

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 629.12.001

М. Э. Францев,
И. М. Францев

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КАЧЕСТВА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЛИССЕРА ИЗ КОМПОЗИТОВ

В статье рассматривается способ определения суммарного пропульсивного качества гидродинамического комплекса при проектировании глиссирующего судна из композитов с использованием численных методов. Уравнение мощности-ходкости является одним из важнейших уравнений рациональной логико-математической модели оптимизации характеристик судна. Методами регрессионного анализа рассчитаны изменения величины суммарного пропульсивного качества глиссирующих судов для различных форм уравнения мощности-ходкости, включая формулу адмиралтейских коэффициентов. Для оценки работоспособности полученных результатов проектного анализа характеристик полной массы, мощности и скорости глиссирующих судов из композитов выполнен проверочный расчет характеристик мощности при заданной скорости. Расчет выполнен для ряда известных скоростных глиссирующих судов отечественной постройки, не входивших в обрабатываемые базы данных, с минимальной погрешностью. Разработано компьютерное приложение, позволяющее реализовать данный способ вычисления суммарного пропульсивного качества для глиссеров. Это компьютерное приложение дает возможность разработчику реализовать вариативную модель проектирования развездного судна из композитов, опирающуюся на использование параметрических методов и существенно упрощающую оптимизацию проектируемого судна.

Ключевые слова: глиссирующие суда из композитов, суммарное пропульсивное качество, численные методы, компьютерное приложение.

ПРИ разработке проекта нового глиссирующего судна из композитов, отличающегося от прототипа рядом характеристик, одним из центральных вопросов проектирования является расчет его ожидаемых скоростных качеств и их сравнение с аналогичными свойствами прототипа. При этом на этапе определения главных размерений и других проектных характеристик судна выполняется определение его ожидаемой скорости и установленной мощности главных двигателей, которое реализуется на базе анализа уравнения «Мощности – Ходкости». Необходимо отметить, что свойства композитов, как материала судовых корпусных конструкций, определяют специфическую конструкцию этого типа судов. Они также определяют особенное распределение их масс и объемов, параметры, характеризующие форму их корпусов и надстроек, а также различные другие аспекты их устройства, которые, в свою очередь, определяют эксплуатационные свойства этого типа судов, в том числе, их скоростные качества. Известно, что В. Л. Позднюнин предложил связать длину судна с его скоростью на основании статистических данных. По результатам обследований трехсот различных судов им предложена формула, в которую входят объемное водоизмещение, скорость и расчетная длина судна, и, таким образом установлена связь между этими величинами [1].

Уравнение «Мощности – Ходкости», позволяющее определить режим движения судна и согласовывающее его полную массу и параметры энергетической установки при заданной скорости движения является одним из важнейших уравнений рациональной логико-математической модели оптимизации характеристик судна. Одним из вариантов уравнения «Мощности – Ходкости» является уравнение определения потребной мощности для обеспечения скоростных характеристик судна, использующее величины сопротивления движению корпуса судна и его пропульсивного коэффициента. В этом уравнении полная масса выражена в неявном виде. Величина потребной мощности судна при этом определяется как

$$N = \frac{Rv}{A_1\eta}, \quad (1)$$

где N — мощность главных двигателей; R — сопротивление воды движению судна при заданной скорости; v — скорость судна; η — пропульсивный коэффициент, представляющий собой коэффициент полезного действия гидродинамического комплекса и валопровода; A_1 — коэффициент учета единообразия размерностей входящих в формулу физических величин.

Известно, что сопротивление воды движению судна определяется по результатам модельных испытаний, а на начальных этапах проекта — приближенными методами.

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 проектирование судна. В настоящее время имеется достаточно большое количество результатов модельных испытаний быстроходных судов. С помощью метода Фруда они могут быть пересчитаны на натурное судно. В то же время 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.

В данной работе, в первую очередь, рассматриваются однокорпусные суда из композиционных материалов, имеющие в качестве доминирующего режима движения — режим глиссирования. При определенных условиях эти суда могут длительно использоваться в переходном или водоизмещающем режимах, но основным расчетным режимом для них является режим глиссирования.

Буксировочное сопротивление глиссирующего корпуса в соответствии с [2]:

$$R_{\Pi} = R_{ГК} + R_{вч} + R_{возд}, \quad (2)$$

где R_{Π} — полное сопротивление движению судна; $R_{ГК}$ — сопротивление голого корпуса; $R_{вч}$ — сопротивление выступающих частей; $R_{возд}$ — воздушное сопротивление движению судна.

