

Коростылев Л.И. д.т.н. проф., Нигреев А.Н. аспирант.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

**СВЯЗЬ МЕЖДУ НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПРОДОЛЬНО СЖАТОЙ
ПЛАСТИНЫ ПОСЛЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ И РЕДУКЦИОННЫМ
КОЭФФИЦИЕНТОМ**

УДК 629.12.624.04.678.5

В работе П.А. Соколова и П.Ф. Папковича [1] для изотропной судовой пластины обоснована величина редуccionного коэффициента 0,44. При этом авторы минимизировали исследуемую функцию при значениях параметра нагрузки до 50. При таких значениях расчетных напряжений в жестких связях должно существенно превышать предел текучести материала пластины. В следствии этого расчетная ширина присоединенного пояска становится завышенной (ошибка в безопасную сторону). Такой подход хоть и завышает массу стальных судов, но в приемлемых границах, и облегчает расчеты. Для современных судов из легких сплавов и полимерных композиционных материалов с динамическими принципами поддержания – экранопланов, такой подход нерационален.

Предлагается в расчетах редуccionного коэффициента для каждой конкретной пластины определять максимально возможное значение параметра нагрузки k по следующей далее методике. В работе [2] исследована сходимость решений в рядах нелинейных уравнений Т.Кармана для компонентов напряженного состояния продольно сжатой изотропной судовой пластины после потери ею устойчивости от общего продольного изгиба судна. Показано, что в расчетах с точностью $\pm 5\%$ достаточно удерживать следующие количества членов рядов (m – в направлении сжатия, n – в поперечном направлении) при вычислениях:

- функций прогибов и напряжений $m=1, n=2$;
- функций погонных усилий и моментов в срединной поверхности пластины – $m=3, n=3$.

При удержании в усеченной системе полных кубических уравнений $m=n=3$ членов рядов, число подлежащих вычислению корней равно $3^{m+n-1}=3^5=243$. Это достаточно длительная во времени процедура счета. Однако, как показало исследование

сходимости [2], при удержании в решениях по одному члену ряда ($m=1, n=1$) дает отклонение для погонных усилий и моментов не более (20...25)% от уточненного решения ($m=3, n=3$). Это позволяет на первом этапе при $m=1, n=1$ получить аналитическое решение для действительных корней системы уравнений. Здесь и далее сохранены обозначения из упомянутой работы [2].

Функция прогибов будет:

$$\omega(x,y)=2 \cdot t \cdot (1+\gamma^2) \sqrt{\frac{k-1}{3(1-\nu^2)(1+\gamma^4)}} \cos\left(\frac{\pi x}{2a}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{2b}\right)$$

Функция напряжений:

$$F(x,y)= - \frac{et^2(1+\gamma^2)^2}{24\gamma^2(1-\nu^2)} \left(\frac{\pi^2 k \gamma^2 y^2}{4a^2} + \frac{k-1}{1+\gamma^4} \left(\gamma^4 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) + \cos\left(\frac{\pi y}{b}\right) \right) \right)$$

Напряжения в срединной поверхности пластины

$$\sigma_x^o(x,y)= - \frac{\pi^2 et^2(1+\gamma^2)}{24a^2(1-\nu^2)} \left(k - \frac{k-1}{1+\gamma^4} \right) \cos\left(\frac{\pi y}{b}\right),$$

$$\sigma_y^o(x,y)= \frac{\pi^2 et^2 \gamma^2 (1+\gamma^2)^2 (k-1)}{24a^2(1-\nu^2)(1+\gamma^4)} \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right),$$

$$\tau_{xy}^o(x,y)=0.$$

Погонные моменты:

$$M_x(x,y)= \frac{\pi^2 et^4(1+\gamma^2)(1+\nu\gamma^2)}{24a^2(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{k-1}{3(1-\nu^2)(1+\gamma^4)}} \cos\left(\frac{\pi x}{2a}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{2b}\right),$$

$$M_y(x,y)= \frac{\pi^2 et^4(1+\gamma^2)(\nu+\gamma^2)}{24a^2(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{k-1}{3(1-\nu^2)(1+\gamma^4)}} \cos\left(\frac{\pi x}{2a}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{2b}\right),$$

$$H(x,y)= - \frac{\pi^2 et^4(1+\gamma^2)}{24a^2(1+\nu^2)} \sqrt{\frac{k-1}{3(1-\nu^2)(1+\gamma^4)}} \sin\left(\frac{\pi x}{2a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{2b}\right).$$

Эквивалентные напряжения по теории максимальных касательных напряжений достигаются в точках посередине продольных опорных кромок пластины ($x=0, y=\pm b$):

$$\sigma_{\vartheta}(x,y) = \frac{\pi^2 e t^2 (1 + \gamma^2)^2}{24 a^2 (1 - \nu^2) (1 + \gamma^4)} \left(\gamma^2 (k - 1) + k (2 + \gamma^4) - 1 \right) \leq \sigma_t.$$

Из условия достижения в опасных точках напряжений равных пределу текучести σ_t определяется максимально возможный для данной пластины параметр внешней нагрузки $k_{1\max}$:

$$k_{1\max} = \frac{1 + \gamma^2 + \sigma_t \frac{24 a^2 (1 - \nu^2) (1 + \gamma^4)}{\pi^2 e t^2 (1 + \gamma^2)^2}}{2 + \gamma^2 + \gamma^4}.$$

Соответствующее значение редуccionного коэффициента определенное по методике [3] будет равно:

$$\varphi_{1\min} = \frac{k_{1\max}}{2 \left(\gamma^2 + (1 + \gamma^4) \gamma^4 k_{1\max} + 2.21 \cdot (1 + \gamma^2) (1 + \gamma^4) \sqrt{(1 + \gamma^4) (1 - \nu^2) (k_{1\max} - 1) + 1} \right)}.$$

Это и будет фактическое значение редуccionного коэффициента $\varphi_{1\min}$ в первом приближении. Далее, приняв $m=n=3$ и $k = k_{1\max}$, решается система полных кубических уравнений и определяется по той же методике уточненное значение $\varphi_{1\min}$.

Выводы:

1. Получены приблизительные решения для компонентов напряженного состояния и редуccionного коэффициента изотропной судовой пластины дающие возможность сделать оценку в первом приближении максимально возможного значения параметра внешней нагрузки, при котором упругое решение уравнений Т.Кармана теряет смысл.
2. Для оптимизации ширины присоединенного пояска судовых пластин разработана методика, которая учитывает при расчете редуccionного коэффициента геометрические размеры пластины, ее упругие свойства и ограничения по реальному значению предела текучести ее материала.

Список литературы. 1. Папкович, П. Ф. Строительная механика корабля. Том 2 [Текст] / П. Ф. Папкович. - М. : Мор. транспорт, 1941 – 960 с. **2. Коростылев, Л. И.** Напряженное состояние пластины при ее закритическом сжатии в одном

направлении. [Текст] / Л. И. Коростылев, А. Н. Нигреев. Збірник наукових праць
«Актуальные проблемы прикладной механики и прочности конструкций», – Д. : Піра,
2011, - 336 с. **3. Суслов, В. П.** Строительная механика корабля и основы теории
упругости [Текст] : учеб. для вузов / В. П. Суслов, Ю. П. Кочанов, В. Н.
Спихтаренко. – Л. : Судостроение, 1972. – 720 с..