

УДК 629.5.015.12

Сичкарёв Виктор Иванович¹, профессор, докт. техн. наук, профессор,
e-mail: svny80@mail.ru

Умрихин Виктор Павлович¹, доцент, канд. техн. наук, доцент,
e-mail: umric@mail.ru

¹Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия.

УТОЧНЕНИЕ АЧХ БОРТОВОЙ КАЧКИ СУДНА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ КАЧКИ В РЕЙСЕ

Аннотация. Изменение загрузки судна изменяет положение его метацентра, центра тяжести и моменты инерции, что влияет на параметры его качки. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) качки теоретическими методами определяется недостаточно точно, а экспериментальные методы по записи качки в рейсе не дают полноты частотного диапазона для всей АЧХ. Предложен метод уточнения АЧХ в виде теоретической структурной формулы, коэффициенты которой усваиваются из экспериментально полученных данных о качке судна в данном рейсе.

Ключевые слова: бортовая качка, загрузка судна, изменение АЧХ, запись качки в рейсе, корректировка АЧХ.

Проблемы эффективного судовождения в условиях плавания на значительном волнении в настоящее время возникают в связи с недостаточными возможностями судоводителей прогнозировать реакции судна на изменения параметров движения судна относительно генерального направления распространения волнения – на изменения скорости судна и курсовых углов волнения. Использование доступных на мостике судна методов оценки условий резонансной качки далеко не всегда обеспечивает судоводителя необходимой информацией. Более полным решением проблем была бы возможность прогнозировать качку на прогнозируемом волнении. Для этого на судне должна быть информация об амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) качки в состоянии его фактической загрузки в рейсе.

Теория качки [1] позволяет получить структуру формулы АЧХ $\Phi_{r\theta}(\omega_k)$ по укороченному уравнению качки в виде

$$\Phi_{r\theta}(\omega_k) = \frac{\theta_0}{r} = \frac{\omega^2}{g} \cdot \frac{k \cdot n_\theta^2}{\sqrt{(n_\theta^2 - \omega_k^2)^2 + 4 \cdot v_\theta^2 \cdot \omega_k^2}}. \quad (1)$$

Здесь ω – истинная частота волнения;

$\omega_k = \Omega$ – кажущаяся частота волнения, равная истинной частоте Ω качки судна;

k – редуцированный коэффициент, учитывающий конечность ширины судна по сравнению с длиной волны;

n_θ – собственная частота качки судна;

v_θ – коэффициент сопротивления бортовой качке судна.

К недостаткам этой достаточно простой формулы относится то, что она получена из укороченного уравнения качки (когда мы пренебрегаем влиянием поперечной и вертикальной качки на бортовую); весьма сложный и недостаточно точный расчёт присоединённых масс и моментов инерции судна и окружающей жидкости, необходимый для расчёта коэффициента сопротивления; приближённость определения редуцированного коэффициента; зависимость некоторых коэффициентов от частоты качки, т.е. фактическое признание этих коэффициентов функциями частоты качки и конструктивных параметров судна. В такой ситуации заблаговременный расчёт АЧХ для предполагаемой (хотя бы типовой) загрузки даёт мало чего полезного.

В то же время на судах имеется аппаратура (например, спутниковые компасы, аппаратно-программные комплексы [2]), способные фиксировать разные виды качки судна непосредственно в эксплуатационном рейсе с фактической загрузкой. Обработка записей даёт фактическую картину распределения амплитуд качки по частотам качки, рисунок 1.



Рисунок 1 – Распределение амплитуд качки θ по частотам Ω в реальной последовательности событий

Последующая обработка позволяет получить распределение амплитуд по упорядоченным интервалам частот, рисунок 2, а также выполнить его аналитическую аппроксимацию. Например, распределение на рисунке 2 можно аппроксимировать функцией

$$\theta_{расч} = a \cdot \Omega^b \cdot e^{c \cdot \Omega}, \quad (2)$$

где $a = 23,83139$;
 $b = 0,70825$;
 $c = -3,32178$.

Значение $\theta_{расч}$ представлено на рисунке 3.

Если параметры волнения или его спектр $S(\omega)$ известны, то можно преобразовать его в спектр кажущегося волнения, пересчитав его частоты ω в Ω по формуле:

$$\Omega = \omega \cdot \left[1 + \omega \cdot \frac{v}{g} \cdot \cos(q) \right], \quad (3)$$

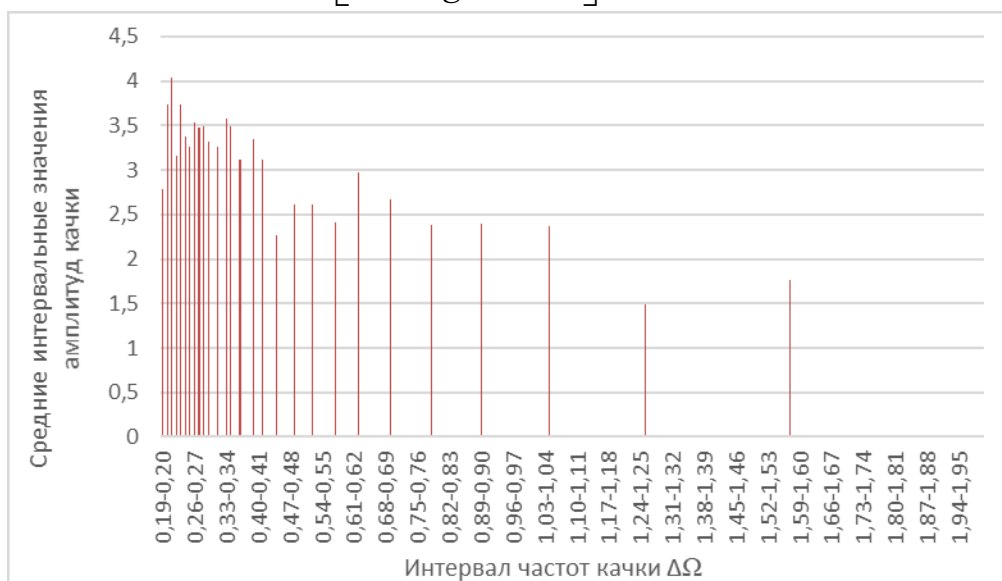


Рисунок 2 – Распределение средних по интервалу амплитуд крена θ при равномерной шкале $\Delta\Omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ интервалов частот

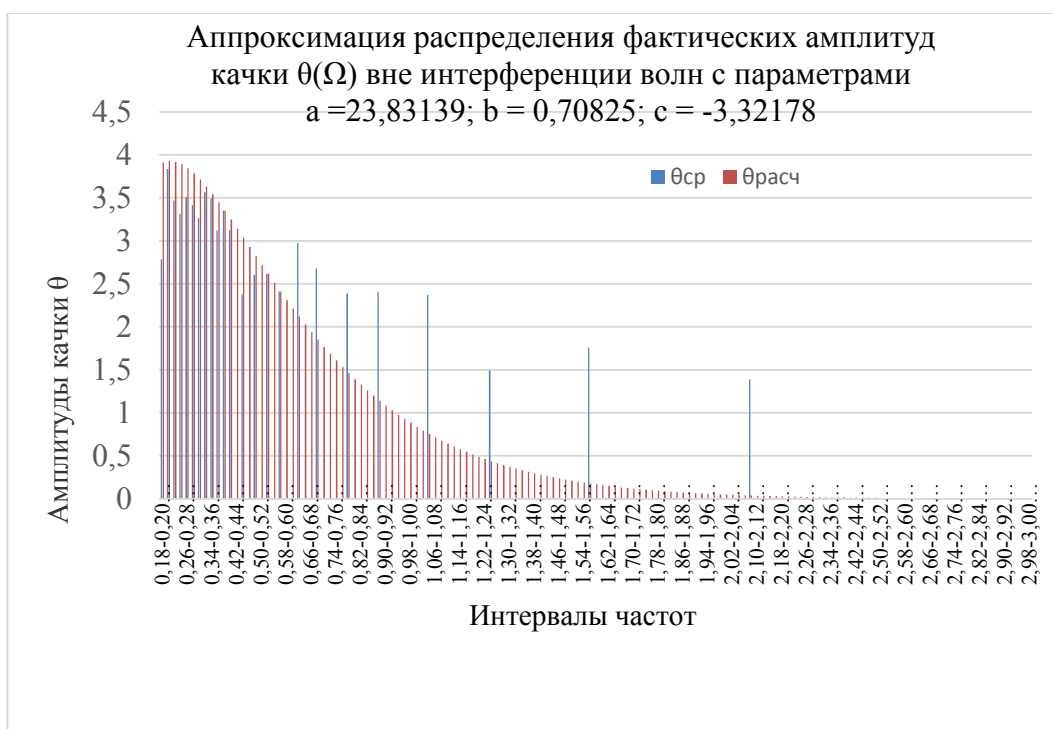


Рисунок 3 – Аппроксимация с параметрами $a = 23,83139$; $b = 0,70825$; $c = -3,32178$ фактического распределения амплитуд по частотам

оставляя значения спектра $S(\omega)$ соответствующими частоте ω . После этого можно получить экспериментальную АЧХ $\Phi(\Omega)$

$$\Phi(\Omega) = \frac{\theta(\Omega)}{\sqrt{2 \cdot S(\Omega)}}. \quad (4)$$

Форма экспериментальной АЧХ представлена на рисунке 4.

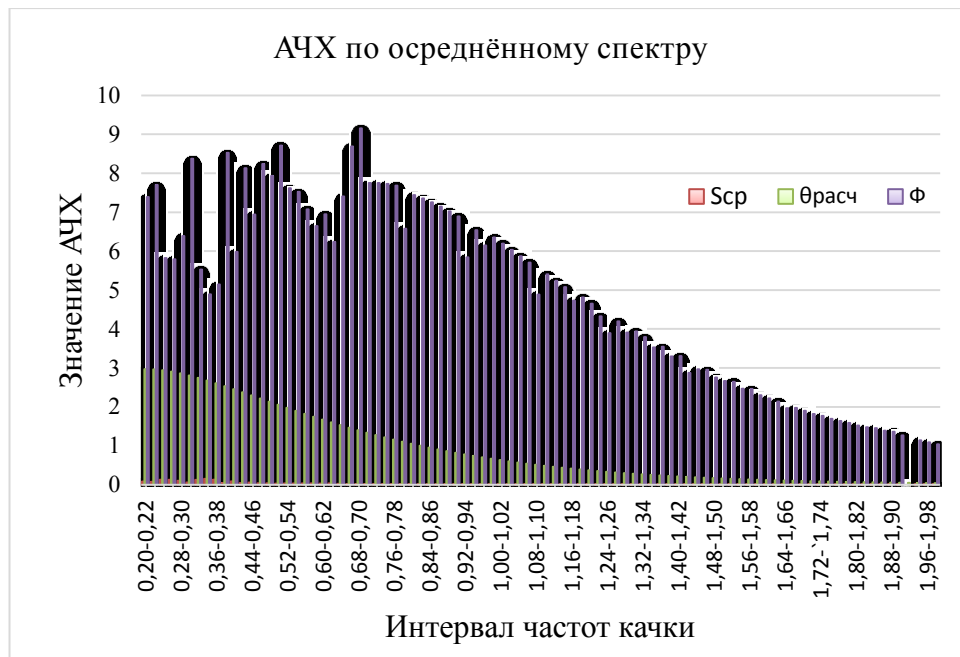


Рисунок 4 – Экспериментально полученная АЧХ

Экспериментальная АЧХ, как правило, не перекрывает всех частот качки и в известной мере содержит статистический аспект, но может служить средством уточнения теоретической АЧХ, структура которой задаёт аппроксимирующую функцию для экспериментальной АЧХ. Например, АЧХ на рисунке 4 приблизительно аппроксимируется выражением:

$$\Phi = \frac{a \cdot \Omega^2 \cdot e^{-b\Omega}}{\sqrt{(n_\theta^2 - \Omega^2)^2 + c^2 \cdot \Omega^2}}, \quad (5)$$

где $a = 90$; $b = 2$; $c = 1,8$; $n_\theta = 0,3$.

Аппроксимация амплитудно-частотной характеристики по функции (5) приведена на рисунке 5.

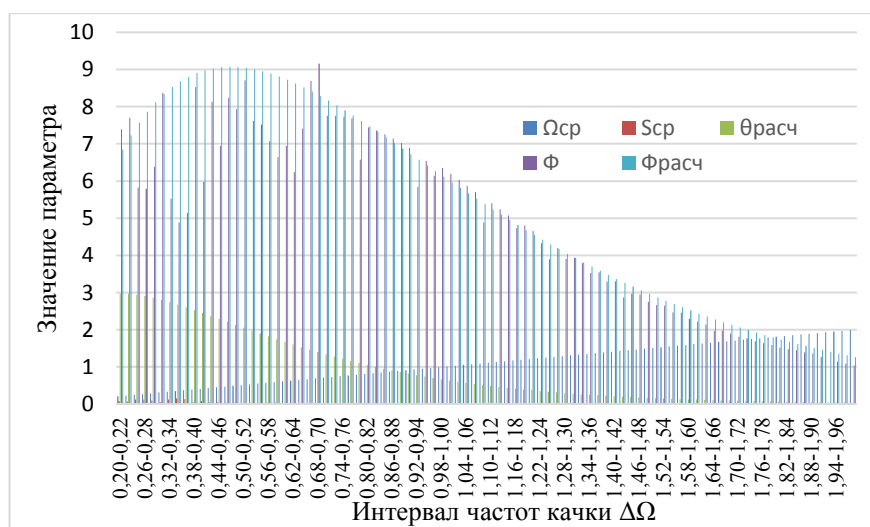


Рисунок 5 – Аппроксимация экспериментальной АЧХ функцией (5)

Список литературы:

1. Бородай И.К. Мореходность судов / И.К.Бородай, Ю.А.Нецветаев. – Л.: Судостроение, 1982. – 288 с.
2. Сичкарёв В.И. Теоретические основы штормового плавания: монография /В.И.Сичкарёв, В.П.Умрихин, А.Г.Поминов, А.А.Приваленко. – Новосибирск: СГУВТ, 2021. – 210 с.

CLARIFICATION OF THE FREQUENCY RESPONSE OF THE SHIP'S ON-BOARD PITCHING BY MEASUREMENTS OF PITCHING DURING THE VOYAGE

Viktor I. Sichkarev, Viktor P. Umrikhin

Abstract. Changing the loading of the vessel changes the position of its metacenter, center of gravity and moments of inertia, which affects the parameters of its pitching. The amplitude-frequency response (frequency response) of pitching is determined insufficiently accurately by theoretical methods, and experimental methods for recording pitching in flight do not give the completeness of the frequency range for the entire frequency response. A method is proposed to refine the frequency response in the form of a theoretical structural formula, the coefficients of which are assimilated from experimentally obtained data on the pitching of the vessel in this voyage.

Keywords: on-board pitching, loading of the vessel, change in frequency response, recording of pitching during the voyage, correction of frequency response.