Методы расчета буксировочного сопротивления глиссирующего корпуса могут быть условно разделены на несколько групп:

- упрощенные формулы, формула адмиралтейских коэффициентов и подобные ей формулы;
- использование результатов испытаний систематических серий моделей корпусов;
- использование результатов испытаний схематизированных моделей (пластин, призм) [3];
- обработка результатов несвязных испытаний методами регрессионного анализа;
- пересчет с близкого прототипа;
- испытания модели в опытовом бассейне [4].

Определение величины пропульсивного коэффициента для скоростного судна с ограниченной осадкой вызывает достаточно большие технические трудности, и достоверность его определения на начальных этапах проектирования неочевидна. Также известно, что в пределах установившегося режима движения тип обводов корпуса мало влияет на сопротивление воды. Обеспечение высоких ходовых качеств, например, скоростного однокорпусного судна достигается, в первую очередь, правильным выбором его главных размерений, характеристик движительно-рулевого комплекса, оптимальным соотношением его водоизмещения и мощности главных двигателей. Поэтому 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

$$N = \frac{D^m v^n}{C_{mn}}, \quad (3)$$

где N — мощность главных двигателей; D — водоизмещение судна; C_{mn} — коэффициент мощности.

Эта формула впервые была предложена В. Л. Позднюниным в 1916 г. и дает общий ориентир при функциональном анализе ходкости [1]. Одним из наиболее широко известных вариантов этой зависимости является Адмиралтейская формула:

$$N = \frac{D^{2/3} v^3}{C_a}, \quad (4)$$

где C_a — адмиралтейский коэффициент.

Известно, 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 всегда позволяет получить правильный ответ. Также известно, 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 относительной скорости не более чем на 3–4 %.

Выразим сопротивление движению судна в соотношении (1) через его полную массу

$$N = \frac{gDv}{A_1 K \eta}, \quad (5)$$

где K — гидродинамическое качество «голового» корпуса; g — ускорение свободного падения [5].

В выражение (5) суммарное пропульсивное качество гидродинамического комплекса входит в виде

$$C_{\text{скор}} = \frac{A_1 K \eta}{g}, \quad (6)$$

где $C_{\text{скор}}$ — суммарное пропульсивное качество.

Таким образом, для скоростных судов типа глиссеров, движущихся в условиях развитого волнообразования, мощность главных двигателей может быть представлена как

$$N = \frac{Dv}{C_{\text{скор}}}. \quad (7)$$

Необходимо отметить, что широко известный Адмиралтейский коэффициент также является одной из форм математических выражений суммарного пропульсивного качества. При этом Адмиралтейский коэффициент C_a и коэффициент $C_{\text{скор}}$ связаны между собой зависимостью

$$C_{\text{скор}} = \frac{C_a}{Fr_v^2 g}, \quad (8)$$

где Fr_v — число Фруда по водоизмещению.

Произведем определение суммарного пропульсивного качества глиссирующего судна, используя данные о его полной массе, скорости полного хода и установленной мощности главных двигателей. В соответствии с выражением (7) скорость судна-прототипа, его полное водоизмещение и мощность его главных двигателей связаны между собой зависимостью

$$\frac{NC_{\text{скор}}}{D} = v. \quad (9)$$

Предположим, что на судно с характеристиками D , N , v устанавливается новый двигатель другой мощности, измененной на ΔN , но очень близкий по массе ранее установленному двигателю. Такая установка не вызовет существенного изменения полного водоизмещения. Формула определения скорости измененного прототипа при фиксированном водоизмещении будут выглядеть так:

$$\frac{(N + \Delta N)C_{\text{скор1}}}{D} = v + \Delta v. \quad (10)$$

При рассмотрении выражения (10) нужно сделать две важных оговорки. Во-первых, мощность судовой энергетической установки является скалярной физической величиной, поэтому она не может быть отрицательной по определению, и понятие «модуль» применительно к мощности в данном выражении не имеет смысла. Во-вторых, при выполнении гидродинамических расчетов рассматривается движение судна с увеличением скорости (разгон), начиная от состояния покоя, но не рассматривается режим замедления движения судна, который в настоящее время мало исследован и не воспроизводится в опытовых бассейнах. При этом понятно, что режим замедления движения судна не является зеркальным отражением режима его разгона. Поэтому в выражении (10) не предполагается, что скорость может иметь отрицательное приращение.

