

## ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ УРАВНЕНИЯ «МОЩНОСТИ-ХОДКОСТИ» ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА СКОРОСТНОГО СУДНА ИЗ КОМПОЗИТОВ

АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

М.Э. Францев

THE PROJECT'S ANALYSIS OF DIFFERENT FORMS OF THE EQUATION, «POWER-PROPULSION» DURING THE DRAFTING OF HIGH-SPEED VESSEL FROM COMPOSITES

«Neptun-Sudomontazh»

M.E. Frantsev

The article is about the mode of project analysis of different forms of the equation «Power-propulsion». The equation includes the full weight of the vessel, its power and speed in different forms. This analysis is based on calculations made on the basis of databases of various courts of the composites.

*Keywords: design of vessels from composite materials, equations, gross weight, power, speed*

Показан способ проектного анализа различных форм уравнения «Мощности-Ходкости», в которые в явном виде входят полная масса судна, его мощность и скорость. Анализ опирается на расчеты, выполненные на основании баз данных различных судов из композитов.

При проектировании современного скоростного глиссирующего судна служебно-разъездного и прогулочного назначения, в том числе из композиционных материалов, одним из центральных вопросов проектирования является определение его ожидаемых скоростных качеств. Расчет сопротивления движению и определение потребной мощности двигателей является одной из важнейших задач при проектировании судна. На ранних этапах проектирования, когда многие элементы судна еще не определены, используются приближенные способы определения сопротивления судна. В дальнейшем для этих целей, как правило, используются результаты модельных испытаний. Этот этап существенно удорожает проект судна. В настоящее время имеется достаточно большое количество результатов модельных испытаний быстроходных судов. С помощью метода Фруда они могут быть пересчитаны на натурное судно.

Известно, что практические вычисления по результатам проведенных испытаний в некоторых случаях приводят к принципиальным противоречиям или к существенным искажениям. Поэтому актуален поиск путей, которые бы позволили с достаточной степенью надежности прогнозировать при проектировании ожидаемые скоростные характеристики быстроходных судов, основываясь не только на уже существующих или специально полученных результатах модельных испытаний.

Известно, что вопросы ходкости на определенном этапе проектирования могут быть решены не только за счет использования гидродинамических методов, но, в большой степени, за счет рационального выбора всех элементов судна и, в первую очередь, правильным выбором его главных размерений, характеристик движительно-рулевого комплекса, оптимальным соотношением его полной массы и мощности главных двигателей.

Представляет интерес вид уравнения «Мощности – Ходкости», в которое полная масса судна, мощность его главных двигателей и развиваемая судном скорость при развитии волнообразовании, входят в явном виде и связаны между собой зависимостью вида

$$N = \frac{D^m V^n}{C_{mn}}, \quad (1)$$

где  $N$  – мощность главных двигателей;

$D$  – водоизмещение судна;

$V$  – скорость судна;

$C_{mn}$  – коэффициент мощности, определяемый по близкому прототипу или путем анализа баз данных по сходным судам.

Одним из наиболее широко известных вариантов этой зависимости является Адмиралтейская формула

$$N = \frac{D^{2/3} V^3}{C_a}, \quad (2)$$

где  $C_a$  – адмиралтейский коэффициент.

В [1] указано, что для оценки изменения мощности при изменении скорости отдельного судна (при неизменных его размерах и форме) формула адмиралтейских коэффициентов с постоянным значением  $C_a$  не позволяет получить правильного ответа. В работе [3] указывается, что адмиралтейский коэффициент представляет собой симплекс ряда трудно учитываемых величин, в том числе, пропульсивного коэффициента. Адмиралтейский коэффициент изменяется в довольно широком интервале и пригоден в качестве использования коэффициента подобия только для очень близкого прототипа при изменении скорости не более чем на 3-4%.

Обработывая статистические данные по морским транспортным судам, английский инженер Эйр (Ayre) предложил формулу с меньшим влиянием полной массы судна на мощность, понизив показатель  $m = 0,67$  до величины  $m = 0,64$ . Известны формулы Афанасьева, Давыдова, Энсли. Из современной зарубежной практики проектирования скоростных судов известны формулы Crouch, Levi, Reyes и других.

В соответствии с [3, 4] для скоростных судов типа глиссеров зависимость (1) приобретает вид

$$N = \frac{DV}{C_{\text{скор}}}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{скор}}$  – коэффициент.

