

Вильдяева Л.Н., Блиндарук А.А.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ СУДНА ПРИ ПОГРУЗКЕ И В УСЛОВИЯХ МОРЕПЛАВАНИЯ С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТОВ АППРОКСИМАЦИИ КРИВЫХ

*В статье рассматривается задача автоматизации расчета центра тяжести судна при погрузке и в условиях мореплавания с учетом коэффициентов аппроксимации кривых, которые входят для расчета метацентрической высоты судна.*

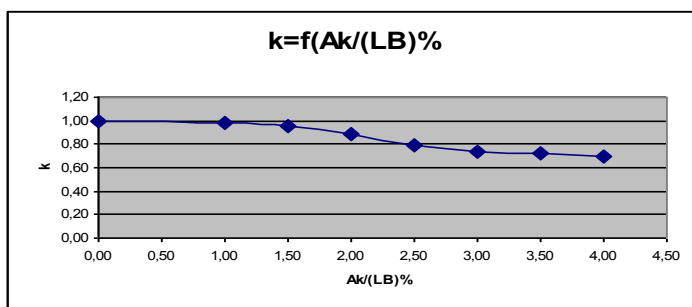
**Ключевые слова:** центр тяжести судна, математическая модель, аппроксимация, численные методы.

Для обеспечения безопасности эксплуатации судна после его загрузки и во время перемещения в морских условиях необходимо правильно и с достаточной точностью рассчитать метацентрическую высоту судна. Для этого необходимо построить диаграммы статической и динамической остойчивости. После распределения груза по танкам, определения осадки судна и объемного водоизмещения необходимо определить гидростатические элементы судна с помощью таблиц (информация по остойчивости и прочности корпуса для капитана) по аппроксимирующим кривым (как правило, по параболам 2<sup>го</sup> порядка). Если аппроксимирующая кривая содержит горизонтальные участки, необходимо аппроксимировать прямыми, запрограммированными для каждого участка. По водоизмещению из пантокарены судна (информация по остойчивости прочности корпуса для капитана) строится диаграмма статической и динамической остойчивости. Диаграмма статической остойчивости отражает колебательный процесс судна при погрузке и, по сути, является синусоидой, которую необходимо аппроксимировать. Определение коэффициентов аппроксимации синусоиды рассмотрено в предыдущей статье («Водный транспорт», выпуск №3 (18), стр. 198-202).

Рассмотрим автоматизированный расчет центра тяжести судна на конкретном примере танкера «СПЛИТ». По окончании загрузки судовых запасов, груза и заполнения соответствующих танков осадка судна составила  $T = 9,84$  м. По таблицам «Гидростатические элементы танкера «СПЛИТ» для плотности воды  $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$  (из информации по остойчивости и прочности корпуса для капитана) определяем все параметры судна, заложенные в таблицу, применяя аппроксимацию методом наименьших квадратов (функция тренда в EXCEL). Для постоения кривых статической и динамической остойчивости судна необходимо определить V-объемное водоизмещение:  $V = f(T) = 41,231 \cdot T^2 + 2512,4 \cdot T + 944,57 = 29658,80 \text{ м}^3$ ;  $\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения;  $\delta = f(T) = 0,0002 \cdot T^2 + 0,0073 \cdot T + 0,6717 = 0,76$ .

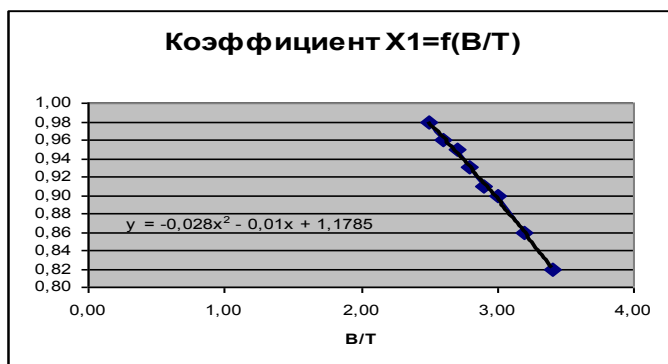
Амплитуда качки  $\theta_{2r}$  для каждого судна определяется по правилам Регистра. Рассмотрим конкретный случай определения  $\theta_{2r}$  на примере танкера «СПЛИТ»:  $\theta_{2r} = k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot Y$ , где входящие в формулу составляющие берутся из таблиц по правилам Регистра и, соответственно, подлежат аппроксимации. Коэффициент  $k = f(A_k / (L \cdot B))$  по правилам Регистра определяется по таблице. График функции имеет горизонтальные участки, поэтому в таком случае уместна линейная интерполяция для каждого участка кривой.  $A_k = 64 \text{ м}^2$  – площадь скуловых килей, L – длина судна, B – ширина судна.

