

В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. М., 1967. 4. Бурмейстер О.С. Исследование бортовой качки сплочной машины БТИ-2В на нерегулярном волнении. См. настоящий сборник.

УДК 630\*.378.7

О.С.Бурмейстер

## ИССЛЕДОВАНИЕ БОРТОВОЙ КАЧКИ СПЛОТНОЙ МАШИНЫ БТИ-2В НА НЕРЕГУЛЯРНОМ ВОЛНЕНИИ

В расчетах качки на нерегулярном волнении обычно принимается, что качающееся судно на волнах является динамической системой, на вход которой подается случайный процесс изменения во времени волновых ординат, а параметры качки могут рассматриваться как выходные случайные процессы. Расчет вероятностных характеристик качки по заданным вероятностным характеристикам выполняется на основании формулы А.Я.Хинчина

$$S_{\theta}(\sigma) = [\Phi_{\theta}(\sigma)]^2 S_{\xi}(\sigma), \quad (1)$$

где  $S_{\xi}(\sigma)$  - спектральная плотность входного процесса (волнения);  $\Phi_{\theta}(\sigma)$  - модуль передаточной функции;  $S_{\theta}(\sigma)$  - спектральная плотность выходного процесса (качки).

Суммарная энергия волнения заданной интенсивности [1], которая обычно отождествляется с высотой волн  $h$  (3%), имеющей обеспеченность 3%, определяется интегралом

$$D_{\xi} = \int_0^{\infty} S_{\xi}(\sigma) d\sigma. \quad (2)$$

Приближенно  $D_{\xi}$  можно определить [2] по выражению

$$D_{\xi} = 0,143 \left( \frac{h_{3\%}}{2} \right)^2. \quad (3)$$

Для получения статистических характеристик бортовой качки машины на нерегулярном волнении, которая расположена лагом к набегающим волнам, используем дифференциальное уравнение бортовой качки судна, не имеющего хода [3]. Решая уравнение, определяем модуль передаточной функции  $\Phi_{\theta}(\sigma)$ . В

качестве входного процесса примем изменение волновых ординат, а выходного, — изменение углов бортовой качки. Тогда модуль передаточной функции будет

$$\phi_{\theta}(\sigma) = \frac{\chi_{\theta} \omega_{\theta}^2 \sigma^2}{g \sqrt{(\omega_{\theta}^2 - \sigma^2)^2 + 4\mu_{\theta}^2 \sigma^2}}, \quad (4)$$

где  $\chi_{\theta} = \chi_k \chi_h$  (обозначения  $\chi_k$  и  $\chi_h$  см в [3]);  $\omega_{\theta}, \mu_{\theta}$  — частота собственных колебаний машины и коэффициент демпфирования.

Подставив в уравнение (1) значение модуля передаточной функции из (4), получим

$$S_{\theta}(\sigma) = \frac{(\chi_k \chi_h)^2 (\omega_{\theta} \sigma)^4}{g^2 [(\omega_{\theta}^2 - \sigma^2)^2 + (2\mu_{\theta} \sigma)^2]} S_{\xi}(\sigma). \quad (5)$$

Входящие в формулу (5) значения  $\chi_k$  и  $\chi_h$  определялись по графикам, приведенным в работе [4].

Значения частоты волны брались из опытов, проведенных на реке Ветлуге по определению основных параметров речной волны. Запись проводилась модернизированным прибором ГР-38М.

По вычислениям, проведенным по формуле (4), построен график зависимости модуля передаточной функции машины БТИ-2В  $[\phi_{\theta}(\sigma)]$  от частоты волны ( $\sigma$ ), приведенный на рис. 1.

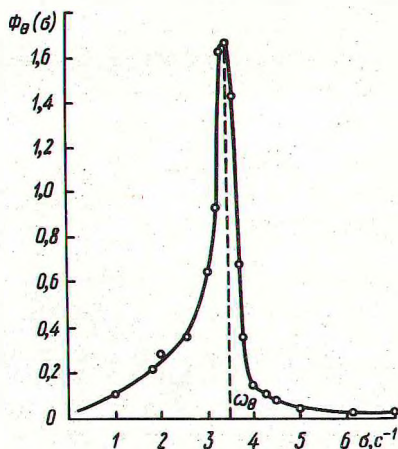


Рис. 1. Модуль передаточной функции машины БТИ-2В.