Можно привести еще одну зависимость между величинами полной массы, скорости и мощности. В отличие от адмиралтейского коэффициента скорость в эту формулу входит в первой степени, а величина смоченной поверхности корпуса, как и в формуле адмиралтейских коэффициентов, учитывается показателем  $2/3$  у величины полной массы. Мощность при этом может быть выражена как

$$N = \frac{VD^{2/3}}{C_f}, \quad (4)$$

где  $C_f$  – коэффициент.

В качестве одного из способов определения этих коэффициентов может быть использована обработка баз данных существующих катеров и малых судов из композиционных материалов служебно-разъездного назначения, содержащих большое количество характеристик  $D, N, V$ , с использованием методов регрессионного анализа. Более подробно эти вопросы рассматриваются в работе [2].

Для идентификации взаимосвязи между полной массой судна его мощностью и скоростью сформированы множества значений на базе этих характеристик для 274 скоростных судов служебно-разъездного и прогулочного назначения, имеющих корпуса из неметаллических композиционных материалов, производства США, стран Европы и Азии. Обводы этих судов являются остроскулыми, с достаточно большими углами килеватости и продольными реданами. В качестве движителей применены гребные винты с большим дисковым отношением. На судах малых размеров (длиной до 10-11 м) используются поворотные-откидные колонки. На некоторых, наиболее скоростных судах, установлены приводы Арнесона. Суда, являющиеся объектом анализа, имеют водоизмещение от 2 до 160 т, длину от 9 до 42 м, установленную мощность главных двигателей от 200 до 8000 кВт, скорость полного хода от 10 м/с (19 узлов) до 45 м/с (87 узлов). Исходные данные по проектам этих судов взяты из специализированных справочно-информационных изданий, а также информационных ресурсов Интернет [2]. Значения коэффициентов  $C_a, C_{\text{скор}}$  и  $C_f$  получены в табличной форме.

Значения коэффициентов представлены, также, в виде семейства графиков, отражающих изменения значений  $C_a, C_{\text{скор}}$  и  $C_f$  по интервалам полной массы  $D$  при фиксированных значениях скорости  $V$  и числа Фруда по водоизмещению  $Fr_v$ , а также уравнений аппроксимации. Построены поверхности, отражающие эти изменения по всему множеству значений экспериментальных данных (рисунок 1-3).

Полученное семейство графиков в сочетании с описывающими их уравнениями образует устойчивые взаимосвязи между такими характеристиками скоростных судов из композиционных материалов, как полная масса  $D$ , мощность главных двигателей  $N$ , а также их скоростными характеристиками: скоростью  $V$  и числом Фруда по водоизмещению  $Fr_v$ . Форма поверхностей, объединяющих эти графики, характеризуется достаточной гладкостью, что позволяет использовать полученные зависимости для анализа и практических расчетов.