Формула определения прироста скорости в зависимости от прироста мощности при фиксированном водоизмещении будет иметь вид

$$\frac{(C_{\text{скор1}} - C_{\text{скор}})N + \Delta NC_{\text{скор1}}}{D} = \Delta v. \quad (11)$$

Установка на это судно ряда двигателей различной мощности, но сопоставимой массы, не вызывающей существенного изменения водоизмещения судна, или просто изменение мощности установленного двигателя путем изменения его подачи топлива, но сопровождающееся изменением скорости судна, формирует множество дискретных значений: $C_{\text{скор0}}, C_{\text{скор1}}, C_{\text{скор2}}, C_{\text{скор}l}$, т. е. $C_{\text{скор}} = f(N)$. Аналогично, многократное изменение полного водоизмещения этого судна, например, за счет изменения полезной нагрузки, без изменения мощности главного двигателя, вызовет ряд изменений скорости судна и сформирует новое множество значений, т. е. $C_{\text{скор}} = \varphi(D)$. Установка на это же судно с двигателем неизменной мощности и постоянным водоизмещением различных гребных винтов с разным шаговым и дисковым отношением, вызвавшая изменение скорости, сформирует еще одно дискретное множество значений, т. е. $C_{\text{скор}} = u(v)$. Таким образом, суммарное пропульсивное качество $C_{\text{скор}}$ является функцией трех проектных характеристик судна D, N, v в виде $C_{\text{скор}} = r(D, N, v)$. С точки зрения математики, график такой функции в координатных осях D, N, v описывается областью, все точки которой удовлетворяют указанному условию. Уравнения, описывающие данную область, определяют аналитическую зависимость между характеристиками судна D, N, v .

Так как уравнения (4) и (7) являются частными случаями уравнения (3), можно утверждать, что суммарное пропульсивное качество C_{mn} является функцией полной массы, скорости и мощности судна D, N, v в виде $C_{\text{mn}} = \psi(D, N, v)$ устанавливающей зависимости между этими характеристиками. Точный вид этой зависимости неизвестен, однако накоплено достаточное число экспериментальных данных (характеристик построенных судов). Для идентификации этой зависимости в целях практического применения необходимо определенным образом сгруппировать и обработать экспериментальные данные по построенным и эксплуатирующимся судам. Современные математические методы, базирующиеся на автоматизированных способах обработки информации, в том числе, больших объемов статистических данных, реализуемых современной вычислительной техникой, предоставляют такую возможность. Для обработки множества значений, сформированного на базе экспериментальных данных, необходимо перейти от функции трех переменных к более простым функциям.

В работе А. Н. Колмогорова [6] доказано, что всякая непрерывная функция n ($n > 3$) переменных представима в виде суперпозиции непрерывных функций трех переменных. В. И. Арнольд показал [7], что всякая непрерывная функция трех переменных представима в виде суперпозиций непрерывных функций двух переменных:

$$f(x, y, z) = \sum_{i=0}^9 f_i(\varphi_i(x, y)z), \quad (12)$$

где все функции непрерывны. В том же году А. Н. Колмогоров показал [8], что каждая непрерывная функция n переменных, заданная на единичном кубе n -мерного пространства, представима с помощью операций сложения, умножения и суперпозиции из непрерывных функций

одного переменного. В частности, каждая непрерывная функция двух переменных представима в виде

$$f(x, y) = \sum_{q=1}^5 h_q [\varphi_q(x) + \psi_q(y)]. \quad (13)$$

Теорема Вейерштрасса об аппроксимации утверждает, что непрерывную функцию нескольких переменных на замкнутом ограниченном множестве можно равномерно приблизить последовательностью полиномов. Теорема Стоуна дает правило конструирования конкретных обобщений теоремы Вейерштрасса для компактного пространства и множества непрерывных функций, заданного на компактном пространстве с вещественными значениями. Опираясь на аппроксимационную теорему Вейерштрасса и теорему Стоуна, решаются задачи по приближению функций многих переменных с помощью полиномов и суперпозиций функций одного переменного. Доказана возможность аппроксимации функции многих переменных с любой степенью точности суперпозициями и линейными комбинациями функций одной переменной.

Рассматриваемая задача относится к категории задач по оценке и аппроксимации по нескольким точкам функций вход-выход для решения в дальнейшем задачи прогноза неизвестных значений выходов по известным входам.