$A_k/(LB),\%$	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
k	1	0.98	0.95	0.88	0.79	0.74	0.72	0.70



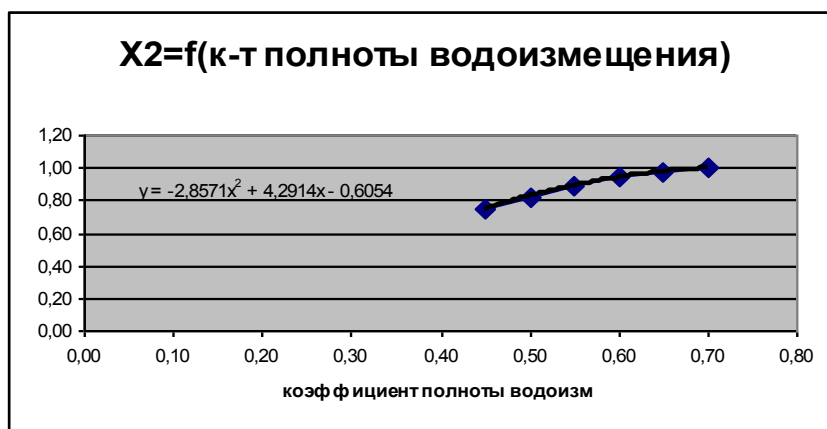
$X_1$  – безразмерный множитель, определяется из соотношения  $V/T$ ,  $T$  – осадка судна (м)

$V/T$	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.4
$X_1$	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.90	0.86	0.82



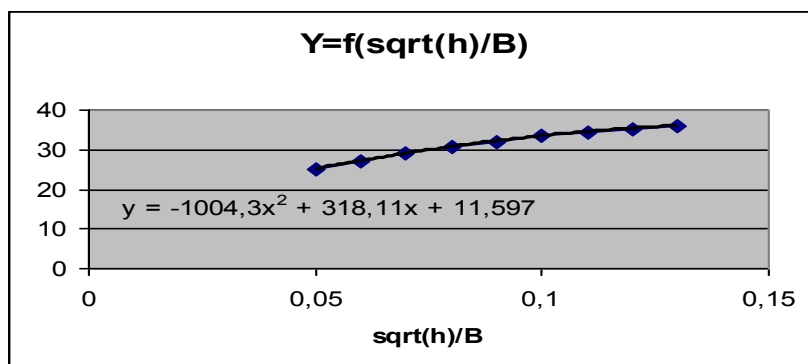
При аппроксимации параболой 2<sup>го</sup> порядка коэффициенты аппроксимации  $X_1 = f(V/T)$ :  
 $A = -0,028$ ;  $b = -0,01$ ;  $c = 1,1785$ .  $X_2$  – безразмерный множитель, определяется по таблице из коэффициента общей полноты,  $\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения;

$\delta$	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
$X_2$	0.75	0.82	0.89	0.95	0.97	1.00



При аппроксимации параболой 2<sup>го</sup> порядка коэффициенты аппроксимации  $X_2=f(\delta)$ :  
 $A = -2,8571$ ;  $b = 4,2914$ ;  $c = -0,6054$ .

$Y$  – множитель, который выбирается в зависимости от отношения корня квадратного из начальной метацентрической высоты к ширине судна.



