

Проектирование и конструкции судов

Научная статья

УДК 629.12

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/15-21>

Ха Ван Зуи, Нгуен Вьет Хоан, Нгуен Ван Кьен, Буй Ван Хуинь

ХА ВАН ЗУИ – к.т.н., vnmured4289@gmail.comНГУЕН ВЬЕТ ХОАН – к.т.н., viethoan@mail.ruНГУЕН ВАН КЬЕН – бакалавр, nguyenkien0802@gmail.comБУЙ ВАН ХУИНЬ – магистр, huynhbui.141@gmail.com*Исследовательский институт кораблестроения*

Ханой, Вьетнам

Оценка мощности катера на переходном режиме на начальных стадиях проектирования

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема оценки мощности малых ракетных катеров (МРК) на переходном режиме движения. Обработка статистических данных по энерговооруженности таких судов показывает, что расчеты мощности должны предусматривать некоторый запас, необходимый для обеспечения их оперативного хода на заданной балльности волнения. Регрессионные зависимости, полученные в данной статье, могут быть использованы для оценки мощности МРК в начальной стадии их проектирования.

Ключевые слова: оценка мощности, переходный гидродинамический режим, малые ракетные катера, регрессия, удельная мощность

Для цитирования: Ха Ван Зуи, Нгуен Вьет Хоан, Нгуен Ван Кьен, Буй Ван Хуинь. Оценка мощности катера на переходном режиме на начальных стадиях проектирования // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 3(56). С. 15–21.

Введение

В последние годы в военном кораблестроении ряда государств все более заметную роль играют малые ракетные катера (МРК), что обусловливается рядом особенностей, присущих этому классу кораблей. Они имеют малую осадку и могут действовать вблизи берегов, в мелководных районах, шхерах и устьях рек. Небольшие размеры затрудняют их обнаружение и значительно повышают скрытность, а хорошие маневренные и ходовые качества и возросшая огневая мощь обеспечивают выполнение разных задач. В процессе проектирования данного класса кораблей уже на ранних его стадиях – при создании уравнения проектирования (математического баланса масс, объёмов корабля), еще не располагая теоретическим чертежом, необходимо иметь адекватное представление о полной мощности энергетической установки (ЭУ). Это важно и для определения массы и габаритов ЭУ, которая часто занимает более 30% массы корабля, до 40% объема и более 1/3 длины, и для определения нижней границы потребного запаса топлива. В переходном режиме движения скоростных катеров получение достоверного значения мощности проблематично. Многие параметры корпуса катера ещё не определены, и без предварительного задания ряда параметров традиционные постатейные методы расчёта масс и вместимости использовать не удаётся. В такой ситуации надежнее опираться на данные активного и пассивного (целенаправленный анализ статистики) эксперимента.

Анализ судов-прототипов

Статистическая обработка массива данных по катерам, работающим в переходном режиме [2, 6, 7], показывает высокую корреляционную связь изменения их энерговооружённости (или удельной мощности N/D) с числами Фруда Fr (рис. 1):

$$N/D = 55,34 Fr - 17,63, \quad (1)$$

где D – стандартное водоизмещение МРК, т; N – суммарная мощность двигателей, кВт; $Fr = v / \sqrt{gL_w}$; L_w – длина катера по КВЛ. Значение коэффициента корреляции составило $R = 0,93$, а диапазоны характеристик выборки по водоизмещению: $133 < D < 580$ т (53% катеров имеет $D > 250$ т) и Fr : $0,36 < Fr < 1,18$.

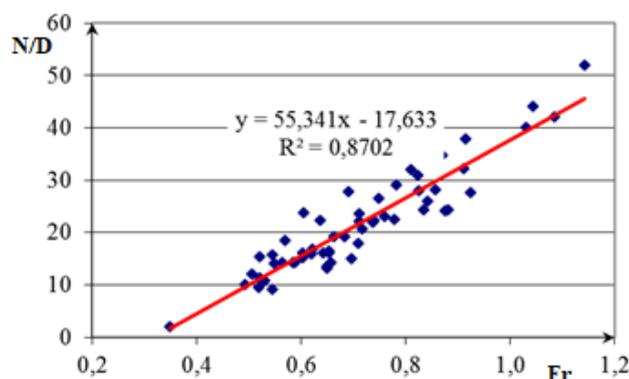


Рис. 1. Зависимость энерговооружённости от числа Fr

Аналогичный анализ проведен для МРК последних лет постройки с близкими тактико-техническими характеристиками (табл. 1, рис. 2). По характеру распределения значений $N/D = f(Fr)$ эта выборка может быть разделена на две группы: с более высокими и низкими значениями регрессии (Y_1 и Y_2). На рис. 2 нанесена линия регрессии генеральной выборки Y как совокупности всех рассмотренных проектов МРК.

