

УДК [656.61.052.1 : 527.6] : 629.5.072.1

Определение параметров силового воздействия нерегулярного волнения на корпус судна

В.В. Иванов

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. Статья посвящена изложению материалов исследования в области безопасности судовождения при плавании судна в условиях нерегулярного волнения. В частности, представлен алгоритм расчёта параметров силового воздействия на корпус судна нерегулярного волнения, который может быть использован в математическом моделировании при решении задач, связанных с разработкой безопасных способов управления судном при плавании в условиях нерегулярного волнения.

Abstract. The paper contains results of research in the field of safe navigation at irregular choppy sea. In particular, the algorithm of calculation of parameters of irregular choppy sea power influence on a vessel hull has been given. This algorithm can be used in mathematical modeling for solving tasks of working out safe methods of steering while sailing at irregular choppy sea.

Ключевые слова: нерегулярное волнение, судно, силовое воздействие
Key words: irregular choppy sea, vessel, power influence

1. Введение

Главной целью настоящей работы является аналитическое описание алгоритма расчёта силовых воздействий на судно в результате нерегулярного волнения. Эта задача связана с необходимостью компьютерного моделирования поведения, например, объекта швартовки (судна) при различных внешних воздействиях, среди которых одну из важнейших ролей играет воздействие нерегулярного волнения, которое и рассмотрено в данной статье.

2. Расчёт параметров силового воздействия нерегулярного волнения

Реальное морское волнение является нерегулярным, так как в совокупности представляет собой волны с различными значениями их геометрических параметров и частотных характеристик.

Будем считать, что при этом все усилия, образующиеся на корпусе судна при плавании на волнении, представляют собой стационарные случайные процессы в условиях заданной спектральной плотности волнения. Это может быть спектральная плотность амплитуды волны, высоты волны или угла волнового склона. Все эти спектральные плотности одинаковы, и для конкретности мы будем использовать спектральную плотность амплитуд волнения $S_{\zeta_w}(\omega_w)$ (ζ_w – амплитуда волновых ординат; ω_w – частота волнения). Поскольку все усилия линейно связаны с самим процессом волнения, то для нерегулярного волнения можно подсчитать среднее значение и дисперсию любого усилия по известным интегральным формулам (Хаскинд, 1959; 1973; Войткунский, 1985а):

$$\begin{aligned} \bar{X}_w &= \int_0^{\infty} \frac{X_w}{\zeta_w^2} S_{\zeta_w}(\omega_w) d\omega_w; \\ D_{X_w} &= \int_0^{\infty} \left| \frac{\tilde{X}_w}{\zeta_w} \right|^2 S_{\zeta_w}(\omega_w) d\omega_w, \end{aligned} \quad (1)$$

где \tilde{X}_w – центрированное значение усилия, т.е. разность между самим усилием и его средним значением. Формулы (1) приведены для продольного усилия X_w ; формулы для поперечного усилия и вращающего момента имеют точно такую же структуру. Главным здесь является спектральная характеристика амплитуды волнения $S_{\zeta_w}(\omega_w)$. Конкретные расчёты выполнены для нерегулярного двумерного волнения, в котором смешаны две составляющие – высокочастотная S_1 и низкочастотная S_2 в виде двух слагаемых. Обе составляющие записаны далее для высоты волны 3%-ой обеспеченности $h_{3\%} = 3$ м и представлены графически на рис. 1 как функции частоты ω_w . Сами спектральные плотности для $h_{3\%} = 3$ м известны из работы (Войткунский, 1985b) и выглядят аналитически следующим образом:

$$S_1(\omega_w) = 0.06227 \times \frac{h_{3\%}^2}{\bar{\omega}} \left(\frac{\omega_w}{\bar{\omega}} \right)^6 \times \exp[-0.52725 \left(\frac{\omega_w}{\bar{\omega}} \right)^4];$$

$$S_2(\omega_w) = 0.00080312 \times \frac{h_{3\%}^2}{\bar{\omega}} \left(\frac{\omega_w}{\bar{\omega}} \right)^8 \times \exp[-0.1688 \left(\frac{\omega_w}{\bar{\omega}} \right)^4],$$
(2)

где $\bar{\omega}_w = 1.903995 / \sqrt{h_{3\%}} = 1.1 \text{ c}^{-1}$ – средняя частота нерегулярного двумерного волнения для выбранной высоты волны $h_{3\%}$.

Применяя формулу (1) для среднего значения путём интегрирования, находим среднее значение поперечного усилия в зависимости от курсового угла нерегулярной волны q_w (рис. 2). Отдельно показаны усилия, генерируемые двумя слагаемыми спектральной плотности волнения S_1 и S_2 .

