel propulsive unit is suggested.

Keywords: power determination, admiralty coefficients, vessel's speed range, Froude number, crane vessels.