Для определения спектральной плотности волновых ординат  $S_{\xi}(\sigma)$  нужно знать высоту "видимых" волн 3%-ной обеспеченности. Для определения же значения  $h$  3%-ной обеспечен-

ности был построен график повторяемости и обеспеченности волн по высоте (рис. 2). Построение проводилось на основании обработки результатов опытов, выполненных нами при испытании и работе машины.

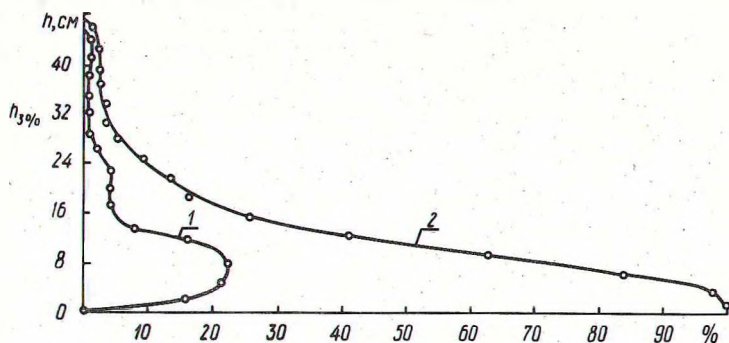


Рис. 2. Повторяемость и обеспеченность волн по высоте: 1, 2 — кривая повторяемости и обеспеченности соответственно.

Определяя средний период волн  $\tau_{\text{ср}}$  была использована зависимость, приведенная в [5],

$$\tau_{\text{ср}} \approx \tau_{50\%} \approx 9,4 \sqrt{\frac{1}{g} h_{3\%}} \quad (6)$$

Используя уравнение (1) необходимо знать спектральную плотность входного процесса (волнения). По [4] принимаем его равным по формуле (7), хотя качка при проведении опытов создавалась проходимыми рядом судами, а не ветром

$$S_{\xi}(\sigma) = \frac{D_{\xi} \alpha_0}{\pi} \left[ \frac{1}{\alpha_0^2 + (\sigma + \beta_0)^2} + \frac{1}{\alpha_0^2 + (\sigma - \beta_0)^2} \right], \quad (7)$$

где  $\alpha_0, \beta_0$  — эмпирические коэффициенты, характеризующие основные параметры спектра волнения при заданном значении  $D_{\xi}$ .

Задаваясь теми же значениями частоты волны  $\sigma$ , как и при определении модуля передаточной функции, получен график зависимости энергетических спектров волнения от частоты волны, приведенный на рис. 3. На этом же рисунке по значениям модуля передаточной функции машины и спектральной плотности

волнения построен график зависимости спектральной плотности процесса нерегулярной бортовой качки машины БТИ-2В от частоты волны.

Пределы интегрирования в формуле (2) должны охватывать тот диапазон частот  $\sigma$ , в котором ординаты функции  $S_{\theta}(\sigma)$  отличны от нуля. Для нашего случая пределы интегрирования взяты от 0,001 до 4,5, что обусловлено графиком на рис. 3. Интегрирование выполнялось на электронно-вычислительной машине "Минск-22М".

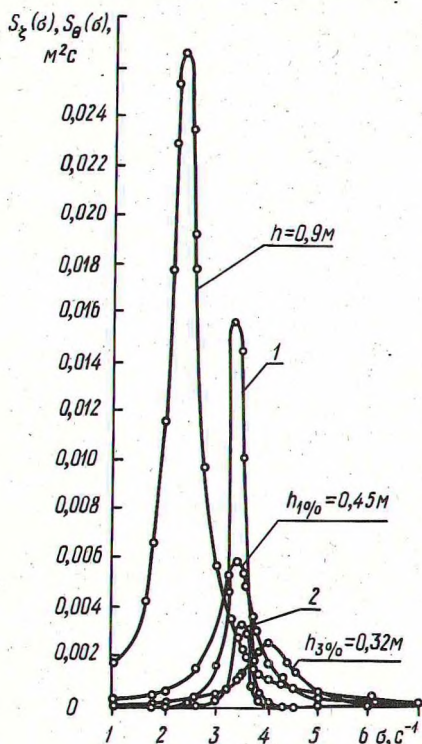


Рис. 3. Энергетические спектры волнения и спектральная плотность процесса нерегулярной бортовой качки машины БТИ-2В: 1, 2 — для спектральной плотности волновых ординат 1%-ной обеспеченности, 3%-ной обеспеченности соответственно.