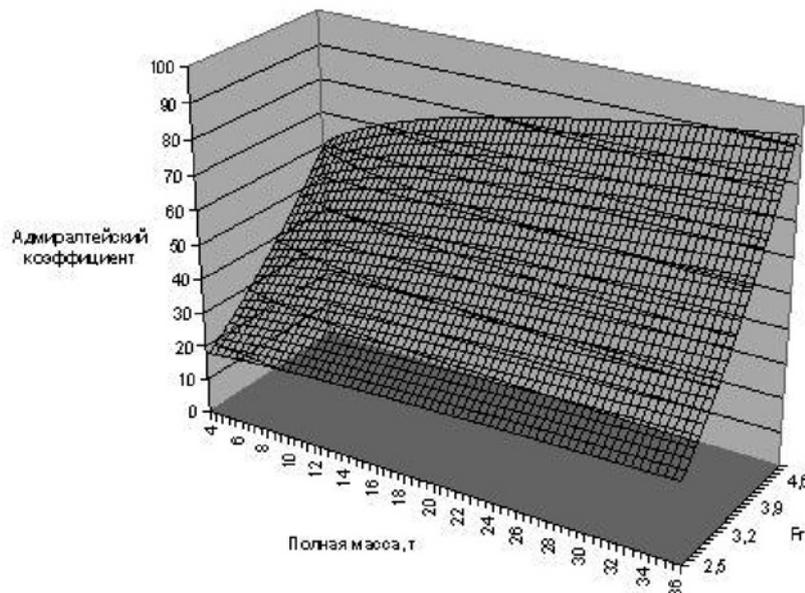


Рис. 1. Изменение Адмиралтейского коэффициента при изменении полной массы и числа Фруда по водоизмещению

Одним из наиболее мощных аналитических методов исследования является разделение («разбиение») базы данных на группы для сравнения структуры получившихся подмножеств. Эти методы широко применяются как в разведочном анализе данных, так и при проверке гипотез, и известны под разными названиями (классификация, группировка, кластерный анализ, категоризация, разбиение, расслоение и пр.). Для количественного описания различий между группами наблюдений разработаны многочисленные вычислительные методы, основанные на группировке данных. Это, например, дисперсионный анализ. Однако графические средства, например, категоризованные графики, дают на стадии качественного физического анализа особые преимущества и позволяют выявить закономерности, которые трудно поддаются количественному описанию, такие, как сложные взаимосвязи, исключения или аномалии, скачки в изменении функции, проявления дискретности, и которые весьма сложно обнаружить с помощью вычислительных процедур. В этих случаях графические методы предоставляют уникальные возможности многомерного аналитического исследования данных [9].

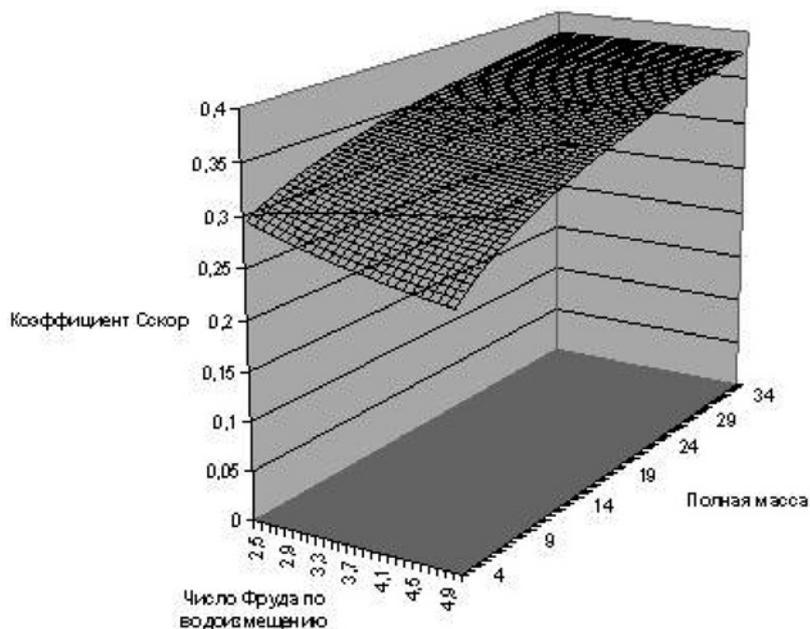


Рис. 2. Изменение коэффициента $C_{\text{скор}}$ при изменении полной массы и скорости

Для обеспечения объективности расчета его необходимо выполнять независимо для двух различных функций одного переменного. В качестве функций одного переменного могут быть выбраны зависимости значений $C_{\text{скор}}$ от скорости v и числа Фруда по водоизмещению Fr_v . Сгруппированные данные, затем необходимо аппроксимировать по степенному закону и построить исходные статистические зависимости $C_{\text{скор}}^*$ для значений полной массы D , значений скорости v и значений числа Фруда по водоизмещению Fr_v . После получения семейства графиков, отражающих зависимости значений суммарного пропульсивного качества $C_{\text{скор}}$ и от скорости v и числа Фруда по водоизмещению Fr_v , и уравнений аппроксимации по каждому из значений полной массы, по которым проводилась первичная группировка подмножеств, необходимо построить поверхности отражающие зависимости по всему множеству значений экспериментальных данных.

