



УДК 656.62; 629.122

Платов Александр Юрьевич, доцент, д.т.н., зав. каф. Прикладной информатики и статистики ФГБОУ ВО «ННГАСУ»

Васильева Оксана Юрьевна, аспирант каф. Управления транспортом ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО «ННГАСУ»)

603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д.65

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЁТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ ГРУЗОВЫХ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Ключевые слова: речные суда, сопротивление воды, эксплуатационно-экономическое обоснование, расчеты ходкости, остаточное сопротивление, регрессионная модель, метод наименьших квадратов, аппроксимация.

Аннотация. В статье рассмотрены две полиномиальные модели для аппроксимации коэффициента остаточного сопротивления. Проиллюстрированы результаты применения таких моделей. Показано, что при сугубо формальной аппроксимации коэффициента остаточного сопротивления, аппроксимирующий полином имеет неадекватное поведение. Поэтому можно говорить о неприменимости данного подхода в задачах, где требуется варьирование конструктивных параметров судов.

Для определения ходовых качеств при эксплуатационно-техническом обосновании новых судов большую роль играет вычисление сопротивления воды движению судна. Существующие в настоящее время методы прямого расчёта остаточного сопротивления в общем случае имеют большие погрешности.

В качестве одного из вариантов решения проблемы погрешности предлагалось использование полиномиальных регрессионных моделей [1; 2].

Например, в работе Б.М. Сахновского [1] в результате многофакторного анализа была предложена следующая полиномиальная формула для аппроксимации коэффициента остаточного сопротивления на скоростях $F\Gamma \leq 0,14$:

$$c_R = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2x_3 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_1^2 + b_7x_2^2x_3^2x_5^2 + b_8x_3^2x_6^2 + b_9x_4^2 + b_{10}x_5^2 + b_{11}x_6 + b_{12}x_6^2 + b_{13}x_3x_4 + b_{14}x_2^2x_6^2 \quad (1)$$

где $x_1 = L/B$; $x_2 = B/T$; $x_3 = \delta$; $x_4 = F\Gamma$; $x_5 = X_c$; $x_6 = l$.

Здесь L – длина судна, м; B – ширина судна, м; δ – коэффициент общей полноты; $l = L/V^{1/3}$ – относительная длина судна, где V – водоизмещение судна, м³; $X_c = x_c/L$ – относительная координата центра величины водоизмещения; $Fr = v/\sqrt{gL}$ – число Фруда, v – скорость, м/с, g – ускорение свободного падения.

Форма другой полиномиальной модели в работе Г.Н. Сиротиной [2] была подобрана вручную, чтобы обеспечить наилучшую аппроксимацию опытных данных. Данная модель имеет вид:

$$c_R = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_1^2 + b_6x_1x_2 + b_7x_1x_3 + b_8x_1x_4 + b_9x_2^2 + b_{10}x_2x_3 + b_{11}x_2x_4 + b_{12}x_3^2 + b_{13}x_3x_4 + b_{14}x_4^2 \quad (2)$$

где $x_1 = Fr_V$; $x_2 = L/B - 7,88$; $x_3 = 2 \cdot (B/T - 4,21)$; $x_4 = 10 \cdot (\delta - 0,819)$.

Здесь $Fr_V = \left(v / \sqrt{g^3 \sqrt{V}} \right)$ – число Фруда по водоизмещению.

Чтобы оценить применимость таких моделей для задач обоснования новых судов, было изучено поведение данных моделей при варьировании конструктивных параметров судна. Регрессии строились на основе данных испытаний 9-ти моделей судов, приведённых в [3] с помощью метода наименьших квадратов следующим образом.

Пусть по результатам модельных испытаний имеются значения коэффициента c_R для ряда судов и ряда (для каждого судна своего) значений числа Фруда. Общее количество всех значений c_R обозначим за M .

Коэффициенты полиномов определяются при минимизации суммы квадратов отклонений:

$$F = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (c_R(\vec{x}_i, \vec{b}) - c_{Ri})^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

где $1/M$ – множитель, добавленный для возможности сопоставления критерия минимизации при разном количестве испытаний; c_{Ri} – значение c_R по модельным испытаниям; \vec{x}_i – вектор безразмерных параметров, которые функционально зависят от параметров геометрического подобия судна и числа Фруда; \vec{b} – вектор искомых коэффициентов регрессионной зависимости.

Решение задачи оптимизации проводилось с помощью надстройки «Поиск решения» из пакета MS Office Excel. Целевая функция F для метода Г.Н. Сиротиной оказалась равной 0,006, а для метода Б.М. Сахновского – 0,017.

На рис. 1 приведены графики коэффициента остаточного сопротивления, рассчитанные с помощью обоих методов варьированием L/B при фиксированных $B/T = 4$ и $\delta = 0,851$. Графики были построены при значении скорости $Fr = 0,15$, которое является наиболее типичным для паспортной скорости речных судов.