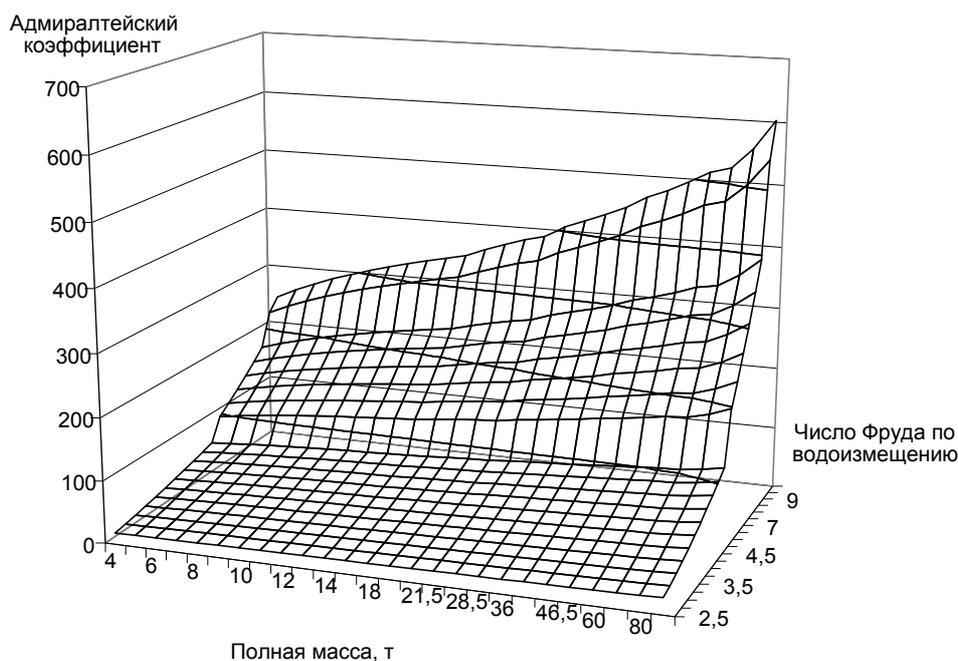


Рисунок 1 – Изменение адмиралтейского коэффициента  $C_a$  в зависимости от полной массы и числа Фруда по водоизмещению для глиссеров

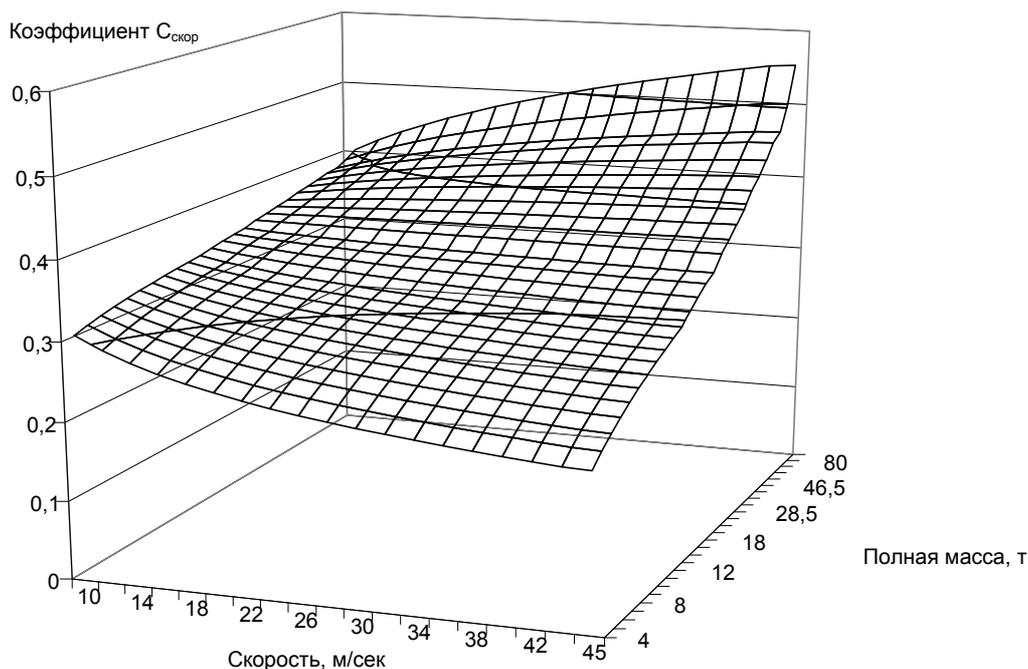


Рисунок 2 – Изменение коэффициента  $C_{\text{скор}}$  в зависимости от полной массы и скорости для глиссеров

Для оценки работоспособности полученных результатов проектного анализа характеристик полной массы, мощности и скорости судов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости, выполнен проверочный расчет характеристик мощности при заданной скорости для ряда известных скоростных глиссирующих судов отечественной постройки. Рассматриваемые суда не входили в обрабатываемые при проектном анализе базы данных.

Проверочный расчет выполнен для следующих скоростных судов:

- Скоростное судно проекта 14170;
- Скоростное судно проекта 12260;
- Скоростное судно проекта 12150;
- Скоростное судно проекта 12200.