Для идентификации взаимосвязи между полной массой судна его мощностью и скоростью сформирована база данных, включающая множество значений этих характеристик для 274 глиссирующих судов из 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 уз) до 21 м/с (40 уз). Исходные данные по проектам этих судов были взяты из специализированных справочно-информационных изданий, а также информационных ресурсов Интернета. Подробнее техника выполнения данного расчета описана в [10].

Произведен анализ величины суммарного пропульсивного качества для скоростных судов типа глиссеров в виде коэффициента $C_{\text{скор}}$ и Адмиралтейского коэффициента C_a (рис. 1 и 2). Рассмотрен еще один вид уравнения «Мощности – Ходкости». 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

$$N = \frac{vD^{2/3}}{C_f} \quad (14)$$

Соответственно, суммарное пропульсивное качество в этой форме C_f имеет вид (рис. 3)

$$C_f = \frac{VD^{2/3}}{N} \quad (15)$$

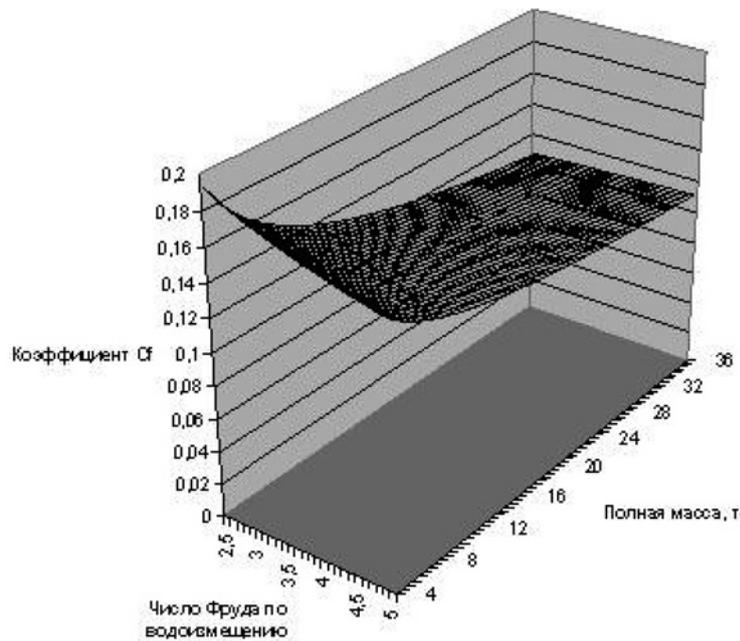


Рис. 3. Изменение коэффициента C_f в зависимости от полной массы и скорости для глиссеров

Для оценки работоспособности полученных результатов проектного анализа характеристик полной массы, мощности и скорости глиссирующих судов из композитов 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.

Проектные характеристики перечисленных судов взяты из открытых источников. Подробнее о выполненном расчете написано в [11]. Погрешность отклонения полученных величин мощности от проектных значений при этом находится в пределах 2,7 – 5,2 % (рис. 4).

Значения мощности построенных судов, рассчитанные с помощью различных по форме уравнений «Мощности – Ходкости» с изменяющимися показателями от 1 до 2/3 у полной массы D 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 величину рассчитанного численными методами суммарного пропульсивного качества в виде Адмиралтейского коэффициента C_a , а также коэффициентов $C_{\text{скор}}$ и C_f . Это обусловлено природой коэффициентов C_a , $C_{\text{скор}}$, C_f и $C_{\text{ин}}$, входящих в уравнения «Мощности – Ходкости». Они являются различными математическими выражениями одной и той же самостоятельной физической величины — суммарного пропульсивного качества гидродинамического комплекса скоростного судна. Чем более эффективными, с точки зрения математики, методами они будут определены при разработке математической модели уравнения «Мощности – Ходкости», тем точнее будет определена установленная мощность главных двигателей скоростного судна.