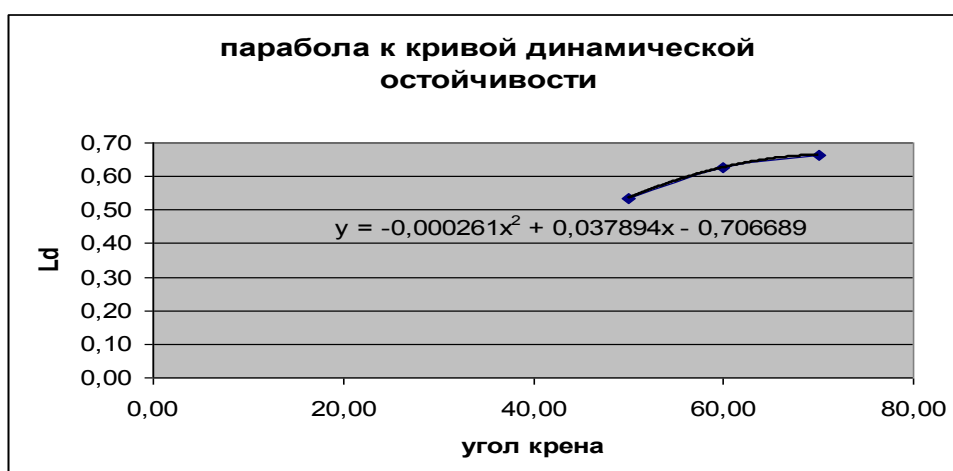
При аппроксимации параболой 2<sup>го</sup> порядка коэффициенты аппроксимации  $Y = f(\sqrt{h}/B)$ :  
 $a = -1004,3$ ;  $b = 318,11$ ;  $c = 11,597$ .

По вышенайденному водоизмещению  $V$  из пантокарены танкера типа «СПЛИТ» (из информации по остойчивости и прочности корпуса для капитана) и линейному коэффициенту интерполяции находим плечи кривой статической остойчивости и динамической остойчивости.

Плечи кривой статической остойчивости и динамической остойчивости:

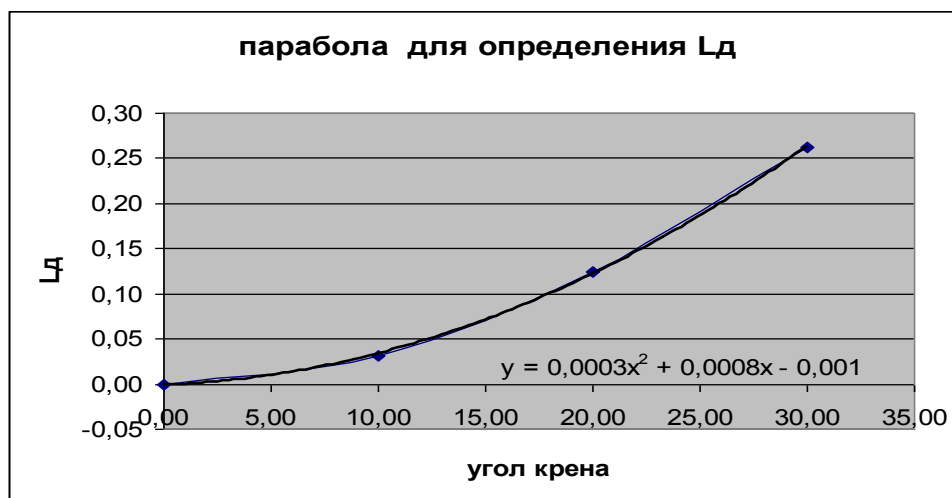
Угол крена $\theta$	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00
$\ell$ стат.	0,00	0,35	0,73	0,85	0,80	0,67	0,37	0,07
$\ell$ динам.	0,00	0,03	0,12	0,26	0,41	0,53	0,63	0,66

Опрокидывающий момент определяется по кривой динамической остойчивости. Для этого необходимо провести касательную к кривой динамической остойчивости, которая задана дискретно. Чтобы определить коэффициенты касательной, нужно через последние три точки кривой динамической остойчивости провести параболу 2<sup>го</sup> порядка, т.е. определить коэффициенты параболы. В данном случае они будут составлять:  $a = -0,000261$ ;  $b = 0,037894$ ;  $c = -0,706689$ .



Касательная к кривой динамической остойчивости проводится из точки, координаты которой соответствуют: абсцисса  $\theta_{2r}$  – амплитуда качки ( $\theta_{2r} = k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot Y = 25,14^\circ$ ), ордината

(плечо допустимого момента)  $\ell_D$  по параболе, проведенной через первые точки кривой динамической устойчивости, коэффициенты которой составляют для данного случая  $a = 0,0003$ ;  $b = 0,0008$ ;  $c = -0,001$ , проведенной через первые точки кривой динамической устойчивости.  $\ell_D = 0,0003 * (\theta_{2r})^2 + 0,0008 * \theta_{2r} - 0,001 = 0,1685$ .