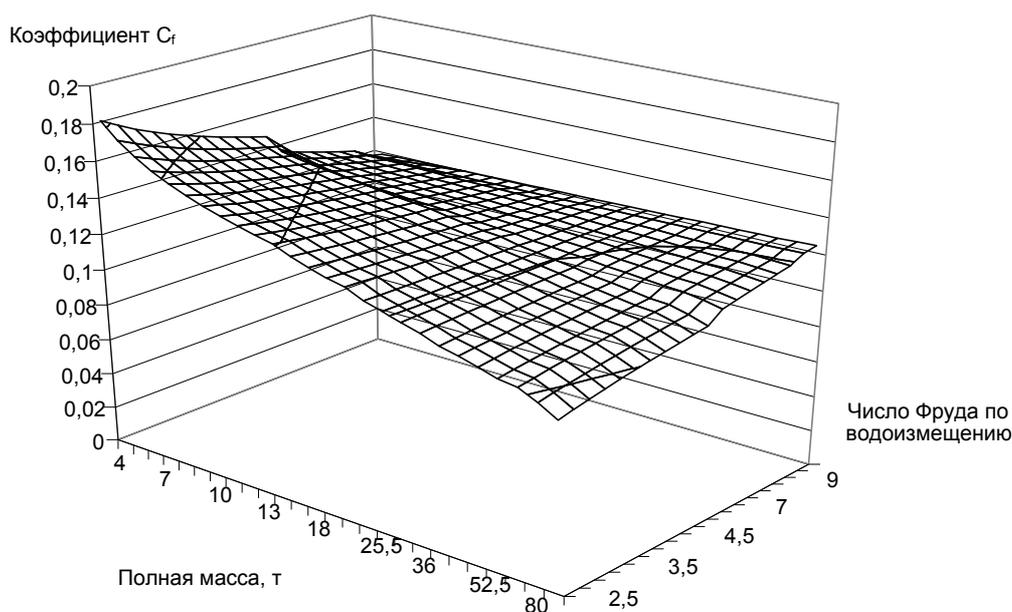


Рисунок 3 – Изменение коэффициента  $C_f$  в зависимости от полной массы и скорости для глиссеров

Проектные характеристики выше перечисленных судов взяты из открытых источников. Результаты проверочного расчета приведены в таблице.

Таблица – Результаты расчета

Величина	Расчетная формула	Проекты			
		14170	12260	12150	12200
Полная масса, т	данные разработчика	8,6	8,99	23,6	60,0
Мощность, кВт	данные разработчика	442	662	1980	3580
Мощность рассчитанная через $C_a$ , кВт	(2)	455	714	1754	3769
Мощность рассчитанная через $C_{скор}$ , кВт	(3)	430	716	1809	3676
Мощность рассчитанная через $C_f$ , кВт	(4)	426	713	1791	3698

Значения коэффициентов, кроме того, уточнялись, как среднее арифметическое между величинами, полученными по таблицам зависимостей от скорости  $V$  и числа Фруда по водоизмещению  $F_{r_v}$ . Погрешность отклонения полученных величин мощности от проектных значений при этом находится в пределах 2,7-5,2%.

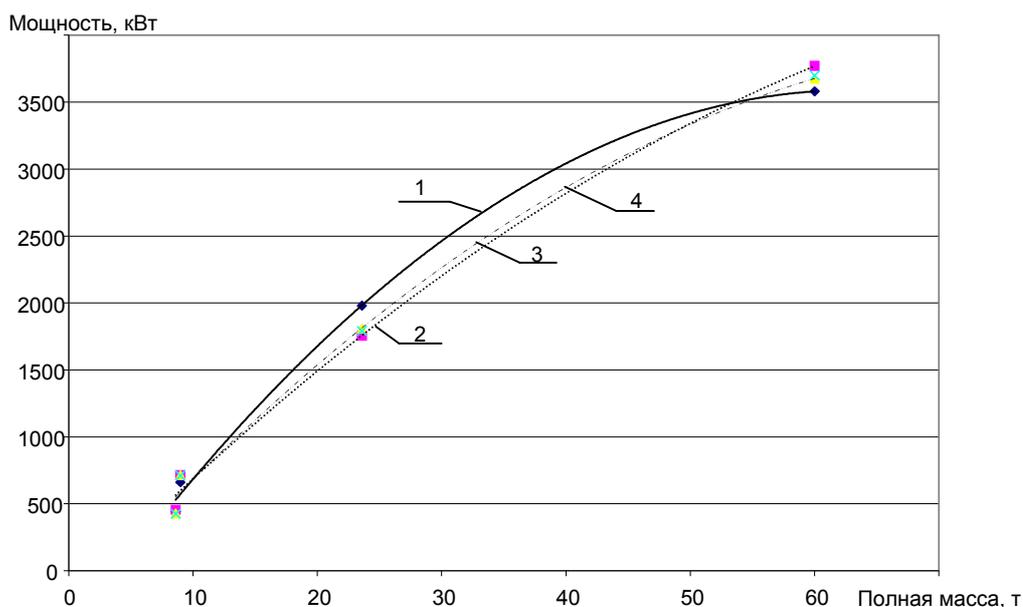


Рисунок 4 – Сравнение мощности построенных судов по данным разработчиков (кривая 1) и мощности, рассчитанной при помощи различных коэффициентов (кривые 2-4)