Таблица 1

Характеристики ракетных катеров последних лет постройки

№	Проект	D , т	L_{max} , м	L_w , м	v_s , уз.	Fr	N , кВт	группа Y_1	группа Y_2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	PG-04	205	40,2	39,5	45	1,18	13248		64,624
2	Hensinki-2	215	48	41	30,5	0,78	5593		26,013
3	Hamina	235	50,8	43,39	32	0,80	5966		25,386
4	Province	311	56,7	52	40	0,91	13348		42,920
5	Combatant 3	395	56,8	53,3	38,5	0,87	13974		35,378
6	Тарангул-3	436	56,9	49,5	42	0,98	23862	54,730	
7	Kilic	437	62,4	58,5	38	0,82	11335		25,937
8	Nirit	450	61,2	58,2	32	0,69	12053	26,784	
9	Peterson	450	58	56,99	38	0,83	19430	43,178	
10	Скорпион	456	56,8	50	40	0,93	29828	65,412	
11	Молния	515	56,9	49,5	38	0,89	25145	48,825	
12	Нанучка-4	569	59,3	52,32	33	0,75	22371	39,316	

Сопоставление значений энерговооружённости (см. рис. 1, 2) показывает, что все катера малой выборки имеют более высокие значения N/D , чем определяет линия тренда (1). Очевидным объяснением этому факту является то, что при разработке проектов МРК последних лет проектанты стремятся повысить их боевую эффективность, обеспечивая значимый оперативный резерв мощности главных двигателей в сочетании с обеспечением необходимой

мореходности в более жестких условиях морского волнения. Показательным примером может служить использование проекта катеров типа Kilic [2, 6] (рис. 3). В конце минувшего века ВМФ Турции заказал у фирмы Люрсен катера типа FPB-57 (водоизмещением около 400 т). Однако опыт эксплуатации этих судов показал, что они не обладают достаточной остойчивостью и мореходностью. Проект был переработан. Для улучшения всхожести судна на волну применены новые обводы носовой части, увеличена длина корпуса и седловатость палубы в носу. Для повышения остойчивости ширина первого яруса надстройки доведена до ширины верхней палубы, облегчена мачта, изготовленная из многослойного пластика. Подобные примеры характерны и для флотов других стран.

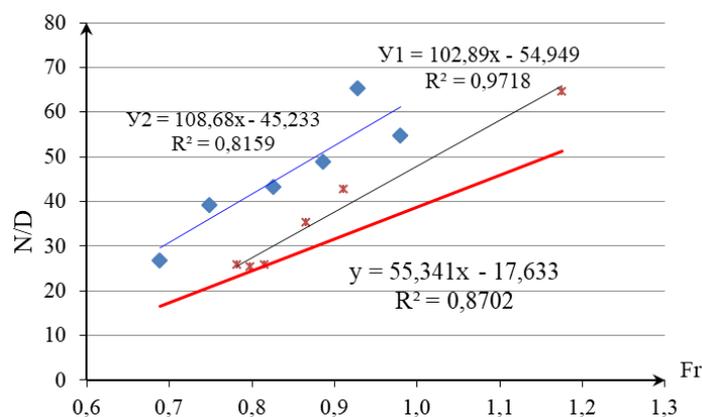


Рис. 2. Расположение точек малой выборки относительно глобального тренда

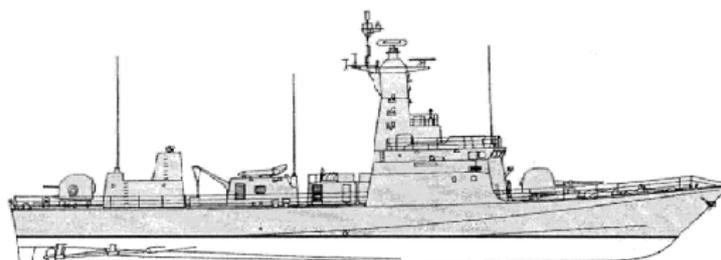


Рис. 3. МРК Kilic турецкого ВМФ [7]

С учетом изложенного разность ординат кривых (Y , $Y1$ и $Y2$), представленных на рис. 2, может быть определена в качестве резерва (запаса) мощности dN при соответствующем значении Fr . Это позволяет дать оценку высоты волны, при которой корабль должен сохранять оперативную скорость хода.