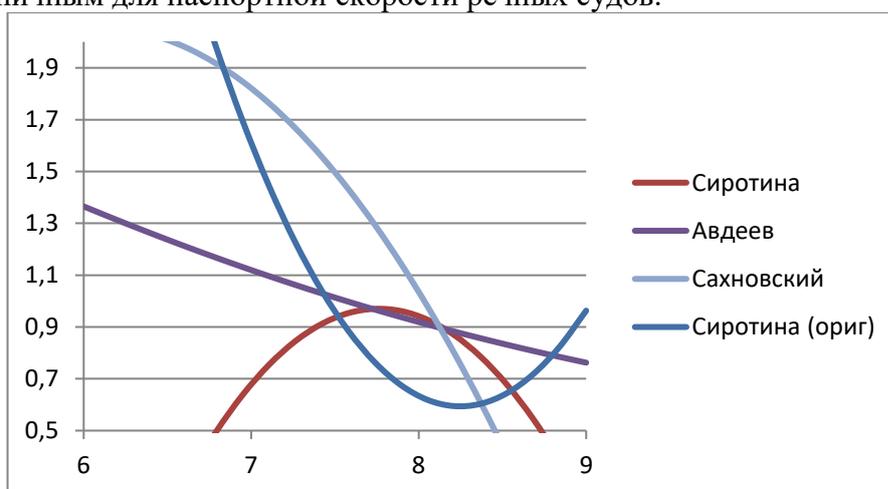


Рис. 1. Графики коэффициента остаточного сопротивления, полученные варьированием L/B при фиксированных $B/T = 4$ и $\delta = 0,851$

В качестве контрольного значения использовался график коэффициента остаточного сопротивления, рассчитанный с помощью метода пересчёта с прототипа Г.К. Авдеева [4].

Можно видеть, что три графика сходятся в точке $L/B = 8,18$, то есть в точке с параметрами одного из прототипов (проект 507) в наборе моделей. Это говорит о вполне приемлемой точности аппроксимации кривой коэффициента остаточного сопротивления для судов с геометрическими параметрами, имеющимися в наборе моделей. Однако вне значений этих параметров обе полиномиальные зависимости демонстрируют нефизичное поведение.

Для сравнения на рисунке 1 также приведён график метода Г.Н. Сиротиной с оригинальными коэффициентами из [2]. В данном случае не так важно, что этот метод даёт сильно заниженные результаты - примечательно, что его поведение сменилось на прямо противоположное и также нефизичное.

Аналогичную картину можно видеть на рисунке 2, если варьировать отношение B/T , фиксируя остальную «геометрию» судна, то есть при $L/B = 8,18$ и $\delta = 0,851$.

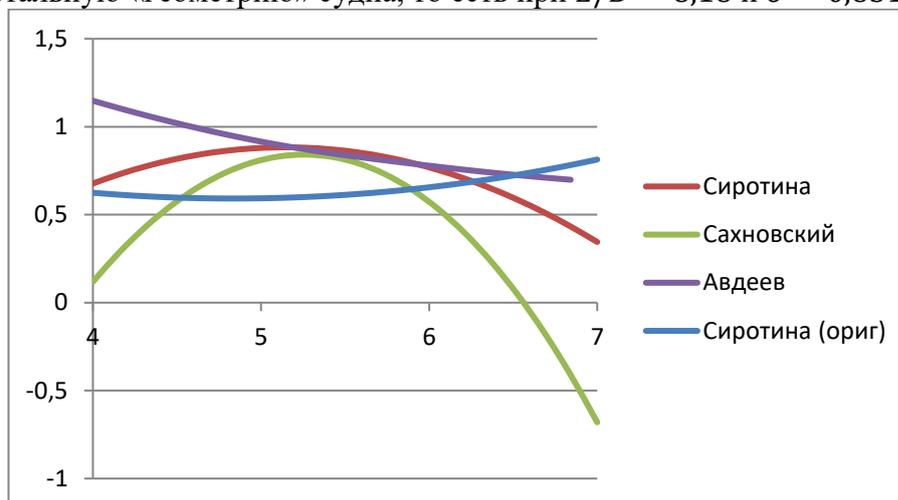


Рис. 2. Графики коэффициента остаточного сопротивления, полученные варьированием B/T при фиксированных $L/B = 8,18$ и $\delta = 0,851$

Построение полиномиальных моделей на основе другого набора данных модельных испытаний, приведённых в [1], даёт такую же картину нефизичного поведения.

Из этого следует вывод, что использовать полиномиальные модели для вычисления сопротивления в задачах, где требуется варьирование конструктивных параметров судов, нельзя из-за непредсказуемого нефизичного поведения этих моделей.

Увеличение числа коэффициентов полиномиальной модели, призванное повысить точность аппроксимации, только ухудшает контроль поведения регрессии. Например, в работе 1967 г. [5] предлагается строить модель с 85-ю коэффициентами на основе 13-ти безразмерных параметров, что делает её корректировку в случае нефизичного поведения малореальной.

Список литературы:

- [1] Сахновский Б.М. Разработка методологии обоснования проектных характеристик судов смешанного и внутреннего плавания с учетом доминирующих факторов эксплуатации: диссертация доктора технических наук: 05.08.03. – СПб, 2006. – 319 с.
- [2] Сиротина Г.Н. Об определении остаточного сопротивления грузовых судов внутреннего и смешанного плавания при расчете энерговооруженности судна и оптимизации его элементов // Труды ГИИВТа. - Вып.192. - 1982. - С. 135-148/
- [3] Лесюков В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. Учебник для вузов водн. трансп. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. - 303 с.
- [4] Басин А.М., Анфимов В.Н. Гидродинамика судна. Л.: Речной транспорт, 1961. - 685 с.
- [5] Traung J.O. New Possibilities for Improvement in the Design of Fishing Vessels / J.O. Traung, D.J. Doust, J.G. Hayes // Fishing Boats of the World. – 1967. - 3, P. 139.

THE USE OF REGRESSION FOR CALCULATING OF THE INLINE SHIPS RESISTANCE IN FEASIBILITY STUDY

Alexander Y. Platov, Oksana Y. Vasileva

Key words: inland ships, water resistance, feasibility study, propulsion calculations, residual resistance, regression model, least squares method, approximation.

The article discusses two polynomial models for approximating the residual resistance coefficient. The results of the application of such models are illustrated. It is shown that for a purely formal approximation of the residual resistance coefficient, the approximating polynomial has inadequate behavior. Therefore, we can talk about the inapplicability of this approach in tasks where it is required to vary the design parameters of ships.