Значения мощности построенных судов, рассчитанные с помощью различных по форме уравнений «Мощности-Ходкости» с изме-

няющимися показателями от 1 до 2/3 у полной массы и с изменяющимися показателями от 1 до 3 у скорости  $V$ , входящими в уравнения имеют достаточно близкие значения. Таким образом, для определения мощности остроскулых глиссирующих судов, движущихся в условиях развитого волнообразования, можно использовать, как адмиралтейский коэффициент  $C_a$ , так и коэффициенты  $C_{скор}$  и  $C_f$ .

Можно предположить, что это обусловлено природой коэффициентов  $C_{mn}$ , входящих в уравнения «Мощности-Ходкости». Они являются не самостоятельными физическими величинами, определяющими гидродинамические особенности движения судна, а лишь математическими параметрами, устанавливающими взаимосвязь между такими физическими величинами, как полная масса судна  $D$ , мощность его главных двигателей  $N$ , а также скоростью судна  $V$ . Чем более эффективными, с точки зрения математики, методами они будут определены при разработке математической модели уравнения «Мощности-Ходкости», тем легче и точнее будет реализован «вход» в зону оптимальных соотношений полной массы мощности и скорости глиссирующего судна, в том числе и из композиционных материалов. Использование указанных коэффициентов на начальных стадиях проектирования не заменяет собой необходимости выполнения гидродинамических расчетов на последующих этапах проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ашик, В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. -Л.: Судостроение, 1985. -486 с.
- 2 Францев, М.Э. Проектное обоснование оптимальных сочетаний характеристик массы, мощности и скорости для скоростных судов из композитов методами анализа баз данных / М.Э. Францев // Наука и техника трансп. -2010. -№3. -С. 53-59.
- 3 Царев, Б.А. Исследование проектного уравнения мощности В.Л. Поздюнина и его современных интерпретаций / Б.А. Царев // Материалы Международной научной конференции «Леонард Эйлер и современная наука». -СПб., 2007. -С. 423-428.
- 4 Царев, Б.А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б.А. Царев. -Л.: ЛКИ, 1988. -102 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *проектирование судов из композиционных материалов, уравнения, полная масса, мощность, скорость*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Францев Михаил Эрнстович, канд. техн. наук, директор АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *141703, Московская область, г. Долгопрудный, п. Водники, АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»*

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ СУДНА НА ШИРИНУ ХОДОВОЙ ПОЛОСЫ**

**ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**А.Н. Клементьев, Б.В. Палагушкин**

**INFLUENCE OF GEOMETRICAL RATIOS OF A VESSEL ON WIDTH OF A RUNNING STRIP**

**«Volga state academy of water transport»**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

A.N. Klementyev, B.V. Palagushkin

Now the width of a ship canal becomes a critical factor in swimming safety in the constrained conditions. It is connected with that the relation of length to width at new vessels steadily decreases because their width increases for the purpose of increase in loading capacity without increase their precipitation. At design of new navigable ways and modernization of the existing information on required width of a strip is necessary for movement of a concrete vessel on a certain site of the channel.

*Keywords: vessel, passableness, geometry, navigation*

В настоящее время ширина судоходного канала становится критическим фактором в обеспечении безопасности плавания в стесненных условиях. Это связано с тем, что отношение длины к ширине у новых судов неуклонно снижается из-за того, что их ширина увеличивается с целью увеличения грузоподъемности без увеличения их осадки. При проектировании новых судоходных путей и модернизации существующих, необходима информация о требуемой ширине полосы для движения конкретного судна по определенному участку канала.

Одной из основных тенденций в современном судостроении, касающейся как маневренных характеристик судов, так и проектирования судоходных каналов, является увеличение соотношений  $B/L$  и  $B/T$  у вновь строящихся судов, а так же увеличение их тоннажа.