

Соломенцев О.И., д-р техн. наук, профессор НУК

Ли Тхань Бин, аспирант

ОБ УЧЁТЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЛНОВЫХ РЕЖИМОВ В РАСЧЁТАХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ СУДОВ ОГРАНИЧЕННОГО РАЙОНА ПЛАВАНИЯ

УДК 629.5.017

Как показывает опыт мореплавания, капитаны судов ограниченного района плавания принимают во внимание метеопрогнозы и стремятся переждать прогнозируемый шторм или обойти его. Поэтому при проектировании судна в расчёт его общей прочности и остойчивости в принципе оказывается возможным закладывать характеристики волнения, определённые в расчёте на то, что капитан судна сможет воспользоваться данными метеопрогноза и обойти шторм.

Очевидно, что в реальности максимальные высоты волн $h_{\max}$ (или амплитуды волн $r_{\max}=0,5h_{\max}$), которые может встретить судно в океане - независимо от того, пользуется судоводитель прогнозами погоды или нет - всегда ограничены. Пусть теперь $\varphi_r(r)$, $-r_{\max} \leq r \leq r_{\max}$, и $f_r(r)$, $0 \leq r \leq r_{\max}$, есть краткосрочные плотности вероятности ординат и амплитуд волн. В соответствии с принятыми областями изменений аргументов соответствующие интегральные законы

$$\Phi_r(r) = \int_{r_{\max}}^r \varphi_r(x) dx, \quad \Phi_r(r \leq -r_{\max}) = 0, \quad \Phi_r(r \geq r_{\max}) = 1, \quad F_r(r) = \int_0^r f_r(x) dx, \quad F_r(r \geq r_{\max}) = 1.$$

Для распределения $\varphi_r(r)$ в [1,2] была показана применимость распределения Пирсона, а распределение $f_r(r)$ было получено в [3] как закон распределения модуля двумерного радиуса-вектора, обе компоненты которого распределены по закону Пирсона. Тогда основные соотношения для дифференциальных и интегральных законов распределения будут

$$\varphi_r(\bar{r}) = C_{\varphi r} (1 - \bar{r}^2)^{q_r}, |\bar{r}| \leq 1; \quad \varphi_r(\bar{r}) = 0, |\bar{r}| > 1; \quad (1)$$

$$f_r(\bar{r}) = C_{f_r} \bar{r} (1 - \bar{r}^2)^{q_r}, 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad f_r(\bar{r}) = 0, \bar{r} < 0, \bar{r} > 1; (2)$$

$$\bar{r} = \frac{r}{r_{\max}}; C_{\varphi r} = \frac{\Gamma(q_r + 1, 5)}{\sqrt{\pi} \Gamma(q_r + 1)}; C_{f_r} = 2(q_r + 1); q_r = \frac{5K_r - 9}{2(3 - K_r)}; K_r = \frac{3}{1 + \frac{1}{u_r^2}}; u_r = \frac{r_{\max}}{\sqrt{2D_r}};$$

$$F_r(\bar{r}) = \int_0^{\bar{r}} f_r(x) dx = 1 - (1 - \bar{r}^2)^{q_r + 1}, \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad F_r(\bar{r}) = 1, \quad \bar{r} \geq 1.$$

$$P_r(\bar{r}) = 1 - F_r(\bar{r}) = (1 - \bar{r}^2)^{q_r + 1}, \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad P_r(\bar{r}) = 0, \quad \bar{r} \geq 1.$$

При $r_{\max} \rightarrow \infty$ распределение (1) переходит в нормальное распределение, [1,2], а распределение (3)-в распределение Рэлея, рис. 1.