При определении связи мощности катера с его скоростью будем исходить из положения академика Г.Е. Павленко, в соответствии с которым на волнении потребная мощность главных двигателей растёт пропорционально четвёртой степени скорости [3]. Полагаем, что при заданной балльности волнения (или высоты волн $h_{3\%}$) МРК с задаваемым запасом мощности dN развивает скорость v . При исключении этого запаса мощности катер теряет в скорости на величину dv , то есть:

$$\left(\frac{v}{v - dv}\right)^4 = \frac{N + dN}{N} \Rightarrow \frac{dN}{N} = \left(\frac{1}{1 - dv/v}\right)^4 - 1. \quad (2)$$

При определении относительного падения скорости на волнении dv/v в зависимости от высоты волны $h_{3\%}$ и параметров корабля L_w и C_b для судов длиной менее 100 м. применима методика Мёкля [4]. Поскольку коэффициент общей полноты МРК обычно меньше 0,50, он участвует в расчетах в виде инварианта. На основе формулы Мёкля получена, с некоторыми допущениями, формула вида

$$dv/v = 1 - e^{-0,175 \cdot h_{3\%}} \cdot L_w^{0,0517} h_{3\%}^{0,706}. \quad (3)$$

Согласно [3], высота волны $h_{3\%}$ связана с балльностью моря B_m соотношением

$$h_{3\%} = 1,8659B_m - 0,8239B_m^2 + 0,175B_m^3 - 0,0098B_m^4 - 0,9444. \quad (4)$$

Теперь на основе формул (1), (3), (4) и регрессий (рис. 2) можно определить примерный запас мощности кораблей dN/N групп $У_1$ и $У_2$ (табл. 2).

Из полученных данных видно, что корабли второй группы ($У_2$) рассчитаны на менее суровые условия эксплуатации в сравнении с кораблями группы ($У_1$). Отметим также, что не весь запас мощности нацелен на преодоление волнения моря. Часть его может быть связана со снижением пропульсивного коэффициента некоторых кораблей, с предусмотренной возможностью форсирования мощности в экстренных случаях и другими обстоятельствами. Тем не менее проведенный анализ позволяет дать аргументированные объяснения порой весьма значимым резервам мощности на МРК.

Таблица 2

Определение запаса мощности

№ пп.	Проект	D , т	L_w , м	v_s , уз.	Fr	Fr_d	N , кВт	$h_{3\%}$	dv/v	Группа $У_1$	Группа $У_2$
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
1	PG-04	205	39,5	45	1,18	3,039	13248	2,390	0,064		0,306
2	Hensinki-2	215	41	30,5	0,78	2,044	5593	1,830	0,026		0,110
3	Hamina	235	43,39	32	0,80	2,113	5965	1,520	0,004		0,016
4	Province	311	52	40	0,91	2,52	13348	2,610	0,053		0,244
5	Combatant 3	359	53,3	38,5	0,87	2,368	13974	2,24	0,028		0,122
6	Гарантул-3	436	49,5	42	0,98	2,501	23862	3,450	0,113	0,617	
7	Kilic	437	58,5	38	0,82	2,262	11334	2,760	0,051		0,232
8	Nirit	450	58,2	32	0,69	1,896	12053	3,420	0,093	0,480	
9	Peterson	450	56,99	38	0,83	2,251	19430	3,820	0,122	0,683	
10	Скорпион	456	50	40	0,93	2,365	29828	3,660	0,126	0,716	
11	Молния	515	49,5	38	0,89	2,201	25145	3,080	0,088	0,449	
12	Нанучка-4	569	52,32	33	0,75	1,88	22371	3,710	0,125	0,702	

Другой вопрос, который представляет интерес на начальных этапах проектирования – величина потребной мощности корабля, обеспечивающая заданную заказчиком скорость. Здесь отметим, что формулы для удельной мощности типа $N/D=f(Fr)$, полученные обработкой статистики, отражают объективный закон изменения мощности по скорости, но не учитывают многих других параметров, важных для ходкости, и поэтому могут приводить к неадекватным результатам. В связи с этим полезно располагать неким практическим способом интерактивного определения мощности МРК в процессе верстки алгоритма проектирования.

Более надежными представляются приближённые зависимости, полученные при оценке сопротивления (полного $R_{пол}$ или остаточного $R_{ост}$) на базе модельных испытаний соответствующего типа корпусов. Обобщение результатов испытаний обводов МРК недавно выполнил В.Н. Аносов [1]. Он показал, что все результаты испытаний должны подчиняться объективной закономерности и что коэффициент обратного гидродинамического качества ($\varepsilon=R_{пол}/gD$) во всех случаях более всего зависит от значения относительной скорости хода (Fr_d), относительной длины $L/D^{1/3}$ и характера обводов (круглоскулые или остроскулые шпангоуты).