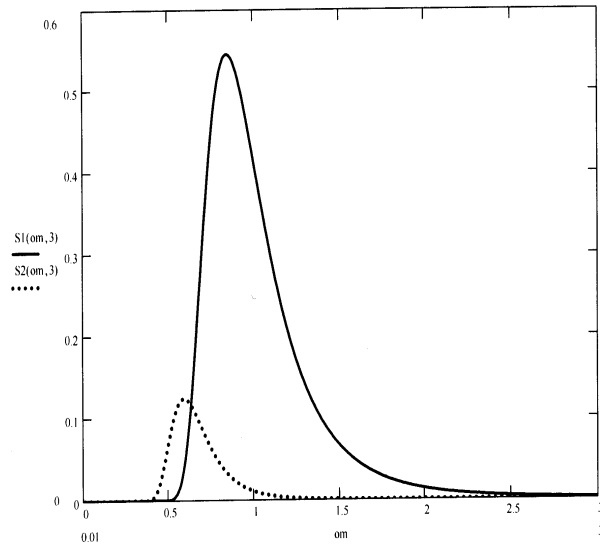


Рис. 1. Слагаемые спектральной плотности нерегулярного волнения с $h_{3\%} = 3$ м: высокочастотной (S_1) и низкочастотной (S_2)

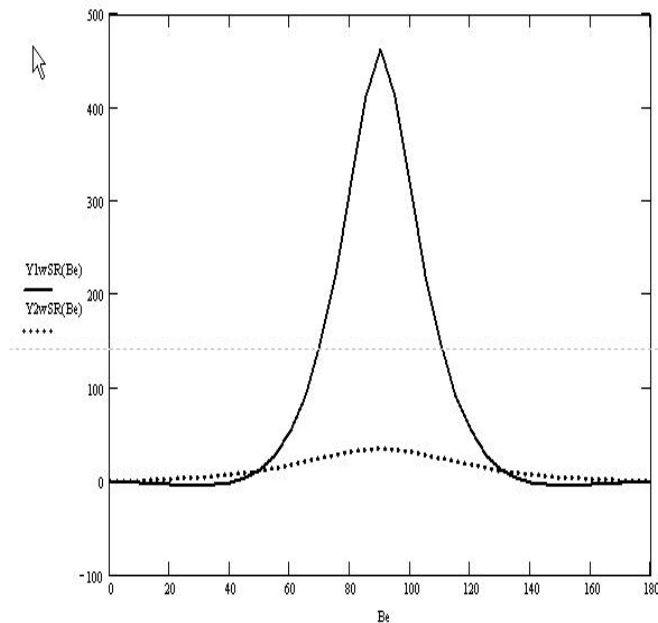


Рис. 2. Средние значения поперечного усилия на корпусе танкера (кН) в зависимости от курсового угла нерегулярной волны с $h_{3\%} = 3$ м для высокочастотной и низкочастотной слагаемых волнового спектра

Аналогичный график для среднего значения вращающего момента представлен на рис. 3.

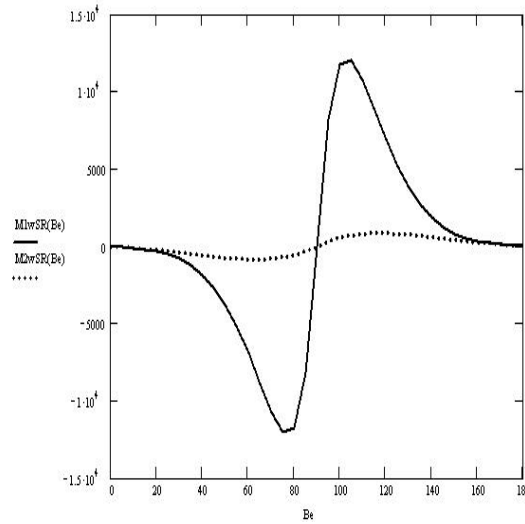


Рис. 3. Средние значения вращающего момента (кН×м) в зависимости от курсового угла нерегулярной волны с $h_{3\%} = 3$ м для высокочастотной и низкочастотной слагаемых волнового спектра

Среднеквадратические (стандартные) отклонения поперечного усилия и вращающего момента, также вычислены и представлены на рис. 4 и 5.