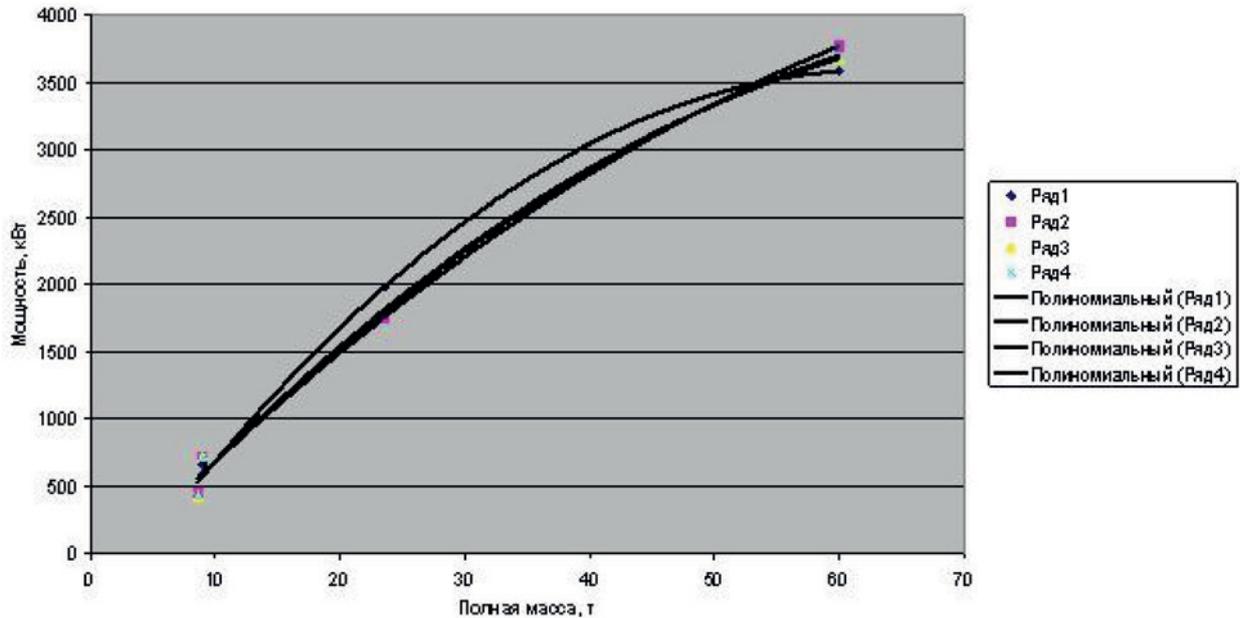


Рис. 4. Сравнение мощности построенных судов по данным разработчиков (1-й ряд) и мощности, рассчитанной при помощи различных коэффициентов (2- – 4-й ряды)

Для практического применения данного способа было разработано компьютерное приложение, которое позволяет определить установленную мощность главных двигателей судна, достаточную для обеспечения заданного скоростного режима, который задается относительной скоростью в виде числа Фруда по водоизмещению.

При этом значение полной массы задается вручную с округлением до 0,5 т, а относительная скорость в виде числа Фруда по водоизмещению в интервале $Fr_v = 2,5 - 5$ задается с точностью 0,1.

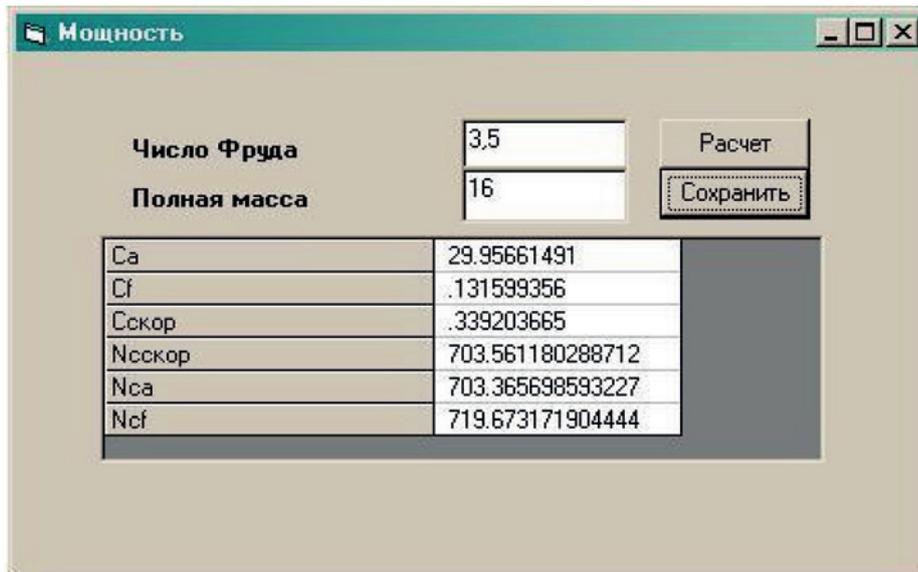


Рис. 5. Вид интерфейса компьютерного приложения

Компьютерное приложение разработано с учетом следующих условий:

- обеспечение возможности задавать параметры расчетов через интерфейс;
- реализация описанного алгоритма расчетов;
- обеспечение функционала сохранения результата с возможностью последующей печати.

Помимо формализованных требований, имеются не формализованные, но известные ограничения:

– обязательная работа с использованием OS Windows XP SP3 без установленных обновлений и dotNet;

– сохранение минимального размера дистрибутива, для обеспечения возможности передачи через электронную почту и другие «узкие» каналы.