Коэффициент обратного гидродинамического качества ε может быть определен графическим путем или по приближенной формуле. Имея ε , можно получить удельную буксировочную мощность с использованием [5] и [4]. Если выражение для удельных энергетических затрат при буксировке катера $N_{букс}/(Dv_s)$, кВт.час/т.миль, принимает вид (т. е. $\sim 5\varepsilon$):

$$\frac{N_{букс}}{Dv_s} = \frac{Rv}{(Dv/0,5144)} = \frac{0,5144Rg}{gD} = 5,05 \frac{R}{gD} = 5,05\varepsilon. \quad (5)$$

После оценки полного пропульсивного коэффициента судна η мощность главных двигателей МРК определяется по формуле

$$N = \frac{N_{\text{букс}}}{\eta} = 5,05 \frac{\varepsilon}{\eta} v D. \quad (6)$$

Расчёты мощности, выполненные по формуле (6), представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчеты мощности катеров

№	Проект	D, т	L _w , м	v _s , уз.	N, кВт	ε	N _{пол} , кВт (η=0,55)	η	N _{пол} /D
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	PG-04	205	39,5	45	13248	0,161	13631,1	0,566	66,49
2	Helsinki-2	215	41	30,5	5592,8	0,108	6530,79	0,642	30,38
3	Hamina	235	43,39	32	5965,6	0,110	7600,28	0,701	32,34
4	Province	311	52	40	13348	0,124	14201,6	0,585	45,66
5	Combatant 3	395	53,3	38,5	13974	0,119	16596,9	0,653	42,02
6	Тарангул-3	436	49,5	42	23862	0,135	22723,5	0,524	52,12
7	Kilic	437	58,5	38	11335	0,111	16890,7	0,820	38,65
8	Nirit	450	58,2	32	12053	0,093	12320,8	0,562	27,38
9	Peterson	450	56,99	38	19430	0,113	17743,1	0,502	39,43
10	Скорпион	456	50	40	29828	0,128	21515,5	0,397	47,18
11	Молния	515	49,5	38	25145	0,123	22173,4	0,485	43,06
12	Нанучка-4	569	52,32	33	22371	0,106	18195,1	0,447	31,98

В графе 7 табл. 3 приведены значения полной мощности $N_{\text{пол}}$, рассчитанной по формуле (6) в предположении, что все катера имеют одинаковый пропульсивный коэффициент $\eta=0,55$. Далее, в графе 8, исходя из пропорции $N_{\text{пол}}/N = \eta/0,55$ определён пропульсивный коэффициент, при котором рассматриваемый катер имел бы расчётную мощность главных двигателей, соответствующую представленной в графе 5. Видно, что при приемлемых значениях коэффициентов большинства катеров для некоторых катеров коэффициенты явно занижены. Это говорит о том, что у них значительная часть избыточной мощности зарезервирована для хода на взволнованном море.

В графе 9 приведены значения энерговооружённости катеров, определяемые через мощность $N_{\text{пол}}$, рассчитанную по формуле (6) при пропульсивном коэффициенте 0,55. Результаты колонки 9 наложены на график рис. 2 (рис. 5).

$$N_{\text{пол}}/D = 84,8Fr - 32,1. \quad (7)$$

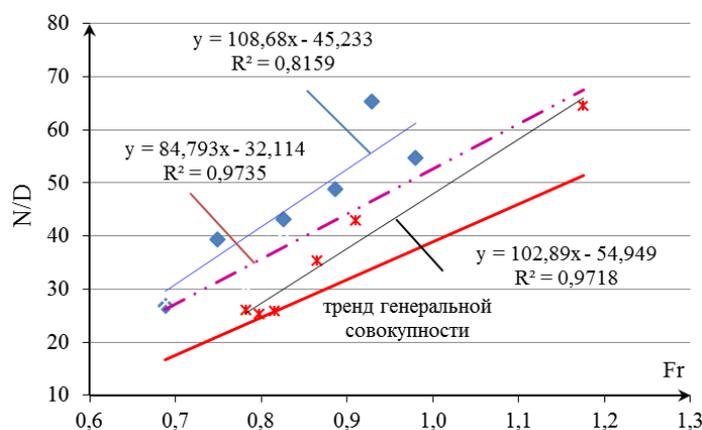


Рис. 5. Наложение конечного результата на расположение точек малой выборки относительного глобального тренда

Из графика видно, что новая линия тренда легла эквидистантно выше тренда генеральной совокупности и в то же время внутри интервала точек нашей малой выборки, что подтверждает её легитимность. Анализ показывает, что сдвиг в сторону больших значений мощности, по-видимому, свидетельствует о вынужденном снижении, по сравнению с малыми катерами, требований к ходкости крупных катеров в пользу решения тактических вопросов проектирования (увеличения остойчивости, ограничения диаметра винтов, оптимизации общего расположения). Стремление проектантов обеспечить оперативный ход катера в тех или иных условиях волнения при большой нагрузке движителей, а также наличие мощных двигателей с их небольшой удельной массой (кг/кВт), быть может для эффективного использования катеров на тихой воде, объясняет заметный разброс величины установленной мощности на МРК.

