

УДК 656.61.052.484

И.А. Бурмака, Н.П. Худенко

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПОВОРОТЛИВОСТИ СУДНА**

*В работе рассмотрена обработка экспериментальных данных поворотливости судна с использованием регрессионного анализа. Получены аппроксимирующие функции для аналитического представления приращения курса от времени.*

**Ключевые слова:** регрессионный анализ, поворотливость судна, приращения курса от времени.

*В роботі розглянута обробка експериментальних даних поворотності судна з використанням регресивного аналізу. Отримані апроксимуючі функції для аналітичного представлення приращення курсу від часу.*

**Ключові слова:** регресивний аналіз, поворотливість судна, приращення курсу від часу.

*The work considers the analysis of the experimental data of the vessel's maneuverability with the use regression analysis. Obtained approximating functions for the analytic representation of the course increase with time.*

**Keywords:** regression analysis, vessel's maneuverability, course increase with time.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.** Безаварийное расхождение судов является одной из наиболее важных задач судовождения. Основным маневром расхождения в соответствии с хорошей морской практикой является изменение курса судном уступающим дорогу.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Вопросы учета динамики судна при маневрировании были рассмотрены во многих работах, в частности [1-5].

В работе [1] в кинематические уравнения движения объекта предлагается вводить отрицательное время, а в качестве начальных условий выбирается желаемое окончательное положение объекта. Решение дает момент времени начала выполнения и параметры маневра.

Проблемы учета маневренных характеристик освещается в работах [2, 5].

В работе [3] рассмотрен маневр последнего момента.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Обработка экспериментальных данных поворотливости судна возможна различными статистическими методами. Однако, мера отклонения полученных приближений от экспериментальных данных является залогом правильного расчета маневра отворота и как результат расхождение судов на заранее заданном безопасном расстоянии.

Целью данной статьи является обработка экспериментальных данных поворотливости судна с использованием метода регрессионного анализа.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Для получения аналитического представления экспериментальной информации приращения курса от времени была использована система MathCAD (демонстрационная версия) [6]. Система MathCAD позволяет проводить линейную интерполяцию и сплайн-интерполяцию набора экспериментальных точек. Простейшим вариантом интерполяции является линейная интерполяция. Интерполяция дает возможность вычислить значения неизвестной функции в промежутках между экспериментальными точками. Для вычисления значений функции вне области, ограниченной этими точками используют методы экстраполяции. Результаты экспериментов всегда содержат некоторую погрешность. Причем часто погрешность оказывается величиной одного порядка с измеряемой величиной.

Гораздо более перспективным представляется регрессионный анализ, который позволяет осуществить подгон параметров той или иной функции для наилучшей аппроксимации экспериментальных данных. Если аппроксимирующая функция выбрана удачно, то значения ее параметров могут быть источником разнообразной информации об измеряемой величине.

Система MathCAD содержит большое количество встроенных возможностей для проведения регрессионного анализа с использованием аппроксимирующих функций.

Линейная регрессия является наиболее простой, но, тем не менее, используется чаще любого вида регрессии.

Были проведены натурные эксперименты. Судно контейнеровоз, длиной 216 метров, шириной 26,8 метра и высотой борта 21,8 метра. Водоизмещение в балласте 17130 тонн, в полном грузу 23660 тонн со средней осадкой 9,40 метра. Силовая установка состоит из двух дизелей типа MAN|B&W 9L 58|64 мощностью 12510 кВт каждый. Винт диаметром 7000 мм и весом 45000 кг. Эффективная площадь руля 25,6 кв. м. Максимальная скорость в грузу при работе обоих двигателей 27 узлов.

При следовании судна в балласте с неизменными курсом и скоростью производилась перекладка руля на 5 градусов правого борта. С момента начала кладки руля через интервалы времени равные примерно

5 секундам производилась регистрация моментов времени  $t_i$  и соответствующих им значений приращения курса судна  $\Delta K_i$ . При этом указанный маневр производился по несколько раз в максимально похожих условиях: при состоянии моря 2-4 балла, ветра 2-3 балла и при отсутствии течения. В таблице 1 приведены данные по условиям натуральных наблюдений.

Таблица 1

Осредненные данные по маневру

$t_i$	5	10	15	20	25	30	35	40	44
$\Delta K_i$	0,5	2,0	4,2	7,5	11,2	15,5	19,8	23,8	28,0

Проанализируем полученные экспериментальные данные:

$Y_i$  – приращения курса;

$T_i$  – время.

1. Для определения линейной зависимости найдем коэффициент корреляции:  $k_{TY} = 0,991$ , так как  $|k_{TY}| \approx 1$ , то зависимость можно считать линейной. Уравнение прямой регрессии  $y = kt + b$ ,

где  $k = 0,724$   $b = -5,516$ ;

$$y = 0,724t - 5,516.$$

Проанализируем наиболее удаленную точку и меру отклонения по формуле  $D = \sum_i [Y_i - y(X_i)]^2$ , и получим  $D = 14,5$ . По полученным результатам построен график (рис. 1).