Вследствие ограничений, накладываемых при постановке задачи, а так же относительной простоты алгоритмов расчетов в качестве среды разработки был выбран Visual Basic 6. В качестве первого шага была разработана программа-макет, реализующая один из алгоритмов расчета. Основной задачей при этом было согласование внешнего вида программы и скорости ее работы. Для представления результатов в программе была использована хорошо себя зарекомендовавшая grid-форма. В данном случае это был наиболее верный подход, который позволяет хорошо структурировать расчетные данные при выводе на экран, а в дальнейшем дает инструмент для их последующей обработки. Для сохранения данных был выбран формат html, что позволяет гарантировать работу программы без установки дополнительного программного обеспечения на компьютере проектанта (Браузер входит в состав OS). Кроме того, это гарантирует одинаковость печатных форм отчетов.

Программа-шаблон прошла процедуры тестирования, и после получения положительной обратной связи было продолжена разработка всего комплекта приложений. При реализации приложения по расчету мощности было определено требование в виде получения данных из MS Excel-файлов. В связи с тем, что необходимо было сохранить возможность изменять данные на стороне проектанта, при разработке данной программы пришлось пожертвовать возможностью работы данного приложения без дополнительного ПО на компьютере. Для использования данного приложения необходима установка на компьютере проектанта комплекта MS Office.

Число Фруда	3,5
Полная масса	16
C_a	29.95661491
C_f	.131599356
C_c	.339203665
N_{C_c}	703.561180288712
N_{C_a}	703.365698593227
N_{C_f}	719.673171904444

Рис. 6. Форма отчета компьютерного приложения

Вид интерфейса компьютерного приложения, позволяющего производить расчет установленной мощности, приведен на рис. 5. В приложении реализована возможность проверки результатов, полученных при помощи обработки баз данных, с помощью одновременного расчета мощности по всем трем коэффициентам. Данные, полученные расчетом, отражаются в соседних строках друг над другом. Отклонение значений мощности, определенных с помощью различных коэффициентов, не превышает 2 – 5 %. Сохраненные данные оформляются в виде отчета и могут быть распечатаны. Форма отчета представлена на рис. 6.

Использование описанного компьютерного приложения позволяет проектанту по заданным значениям полной массы судна и его относительной скорости в виде числа Фруда по водоизме-

щению получать характеристики установленной мощности скоростного глиссирующего судна из композитов или целого семейства судов такого типа в течение нескольких секунд. Это компьютерное приложение дает возможность разработчику реализовать вариативную модель проектирования разъездного судна из композитов, опирающуюся на использование параметрических методов и существенно упрощающую оптимизацию проектируемого судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поздюнин В. Л. Теория проектирования судов: в 2 ч. / В. Л. Поздюнин. — Л.: Изд-во ЛКИ, 1938. — Ч. 1.
2. Егоров И. Т. Ходкость и мореходность глиссирующих судов / И. Т. Егоров, М. М. Буньков, Ю. М. Садовников. — Л.: Судостроение, 1978. — 169 с.
3. Savitsky D. Hydrodynamic Design of Planing Hulls / D. Savitsky // Marine Technology. — 1964. — Vol. 1.
4. Nazarov A. On Application of Parametric Method for Design of Planing Craft / A. Nazarov // 3rd Chesapeake Power Boat Symposium. — USA, 2012. — P.102.
5. Ваганов А. М. Проектирование скоростных судов / А. М. Ваганов. — Л.: Судостроение, 1978. — 156 с.
6. Колмогоров А. Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозиция функций меньшего числа переменных / А. Н. Колмогоров // Доклады Академии наук СССР. — 1956. — Т. 108. — С. 179–182.
7. Арнольд В. И. О функциях трех переменных / В. И. Арнольд // Доклады Академии наук СССР. — 1957. — Т. 114. — № 4. — С. 679–681.
8. Колмогоров А. Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения / А. Н. Колмогоров // Доклады Академии наук СССР. — 1957. — Т. 114. — С. 953–956.
9. Лоран П.-Ж. Аппроксимация и оптимизация / П.-Ж. Лоран. — М.: Мир, 1975. — 498 с.
10. 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 транспорта. — 2010. — № 3. — С. 53–59.
11. Францев М. Э. Проектный анализ различных форм уравнения «Мощности – Ходкости» при разработке проекта скоростного судна из композитов / М. Э. Францев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2012. — № 1. — С. 220–224.