Заключение

На основе анализа статистических данных проектных характеристик МРК в статье получены значимые регрессии, служащие для проектирования МРК на начальных стадиях. Представленный материал можно рекомендовать для оценки их мощности на тихой воде, используя зависимости (1) и (7), а необходимый запас мощности для оперативного хода на заданном волнении определять с помощью формулы (3).

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аносов В.Н. Уточнение методов прогнозирования сопротивления быстроходных судов и разработка методов его снижения: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.08.01. Санкт-Петербург, 2006. 42 с.
2. Апальков Ю.В. Боевые корабли мира на рубеже XX–XXI веков. Часть IV-II. Корветы и катера: справочник. СПб: Галлея Принт, 2004. 248 с.
3. Вашедченко А.Н., Гук М.Н. Особенности проектирования научно-исследовательских судов. Николаев: НУК, 2006. 182 с.
4. Егоров И.Т., Буньков М.М., Садовников Ю.М. Ходкость и мореходность глиссирующих судов. Ленинград: Судостроение, 1978. 330 с.
5. Справочник по теории корабля. Т. 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания / под ред. Я.И. Войткунского. Ленинград: Судостроение, 1985. 539 с.
6. Тарас А.Е. Ракетные катера вчера и сегодня. Минск: Харвест, 2008. 288 с.
Baker A.D.-III. Combat Fleets of the World 1995. Annapolis, Maryland: Naval Institute Press, 1995. 1053 с.

Original article

DOI: <http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/15-21>

Ha Van Duy, Nguyen Viet Hoan, Nguyen Van Kien, Bui Van Huynh

HA VAN DUY, Candidate of Engineering Sciences, vmured4289@gmail.com

NGUYEN VIET HOAN, Candidate of Engineering Sciences, viethoan@mail.ru

NGUYEN VAN KIEN, Bachelor, nguyenkien0802@gmail.com

BUI VAN HUYNH, Master Student, Huynhbui.141@gmail.com

Institute of Ship Design

Hanoi, Vietnam

Estimation of the ship power in the pre-planing regime at the initial design stages

Abstract. This article considers the problem of determining the power of small missile boats in the pre-planing regime is considered. The result of processing the statistical data of small missile boats shows that when determining their power, it is necessary to add some power reserve for effective operation at a given wave condition. The obtained power regressions can be used to estimate the power of small missile boats at the initial stage of their design.

Keywords: power estimation, pre-planing regime, small missile boats, regression, specific power

For citation: Ha Van Duy, Nguyen Viet Hoan, Nguyen Van Kien, Bui Van Huynh. Estimation of the ship power in the pre-planing regime at the initial design stages. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(3):15–21. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Anosov V.N. Refinement of methods for predicting the resistance of high-speed vessels and the development of methods for its reduction. Abstract of Dr. Sci. (Eng.) Thesis. St. Petersburg, 2006. 42 p. (In Russ.).
2. Apal'kov Ju.V. Warships of the world at the XX-XXI centuries. Part IV-II. Corvettes and boats: guidebook. St. Petersburg, Galleja Print, 2004. 248 p. (In Russ.).
3. Vashedchenko A.N., Guk M.N. The features in design of research vessels. Nikolaev, NUK, 2006. 182 p. (In Russ.).
4. Egorov I.T., Bunkov M.M., Sadovnikov Yu.M. Propulsion and seakeeping of planing vessels. Leningrad, Sudostroenie, 1978. 418 p. (In Russ.).
5. Vojtkunskij Ja.I. (ed.). Handbook of ship theory. Vol. 3. Controllability of displacement ships. Hydrodynamics of ships with dynamic support principles. Leningrad, Sudostroenie, 1985. 539 p. (In Russ.).
6. Taras A.E. Missile boats yesterday and today. Minsk, Harvest, 2008. 288 p. (In Russ.).
7. Baker A.D.-III. Combat Fleets of the World 1995. Annapolis, Maryland, Naval Institute Press, 1995. 1053 p.