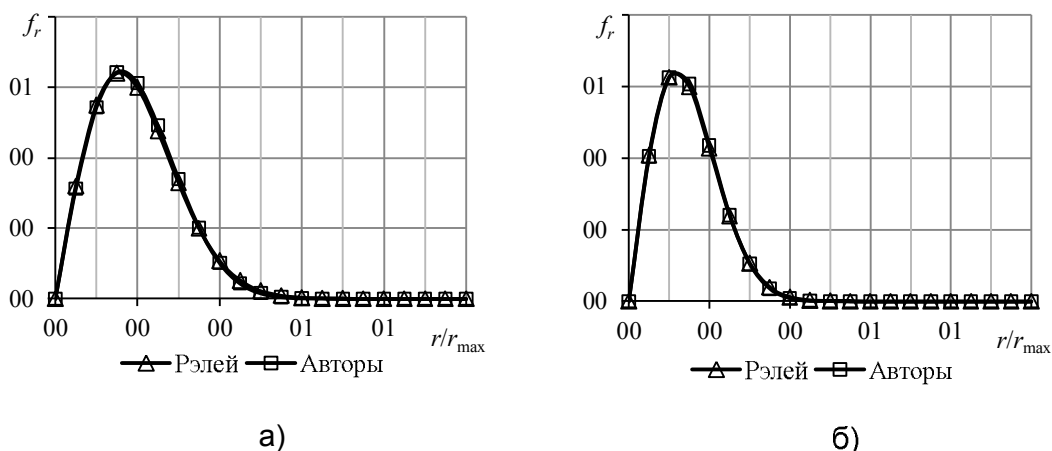


Рис. 1. Плотность вероятности амплитуд волн на стационарном волновом режиме при высоте волны 3%-обеспеченности $h_3=5\text{м}$

а - $h_{\max}=12\text{м}$; б - $h_{\max}=16\text{м}$

Пусть прогноз волнения характеризуется прогнозируемой амплитудой волны r_{Π} и среднеквадратической ошибкой прогноза δr_{Π} . На основании центральной предельной теоремы теории вероятностей можно считать, что прогнозируемая амплитуда волны есть случайная величина, распределённая по нормальному закону с математическим ожиданием $\bar{M}_{\Pi}$ и с дисперсией $D_{\Pi} = \delta r_{\Pi}^2$. При этом математическое ожидание $\bar{M}_{\Pi}$ и выдаётся как прогноз. Тогда плотность вероятности прогнозируемых амплитуд волн $f_{\Pi}(r_{\Pi})$, $\bar{M}_{\Pi} < r_{\Pi} < \infty$ будет

$$f_{\Pi}(r_{\Pi}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{\Pi}}} \exp \left[-\frac{(r_{\Pi} - \bar{M}_{\Pi})^2}{2D_{\Pi}} \right]. \quad (2)$$

Предположим теперь, что во всех случаях судно будет обходить все районы, для которых $r > [r_{\Pi}]$. Тогда, если прогноз безошибочен и $D_{\Pi} = 0$, то мы можем заменить в соотношении (1) величину $r_{\max}$ на величину $[r_{\Pi}]$. и величину $\bar{r} = \frac{r}{r_{\max}}$ на величину

$$\bar{r}^* = \frac{r}{[r_{\Pi}]}.$$

Но на практике ошибки прогноза неизбежны. Поэтому величина прогнозируемой амплитуды волнения будет случайной. Обозначим случайную (случайность обусловлена здесь только ошибкой прогноза) прогнозируемую амплитуду волнения через r_{Π} . Эта величина будет подчинена нормальному закону распределения (2) с выдаваемым как прогноз математическим ожиданием $\bar{M}_{\Pi} = [r_{\Pi}]$ и с дисперсией $D_{\Pi} = \delta r_{\Pi}^2$.