THE MODE OF DETERMINE OF THE TOTAL PROPULSIVE QUALITY OF HYDRODYNAMIC COMPLEX IN THE PROJECT OF THE PLANING CRAFT FROM COMPOSITES

The article discusses the mode of determine of the total propulsive quality of hydrodynamic complex of the planing craft from composites which uses numerical methods. The equation of power-propulsion is one of the most important equations of rational logical-mathematical model to optimize the characteristics of the vessel. Regression analysis calculated changes in the value of the total propulsive quality of planing crafts for different forms of the equations of power, propulsion, including formula Admiralty coefficients. To evaluate the efficiency of the results of the project analysis of the characteristics of the total mass, power and speed planing crafts made of composite test calculates the performance of the power at a given speed. The calculation is performed for a number of well-known high-speed planing crafts of domestic buildings, were not part of the database being processed with a minimum error. The computer application allows you to implement the method of calculating the total propulsive quality for planing crafts from composites. This computer application allows the developer to implement alternative models of designing a traveling ship from composites, based on the use of parametric methods, and greatly simplifies the optimization of projected vessel.

Keywords: planing crafts from composites, total propulsive quality, numerical methods, computer application.

REFERENCES

1. Pozdjunin, V. L. *Teorija projektirovanija sudov. Ch. 1.* L.: Izd-vo «LKI», 1938.

2. Egorov, I. T., M. M. Bunkov, and Ju. M. Sadovnikov. *Hodkost i morehodnost glissirujushhih sudov*. L.: Sudostroenie, 1978.
3. Savitsky, D. "Hydrodynamic Design of Planing Hulls." *Marine Technology* 1 (1964).
4. Nazarov, A. "On Application of Parametric Method for Design of Planing Craft." *3rd Chesapeake Power Boat Symposium*. USA, 2012: 102.
5. Vaganov, A. M. *Proektirovanie skorostnyh sudov*. L.: Sudostroenie, 1978.
6. Kolmogorov, A. N. "O predstavlenii nepreryvnyh funkcij neskol'kih peremennyh superpozicijami funkcij men'shego chisla peremennyh." *Doklady Akademii nauk SSSR* 108 (1956): 179-182.
7. Arnold, V. I. "O funkcijah treh peremennyh." *Doklady Akademii nauk SSSR* 114.4 (1957): 679-681.
8. Kolmogorov, A. N. "O predstavlenii nepreryvnyh funkcij neskol'kih peremennyh v vide superpozicij nepreryvnyh funkcij odnogo peremennogo i slozhenija." *Doklady Akademii nauk SSSR* 114 (1957): 953-956.
9. Loran, P.-Zh. *Approksimacija i optimizacija*. M.: Mir, 1975.
10. Fratsev, M. Je. "Project study of optimum combinations of characteristics of weight, capacity and speed for high-speed ships from composites with analysis methods of databases." *Science and Technology in Transport* 3 (2010): 53-59.
11. Frantsev, M. Je. "The project's analysis of different forms of the equation, «power-propulsion» during the drafting of high-speed vessel from composites." *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* 1 (2012): 220-224.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Францев Михаил Эрнстович —
 кандидат технических наук.
 Инжиниринговая компания «Нептун-Судомонтаж»
 gepard629@yandex.ru
 Францев Илья Михайлович — инженер.
 Инжиниринговая компания «Нептун-Судомонтаж»
 ilya.frantsev@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Frantsev Michail —
 Candidate of Engineering.
 JSC Neptun-Sudomontazh
 gepard629@yandex.ru
 Frantsev Ilya — engineer.
 JSC Neptun-Sudomontazh
 ilya.frantsev@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11 сентября 2015 г.

УДК 620.197:629.12(4)

И. И. Рублёв

**РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ,
 ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ
 УСТОЙЧИВОСТИ КОРПУСОВ МОРСКИХ СУДОВ**

Разработана экологически безопасная рецептура защитного покрытия металлических корпусов морских судов, предназначенная для снижения скорости коррозии. Предложенное техническое решение позволяет, с одной стороны, повысить срок действия материала корпусов судов, а с другой — снизить интенсивность загрязнения морской среды соединениями тяжёлых металлов. Последнее отвечает требованиям судоходных морских регистров ведущих морских держав в части исключения соединений тяжёлых металлов из композиций защитных наполнителей и лакокрасочных покрытий. В качестве объекта исследования выбрана углеродистая прокатная листовая сталь марки СТ-20. Покрытие стальных образцов осуществлялось стандартными и экспериментальными наполнителями. Исследования препарированных образцов осуществлялись на воздухе, в морской среде длительное время, при различных температурах, рН-средах и относительной влажности атмосферного воздуха. Приняты следующие методы исследования: определение скорости коррозии стальных образцов — весовой метод, поверхность образцов исследовалась с помощью микроскопа, рН-метрия отработанной морской среды. Одним из наиболее сложных вопросов при разработке композиций наполнителей был вопрос измельчения компонентов защитного наполнителя с определённой дисперсностью. Предложен метод объемного взрыва для разрушения исходных материалов до пылеобразных частичек заданной дисперсности.