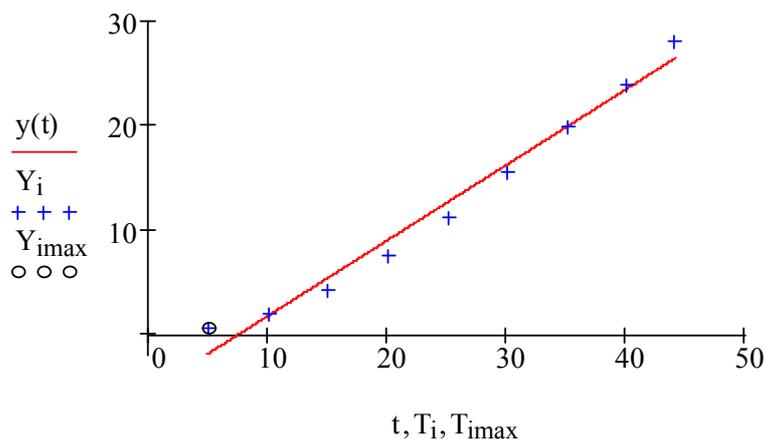


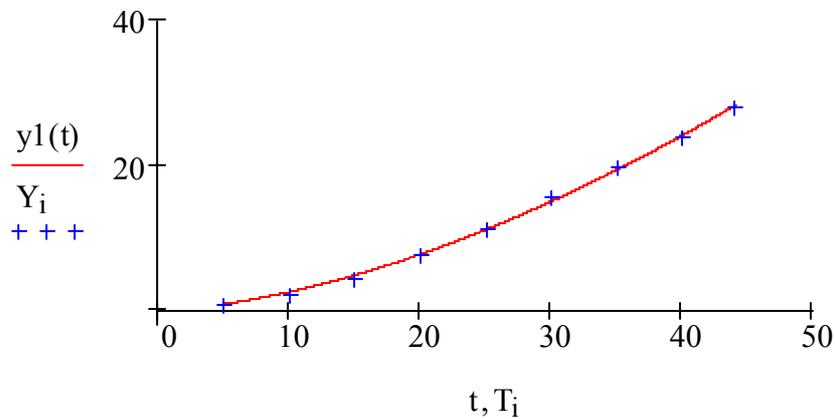
Рис. 1. Представление данных линейной зависимостью

2. Произведено нелинейное сглаживание

$$F(t, a) := \begin{pmatrix} a_0 \cdot t^{a_1} \\ t^{a_1} \\ a_0 \cdot t^{a_1} \cdot \ln(t) \end{pmatrix}$$

при этом  $a = \begin{pmatrix} 0,05 \\ 1,66 \end{pmatrix}$ .

Мера отклонения при нелинейном сглаживании  $D = 1,24$ . Получена зависимость  $y1(t) = a_0 \cdot t^{a_1}$ . По полученным результатам построен график (рис. 2.)



*Рис. 2. Представление данных, используя метод нелинейного сглаживания*

Анализируя полученное графическое представление, очевидно, что мера отклонения, существенно меньше, чем при применении линейной зависимости.

3. Проанализируем данные с использованием метода наименьших квадратов, получаем аппроксимирующую функцию  $y3(t)$ , график которой представлен на рис. 3

$y3(t) = c_0 \cdot t^{c_1}$ , где  $c = \begin{pmatrix} 0,03 \\ 1,85 \end{pmatrix}$ . Мера отклонения  $D = 8,3$ .

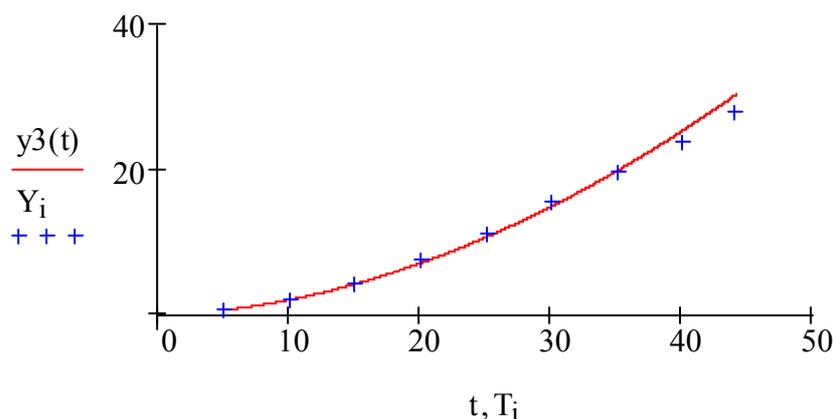


Рис. 3. Представление данных, используя метод наименьших квадратов

**Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.** Анализируя полученные аппроксимирующие функции, для получения аналитического представления приращения курса от времени, очевидно, что мера отклонения всех экспериментальных значений от построенной кривой при прямолинейном сглаживании является высокой.

Используя метод наименьших квадратов, были построены кривые с мерой отклонения значительно меньшей, чем показывает метод прямолинейного сглаживания. При применении нелинейного сглаживания, получили минимальную меру отклонения значений приращения курса от времени.

Таким образом, зависимость приращения курса от времени описывается следующим образом:

$$y1(t) = a_0 \cdot t^{a_1}.$$

Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы штурманским составом для расчета маневра поворота от опасной цели.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мальцев А.С. Инверсный метод планирования траектории движения объектов управления / А.С. Мальцев // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – Вып. 13. – Одесса: ИздатИнформ, 2007. – С. 124-130.
2. Мальцев А.С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / А.С. Мальцев // Судостроение и ремонт. – 1989. – № 5. – С. 29-31.

3. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении / А.С. Мальцев. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
4. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тютиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
5. Бурмака И.А. Учет динамики судна при выборе маневра расхождения / И.А. Бурмака // Судовождение: Сб. научн. трудов ОГМА. – Вып. 4. – Одеса: Латстар, 2002. – С.32-36.
6. Макаров Е.Г. MathCAD 14 – конструктор программ [Текст]. – ЗАО: Новый диск, 2007. – 64 МГ.

Стаття надійшла до редакції 19.02.2014

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та устрій судна» Одеської національної морської академії **І.Ф. Давидов**