Тогда обеспеченность $P_r(r)$ амплитуды волны с учётом полностью реализованного судоводителем, но имеющего среднеквадратичную погрешность $\delta r_{\Pi} = \sqrt{D_{\Pi}}$ прогноза определится по формуле полной вероятности в виде, рис. 2:

$$P_r(r) = \int_{[r_{\Pi}]}^{\infty} \left[1 - \left(\frac{r_*(r)}{r_{\Pi}} \right)^2 \right]^{q_r+1} f_{\Pi}(r_{\Pi}) dr_{\Pi}; \quad (3)$$

$$r_*(r) = r, r \leq r_{\Pi}; r_*(r) = r_{\Pi}, r > r_{\Pi}; \quad f_{\Pi}(r_{\Pi}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{\Pi}}} \exp \left[-\frac{(r_{\Pi} - [r_{\Pi}])^2}{2D_{\Pi}} \right].$$

При безошибочном прогнозе, когда $\delta r_{\Pi} = \sqrt{D_{\Pi}} = 0$, величина r_{Π} становится неслучайной и равной своему математическому ожиданию $[r_{\Pi}]$, а обеспеченность $P(r)$ становится равной:

$$P_r(r) = (1 - \bar{r}^{*2})^{q_r+1}, \quad 0 \leq \bar{r}^* \leq 1; \quad P_r(\bar{r}^*) = 0, \quad \bar{r}^* \geq 1. \quad (4)$$

Соотношения (3)-(4) решают поставленную задачу при условии полной реализации судоводителем метеопрогноза.

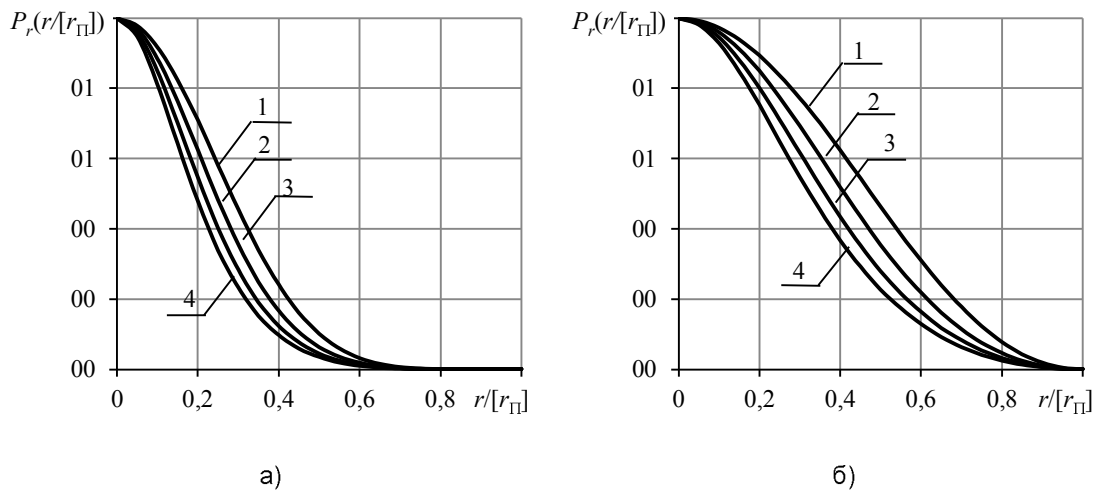


Рис. 2. Обеспеченность амплитуд волн на стационарном волновом режиме в предположении полной реализации прогноза судоводителем

$a - h_3=3\text{м}; б - h_3=5\text{м}$

1- $\delta r_{\Pi}=0,5\text{м}; 2- \delta r_{\Pi}=1,0\text{м}; 3- \delta r_{\Pi}=1,5\text{м}; 4- \delta r_{\Pi}=2,0\text{м}$

Литература. 1. **Алёшин И.К.** Влияние ограниченности реальных случайных процессов волнения и ветра на вероятностные характеристики качки и устойчивости судов в условиях шторма / И.К. Алёшин // Малотоннажное судостроение: Сборник научных трудов НКИ. - Николаев: НКИ, 1988. - С.80-89 2. **Некрасов В.А.** Устойчивость нелинейной бортовой качки судна на регулярном и нерегулярном волнении // Гидродинамика корабля: Сборник научных трудов НКИ. - Николаев: НКИ, 1989.- С.24-37. 3. **Соломенцев О.И.** Нормирование волновых нагрузок, действующих на судно, с учётом конечности их максимальных значений // Вісник НУК, 2010.-№ 4.