Начальная точка для проведения касательной к кривой динамической устойчивости составляет  $X_N = \theta_{2r} = 25,14$ ;  $Y_N = \ell_D = 0,1685$ . Коэффициенты параболы составляют:  $a = -0,000261$ ;  $b = 0,037894$ ;  $c = 0,706689$ . Необходимо найти коэффициенты  $k, D$  в уравнении касательной  $y = k \cdot x + D$ , проведенной из начальной точки  $X_N Y_N$  к диаграмме динамической устойчивости судна  $y = f(x)$ , которая представлена параболой, проведенной через три последние точки  $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ . Тогда угловым коэффициентом касательной  $k = 2 \cdot a \cdot x + b$ ;  $D = y_N - k \cdot x_N$ . В точке касания ординаты параболы и касательной равны, поэтому:  $k \cdot x + D = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ .

Получаем соответствующее уравнение:

$$(2 \cdot a \cdot x + b) \cdot x + y_N - (2 \cdot a \cdot x_N + b) \cdot x = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

Приведя подобные члены, получим квадратное уравнение относительно  $x$  точки касания.

$$a \cdot x^2 - (2 \cdot a \cdot x_N) \cdot x + (y_N - b \cdot x_N - c) = 0, \text{ приведенное квадратное уравнение}$$

имеет вид  $x^2 + p \cdot x + q = 0$ , где  $p = -2 \cdot x_N$ ;  $q = \frac{y_N - b \cdot x_N - c}{a}$ ;

$$x_1 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\left(\frac{p^2}{4} - q\right)}, \quad x_2 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\left(\frac{p^2}{4} - q\right)}$$

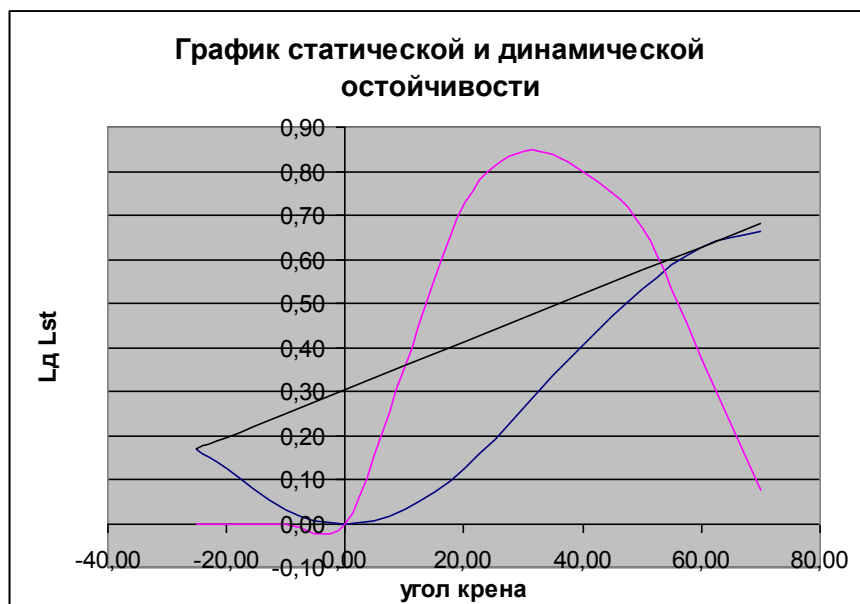
p =	50,27
q =	-7002,63
Точки касания	
(xk) 1	<b>62,24</b>
(xk) 2	-112,51 ( не подходит )

(xk)	$k = 2 \cdot a \cdot (xk) + b$	$D = y_N - k \cdot x_N$	$y = k \cdot (xk) + D$	$y = a \cdot (xk)^2 + b \cdot (xk) + c$
62,24	0,00541	0,30433	<b>0,64</b>	<b>0,64</b>

Плечо опрокидывающего момента  $Lopr = y = k \cdot x + D = 0,00541 \cdot 57,3 + 0,30433 = 0,6141$ .

Критерий устойчивости судна  $k = \frac{Lopr}{LD} = \frac{(0,6141 - 0,1685)}{0,1685} = 2,64 > 1$ .

Судно удовлетворяет критерию устойчивости.



**Выводы.** Рассчитав метацентрическую высоту судна с достаточно высокой точностью, имеем возможность гарантировать безопасность эксплуатации судна, а также значительно (до нескольких минут) сократить время расчета. Если использовать метод аппроксимации кривой статической остойчивости синусоидой (поскольку погрузка судна представляет собой колебательный процесс), можно разработать общий метод расчета метацентрической высоты для любых типов судов. Имеется возможность учитывать влияния волны, математическая модель которой уже разработана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пирумов У.Г. Численные методы. – М.: Дрофа, 2006.
2. В.Ю. Гидаспов, И.Э. Иванов, Д.Л. Ревизников, В.Ю. Стрельцов, В.Ф. Формалев. Под редакцией У.Г. Пирумова. Численные методы. Сборник задач. – М.: Дрофа, 2007.
3. Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы. – М.: Физматлит, 2004.
4. И.Б. Петров, А.И. Лобанов. Лекции по вычислительной математике. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.
5. А.А. Самарский, А.В. Гулин. Численные методы. – М.: Наука, 1989.
6. Вержбицкий В.М. Основы численных методов. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2002.
7. Методичні вказівки по виконанню курсової роботи з дисципліни «Управління морехідними якостями судна», Спеціальність 7.100301 Судноводіння. Завітаєв В.Л., Михайлов В.М. К.: КДАВТ, 2010. – 25с.
8. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений: Пер. с англ. /Дж. Ортега, У.Пул – М.: Наука, 1986. – 288с.
9. Численные методы / Е.А. Волков – М.: Наука, 1987. – 240 с.
10. Матричные вычисления и математическое обеспечение: Пер.с англ. / Дж.Райс – М.: Мир, 1984. – 190с.
11. Численные методы /А.А. Самарский, А.В. Гулин – М.: Наука, 1989. – 432с.

**Вільдяєва Л.М., Блиндарук А.О.**

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ЦЕНТРУ ТЯЖІННЯ СУДНА ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ТА В УМОВАХ МОРЕПЛАВАННЯ З УРАХУВАННЯМ КОЕФІЦІЄНТІВ АПРОКСИМАЦІЇ КРИВИХ**

*В статті розглядається задача автоматизації визначення центру тяжіння судна в умовах навантаження та мореплавання з урахуванням коефіцієнтів апроксимації кривих, які входять до розрахунку метацентричної висоти судна.*

*Ключові слова: центр тяжіння судна, математична модель, апроксимація, чисельні методи.*

**Vil'dyaeva L., Blindaruk A.**

**AUTOMATED CALCULATION OF CENTRE OF GRAVITY OF SHIP AT LOADING AND IN THE CONDITIONS OF SEAGOING TAKING INTO ACCOUNT THE COEFFICIENTS OF APPROXIMATION OF CURVES**

*In the article the task of automation of calculation of centre of gravity of ship is examined at loading and in the conditions of seagoing taking into account the coefficients of approximation of curves which enter for the calculation of metacentric height of ship.*

*Keywords: centre of gravity of ship, mathematical models, approximation, numerical methods.*

УДК 005.6, 004.8, 004.6, 519.7, 681.3

**Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Ткаченко К.О.**

**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ  
НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ**

*В статті розглянуто питання моделювання складної економічної системи, якою є система підготовки фахівців. Запропоновано для використання модель, якою є мережа Петрі. Формалізований опис моделі дозволяє визначити стан системи, проаналізувати та спрогнозувати дії щодо її розвитку та вдосконалення, здійснити підтримку прийняття управлінських рішень.*

*Ключові слова: моделювання складних систем, система підготовки фахівців, мережа Петрі, управлінське рішення щодо розвитку та вдосконалення системи підготовки фахівців, стан системи, параметри моделі.*

**Постановка проблеми.** З метою розвитку та вдосконалення системи підготовки фахівців (СПФ) на сьогоднішній день в ній активно використовується механізм прийняття управлінських рішень на основі попереднього аналізу та прогнозування відповідних дій. Але, більшість поглядів на вказану проблему пов'язана із практикою управлінської діяльності на підприємствах СПФ. Автори пропонують звести проблему прийняття управлінських рішень щодо розвитку і вдосконаленню СПФ до проблеми визначення шляхів (маршрутів) у