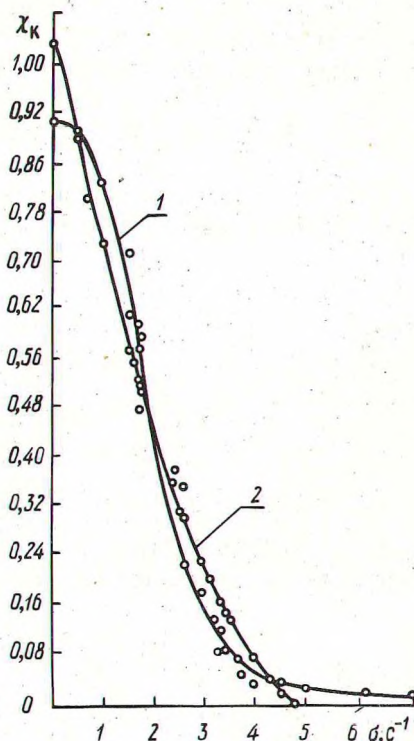


Рис. 4. Зависимость конечных значений ширины и осадки машины: 1, 2 — соответственно по данным табл. 1 и по данным машины "Минск-22М".



Для составления программы необходимо, чтобы все составляющие формул (5) и (7) являлись функцией частоты волны. Анализируя значения формул видно, что все они, кроме  $\chi_k$ , зависят от  $\sigma$ . Численные значения  $\chi_k$  с соответствующими  $\sigma$  приведены в табл. 1.

По данным табл. 1 построен график зависимости  $\chi_k = f(\sigma)$ , приведенный на рис. 4.

Для получения уравнения кривой этой зависимости на машине "Минск-22М" были решены 16 уравнений с получением эмпирических значений функции. Анализируя значения, полученные на машине, принято уравнение следующего вида

$$\chi_k = 0,035\sigma^2 - 0,404\sigma + 1,119. \quad (8)$$

Таким образом, для высоты волн 1%-ной и 3%-ной обеспеченности получены значения дисперсии углов качки соответственно  $D_\theta = 0,0472$  и  $D_\theta = 0,00703$ .

Статистические характеристики бортовой качки сплочной машины БТИ-2В определяются по следующим формулам: среднее значение абсолютной величины угла крена

$$|\bar{\theta}| = \sqrt{\frac{2}{\pi} D_\theta}; \quad (9)$$

$$|\bar{\theta}| = 0,173 \text{ рад, или } 9^\circ 55' \text{ для } h_{1\%} \text{ обеспеченности;}$$

$$|\bar{\theta}| = 0,06691 \text{ рад, или } 3^\circ 50' \text{ для } h_{3\%} \text{ обеспеченности;}$$

дисперсия абсолютной величины угла крена

$$D_{|\theta|} = D_\theta \left(1 - \frac{2}{\pi}\right); \quad (10)$$

$$D_{|\theta|} = 0,0171 \text{ для } h_{1\%} \text{ обеспеченности;}$$

$$D_{|\theta|} = 0,0026 \text{ для } h_{3\%} \text{ обеспеченности;}$$

средняя амплитуда

$$\bar{\theta}_0 = 1,25 \sqrt{D_\theta}; \quad (11)$$

$$\bar{\theta}_0 = 0,272 \text{ для } h_{1\%} \text{ обеспеченности;}$$

$$\bar{\theta}_0 = 0,1048 \text{ для } h_{3\%} \text{ обеспеченности;}$$

Таблица 1. Зависимость величин коэффициентов, учитывающих, влияние конечных значений ширины и осадки машины от частоты волны

$\chi_k$	0,95	0,93	0,84	0,73	0,62	0,47	0,58	0,57	0,44	0,37
$\sigma$	0,00	0,50	1,00	1,583	1,662	1,790	1,832	1,827	1,976	2,415
$\chi_k$	0,34	0,22	0,17	0,13	0,08	0,075	0,07	0,028		0,027
$\sigma$	2,586	2,621	3,00	3,20	3,44	3,50	3,65	4,000		4,300
$\chi_k$	0,025	0,05	0,02	0,01	0,009					
$\sigma$	4,500	3,74	5,00	6,074	6,992					