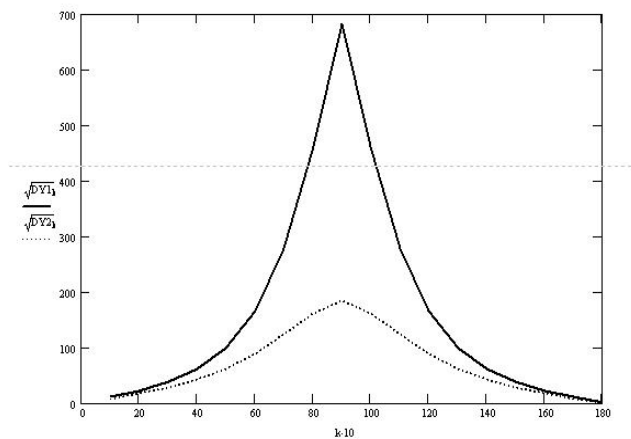


Рис. 4. Стандартные отклонения поперечного усилия (кН) в зависимости от курсового угла нерегулярной волны с $h_{3\%} = 3$ м, для высокочастотной и низкочастотной слагаемых волнового спектра

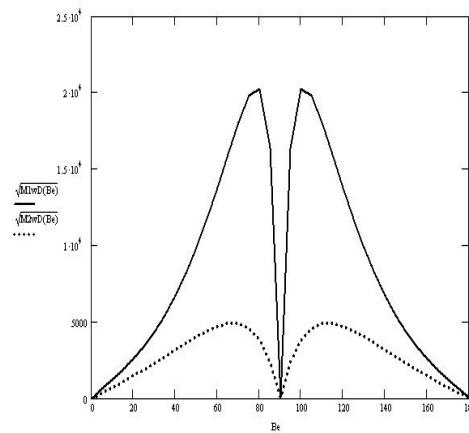


Рис. 5. Стандартное отклонение вращающего момента (кН×м) в зависимости от курсового угла нерегулярной волны с $h_{3\%} = 3$ м

Аналогичные вычисления произведены для продольного усилия и представлены на рис. 6 и 7.

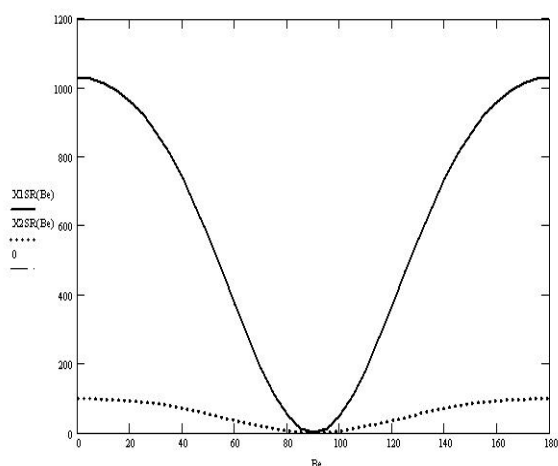


Рис. 6. Среднее значение продольного усилия (кН) в зависимости от курсового угла нерегулярной волны с $h_{3\%} = 3$ м

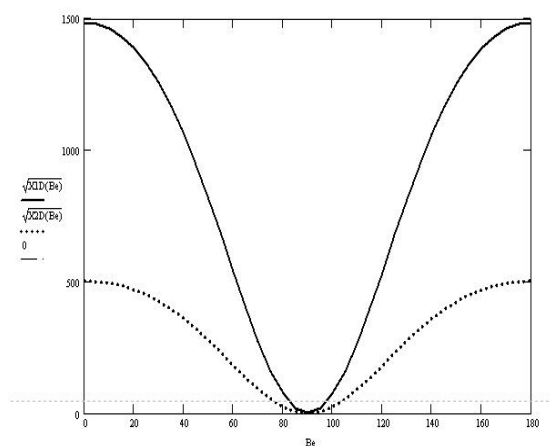


Рис. 7. Стандартное отклонение продольного усилия (тс) в зависимости от курсового угла нерегулярной волны с $h_{3\%} = 3$ м

3. Заключение

Представленные в настоящей статье результаты расчётов продольной и поперечной составляющих усилий и момента вращения на корпусе танкера, подверженного воздействию нерегулярного волнения, подтверждают возможность использования разработанного автором алгоритма расчёта указанных параметров для компьютерного моделирования процесса поведения судна при действии нерегулярного волнения.

Литература

- Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля. В 3 т. Л., Судостроение, т.1, с.762, 1985а.
Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля. В 3 т. Л., Судостроение, т.3, с.541, 1985б.
Хаскинд М.Д. Гидродинамическая теория качки корабля. М., Наука, с.327, 1973.
Хаскинд М.Д. Теория сопротивления при движении судна на волнении. Изв. АН СССР, № 2, с.46-56, 1959.