дисперсия амплитуды

$$D_{\theta_0} = D_{\theta} \left( 2 - \frac{\pi}{2} \right); \quad (12)$$

$D_{\theta_0} = 0,020$  для  $h_{1\%}$  обеспеченности;

$D_{\theta_0} = 0,003$  для  $h_{3\%}$  обеспеченности;

коэффициент изменчивости амплитуды

$$\delta_{\theta_0} = \frac{\sqrt{D_{\theta_0}}}{\bar{\theta}_0}; \quad (13)$$

$\delta_{\theta_0} = 0,52$  для  $h_{1\%}$  обеспеченности;

$\delta_{\theta_0} = 0,52$  для  $h_{3\%}$  обеспеченности.

Проведенное исследование бортовой качки машины БТИ-2В на нерегулярном волнении и расположенной лагом к набегающим волнам показало следующее.

1. Машина свободно может буксироваться не только по рекам, но и по водохранилищам – Цимлянскому, Рыбинскому и Куйбышевскому – при силе ветра не более 6 баллов. При большей балльности возможно заливание водой палубы, что требует особой герметизации люков и удаления незакрепленных предметов.

2. Дополнительные понтоны, прикрепленные по краям основного, высотой от горизонта воды 200 мм, могут заливаться водой. Поэтому они сконструированы так, что состоят из трех отсеков с круговыми люками, поднятыми до палубы основного понтона, и герметически задраенными.

3. При качке машины с нежестким соединением между понтонами, наличием монорельса, а также выносов по бокам понтона для крепления противовесов заливание палуб уменьшается, так как часть нагрузки воспринимают на себя вышеперечисленные элементы.

4. При работе машины в технологическом потоке возникает качка от волны, образованной проходящими рядом судами. При высоте волны, равной 1%-ной обеспеченности ( $h_{1\%} = 45$  см), происходит заливание палубы и нарушается технологический процесс сплотки по причине нарушения синхронности подачи бревен подающими, подтапливающими и вяжущими механизмами.

5. При высоте волны, равной 3%-ной обеспеченности ( $h_{3\%} = 32$  см), заливание палубы не происходит и нарушений син-

хронности работы механизмов не наблюдается. Среднее значение абсолютной величины угла крена равно  $3,50'$ , что соответствует опусканию или подъему борта понтона машины при сплотке бревен длиной 4,5 м от грузовой ватерлинии на величину, равную 0,45 см, а при сплотке бревен длиной 6,5 м — на величину, равную 0,58 см, т.е. возможно заливание палубы на 0,02 м.

6. При работе машины не наблюдается ухудшения условий труда обслуживающего персонала и не проявляется болезненное физиологическое влияние на людей.

#### Л и т е р а т у р а

1. Анфимов В.Н., Сиротина Г.Н., Чижов А.М. Устройство и гидромеханика судна. Л., 1974. 2. Дормидонтов Н.К., Анфимов В.Н., Малый П.А. и др. Проектирование судов внутреннего плавания. Л., 1974. 3. Бурмейстер О.С. О бортовой качке сплочной машины БТИ-2В. См. настоящий сборник, с. 112. 4. Анфимов В.Н. Расчет амплитуд бортовой качки судов внутреннего плавания на нерегулярном волнении. — Труды ЛИИВТа, вып. 148. Л., 1974. 5. Короткин Я.И., Ростовцев Д.М., Сиверс Н.Л. Прочность корабля, Л., 1974.

УДК 634.0.30

И.В.Турлай, канд.техн.наук

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НОВОРОССИЙСКОГО ЛЕСНОГО ПОРТА

Лесные порты играют важную роль в экспортном процессе, осуществляя приемку, переработку и отгрузку круглых лесоматериалов, пиломатериалов, фанеры и другой продукции лесной промышленности. Практически на их долю приходится более  $2/3$  всего объема экспорта лесопродукции.

Специфичность лесных портов заключается в их значительной зависимости от поступления лесоматериалов и судов под погрузку. Аритмичность процессов поступления судов, лесоматериалов и их обработки отрицательно сказывается на показателях работы порта.

С целью выявления факторов, вызывающих простои в работе производств лесного порта, в 1971–1977 гг. нами были проведены исследования функционирования Новороссийского лесного порта. Было установлено следующее: