

## ЛІТЕРАТУРА

[1] Папкович, П. Ф. Строительная механика корабля Ч.2. Ленинград: Государственное союзное издательство судостроительной промышленности, 1941.

[2] Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем. Москва: издательство «Наука», 1967.

**Buckling of rectangular plate under the simultaneous action of bending and shear stresses**

L. Korostylev<sup>1</sup>, Ya. Martychenko<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

**Abstract.** The report presents the results of the rectangular plates' buckling with a centrally located round cutout under the simultaneous action of bending and shear stresses.

**Keywords:** buckling; rectangular plates; combined pressure; critical stresses.

УДК 629.5

**ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНІ ДЕФОРМАЦІЇ  
В ОСЕРЕДКУ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ БАЛКИ-СТІНКИ ЗІ ЗЛАМОМ ОСІ**

**Соков В. М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>асистент кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна,

valera.sokov@gmail.com

**Анотація.** Представлено залежності для визначення інтенсивності пружно-пластичних деформацій типової суднової балки-стінки зі зломом осі без вільного фланцю в осередку концентрації. При цьому в осередку концентрації має місце пружно-пластичне деформування з наявністю пластичних зон. Матеріал досліджуваної балки прийнято ідеально пластичним. Запропоновані залежності отримані на основі даних напружено-деформованого стану чисельних серійних розрахунків параметричної моделі методом скінченних елементів при широкому варіюванні її геометричних параметрів.

**Ключові слова:** пружно-пластичне деформування, пластичні зони, ідеально пружно-пластичне тіло, пластичність, коефіцієнт концентрації напружень.

**Вступ.** В суднокорпусних конструкціях мають місце балки зі зломом осі без вільного фланцю, що мав би кріпитися до верхньої криволінійної кромки (рис. 1).

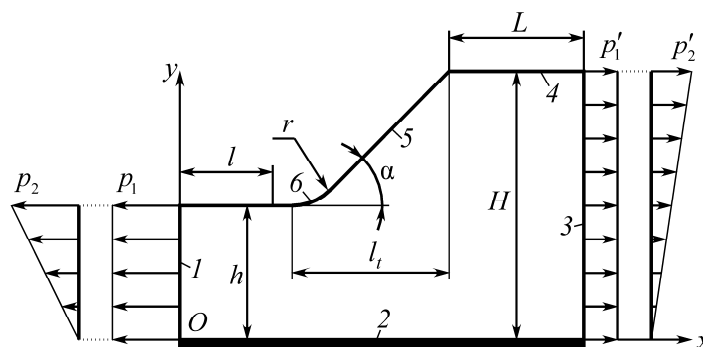


Рис. 1. Загальний вигляд балки зі зломом стінки без вільного фланцю

Такі балки-стілки зазнають осевих навантажень  $p_1$ , викликаних загальним згином корпусу судна, і згинальних навантажень  $p_2$ , викликаних місцевим згином перекриття.

Для балок такого типу (як з вільним фланцем, так і без нього) наразі не існує систематичних залежностей для розрахунку її напружено-деформованого стану (НДС) і проектування. Розрахункова схема представлена на рис. 2. Дослідження проводилися тільки для розтягання-стискування, як найбільш небезпечного стану. Важливим є дослідження НДС таких балок-стінок в осередку концентрації  $b$  (рис. 2).

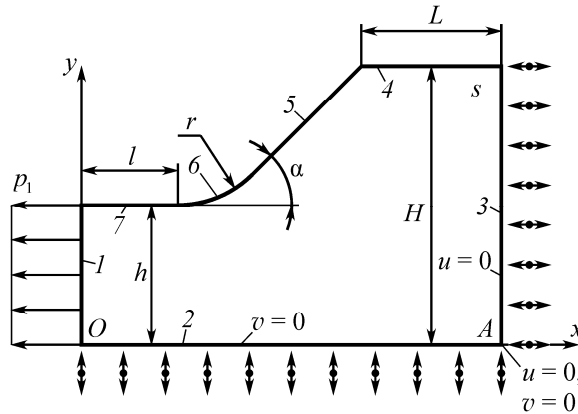


Рис. 2. Розрахункова схема досліджуваної балки-стілки

Пружне деформування балок-стінок (рис. 2) було досліджено в [1, 2, 3]. В роботах [1, 2] було досліджено їх НДС при відповідно розтягання-стискуванні і згині і запропоновано залежності для визначення коефіцієнтів концентрації напружень в залежності від геометричних параметрів. В [3] запропоновано методики оптимального проектування при пружному деформуванні.

В даній роботі представлено залежності для визначення пружно-пластичних деформацій в осередку концентрації  $b$  (рис. 2) при пружно-пластичному деформуванні останнього.

**Основна частина.** Серійні розрахунки проводилися з використання програми, що реалізує метод скінченних елементів (МСЕ) розробленої автором на мові програмування C++. Була розроблена відповідна параметрична модель. Дослідження показали, що результати пружно-пластичних розрахунків залежать більше від якості обробки інформації в точці ніж від типу скінченного елемента (СЕ), що цілком узгоджується з [4]. Тому для серійних розрахунків використовувалися об'ємні СЕ, що представляють собою тетраедри з 10 вузлами. Використання об'ємних СЕ пов'язано з тим, що плоска задача не враховує всі компоненти НДС, т. я. має місце звуження стінки в осередку концентрації та складні процеси розвитку пластичних зон, пов'язані з переходом від плоскої деформації до плоского напруженого стану при зростанні пластичної зони [5, 6].

Було виявлено, що при  $s \leq h/20$  відбувається стабілізація значень інтенсивності деформацій в контрольних точках осередку, тому ця товщина  $s = h/20$  і була прийнята для серійних розрахунків. При такій товщині має місце переважно плоский напружений стан.

Розрахунок досліджуваної балки-стілки в умовах пружно-пластичного деформування для одного варіанту проводився наступним чином. При фіксованих геометричних параметрах в осередку/зоні концентрації на кромці  $b$  (рис. 1, 2) визначався коефіцієнт концентрації  $k_1$  за [1]. Потім визначалося мінімальне навантаження  $p_{\min} = \sigma_s / k_1$ , (де  $\sigma_s$  – границя плинності), при яких починається пластичне деформування у зоні концентрації. Пружно-пластична робота для кожного досліджуваного варіанту розраховувалась для трьох значень зовнішнього навантаження  $p_i$ , які визначалися за формулами

$$\left. \begin{aligned} p_i &= p_{\min} + i \cdot \Delta p, \quad i = 1, 2, 3, \quad \Delta p = \frac{[\sigma] - p_{\min}}{n}, \quad n = 3, \\ p_{\min} &= \frac{\sigma_s}{k_1}, \quad [\sigma] = 0,9\sigma_s. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Параметри формули (1)  $p_i$  не мають відношення до рис. 1, 2.

Геометричні параметри балки-стілки при серійних розрахунках пластики варіювалися в наступних межах

$$H/h \in [1,6; 2,4], \quad r/h \in [0,05; 0,2], \quad \alpha \in [20^\circ; 75^\circ]. \quad (2)$$

Після проведення серійних розрахунків була накоплена статистична інформація для подальшої її обробки. Для ідеально пластичних матеріалів без зміцнення значення відносної інтенсивності пружно-пластичних (повних) деформацій  $\bar{\varepsilon}_i$ , і значення відносної інтенсивності пластичних деформацій  $\bar{\varepsilon}_{ip}$ , що визначаються залежностями

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{iey}}, \quad \bar{\varepsilon}_{ip} = \frac{\varepsilon_{ip}}{\varepsilon_{iey}}. \quad (3)$$

не залежать від границі плинності.

В (3)  $\varepsilon_i$  – абсолютне значення інтенсивності пружно-пластичних (повних) деформацій;  $\varepsilon_{ip}$  – абсолютне значення інтенсивності пластичних деформацій;  $\varepsilon_{iey}$  – інтенсивність пружних деформацій, при яких починається пластичне деформування в осередку концентрації, що визначається залежністю

$$\varepsilon_{iey} = \frac{\sigma_s}{3G}, \quad (4)$$

де  $G$  – модуль зсуву. Для ідеально пластичного матеріалу величина  $\varepsilon_{iey}$  завжди постійна і не залежить від зміцнення та величини зовнішнього навантаження.

Для відносного навантаження  $p/\sigma_s=0,9$  величина відносної інтенсивності пластичних деформацій  $\bar{\varepsilon}_{ip0,9}$  в залежності від геометричних параметрів може бути визначена наступною емпіричною залежністю

$$\left. \begin{aligned} \bar{\varepsilon}_{ip0,9} &= a_0 r_h^\beta; \\ b_0 &= 0,12H_h + 0,65; \quad b_1 = -0,44H_h + 2,84; \\ \beta &= -b_0 \cdot \tanh(\alpha \cdot b_1); \\ a_0 &= 1,4 \cdot \tanh(H_h) - 0,14 \cdot \alpha; \\ r_h &= r/h, \quad H_h = H/h, \quad \alpha, \text{ rad.} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Розходження між  $\bar{\varepsilon}_{ip0,9}$ , отриманими за формулою (5) відносно результатів МСЕ у діапазоні параметрів (2) становить  $\pm 9\%$ .

**Висновок.** Запропоновано залежності для визначення величини інтенсивності пружно-пластичних деформацій в осередку концентрації при пружно-пластичному деформуванні балки стілки (рис. 1, 2) при навантаженні 0,9 від границі плинності в залежності від геометричних параметрів досліджуваної балки для ідеально пластичного матеріалу. В подальшому планується розробка залежностей для визначення пружно-пластичних деформацій додатково від зовнішнього навантаження.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Коростильов Л. І., Соков В. М. Оценка концентрации напряжений в типовых очагах конструктивных узлов корпуса судна. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2008. № 5 (422). С. 11–17.
- [2] Соков В. М., Коростильов Л. І. Концентрация напряжений в типовом очаге тонкостенных конструкций. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2010. № 1 (430), С. 10–16.
- [3] Соков В. М., Коростильов Л. І. Проектирование конструктивного узла корпуса судна с учетом технологических факторов. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2010. № 5 (434), С. 3–10.

[4] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*. 6-th edition. Barcelona, Spain: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. 631 p.

[5] Партон В.З., Морозов Е.М. *Механика упругопластического разрушения*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 504 с.

[6] Махутов Н.А. *Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность*. М.: Машиностроение, 1981. 272 с.

### **Elastic-Plastic Strains In The Stress Concentration Zone Of Web Of Beam With Break Of An Axis**

Valerii Sokov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine.

**Abstract.** There are presented relations for determination of intensity of elastic-plastic strains of typical ship web of beam with break of an axis without a free flange in the concentration zone. At the same time in the concentration zone there is elastic-plastic deformation takes place with presence of plastic fields. The material of investigated beam is ideally plastic. Offered relations are obtained on basis of data of strain-stress state of numerical serial study of a parametrical model by finite element method for geometrical parameters were being varied widely.

**Keywords:** elastic-plastic deformation, plastic zones, ideally plastic body, plasticity, stress concentration factor.

### **УДК 629.5**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИГИНУ ПАЛУБИ НА РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ANSYS**

**Васильєва А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>технік-конструктор 2-ї категорії ДП ДПЦК, студент групи 5161м  
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, Україна  
sandler2000@gmail.com

**Анотація.** В статті представлено аналіз впливу вигину палуби на розрахунок жорсткості та міцності проведених в програмі ANSYS. Також продемонстровані можливі способи спрощення тривимірної кінцево-елементної моделі ділянки палуби за допомогою зміни лекальних обводів палуб (вигину) на похилу та рівну ділянку з відповідними розмірами. Представлені моделі дослідних ділянок та епюри з контурним зображенням податливості та напружено-деформованого стану.

**Ключові слова:** верхня палуба, вигин палуби, модернізація судна, жорсткість палуби, перевірка міцності.

Модернізація - це сукупність операцій по зміцненню конструкції судна (частини конструкції) з метою поліпшення техніко-експлуатаційних характеристик, умов праці, приведення його відповідно з новими вимогами і нормами, технічними умовами, показниками якості. [2]

Модернізація корпусу судна повинна виконуватися з попереднім розрахунком міцності, який підтвердить рівноцінний рівень надійності базової та модернізованої конструкції. Проведені розрахунки міцності повинні відповідати вимогам класифікаційних товариств.

Використанні чисельних методів дозволяє зекономити не тільки час але й кошти. Чисельні методи дозволяють на невеликий термін визначити міцність конструкції, підібрати оптимальні характеристики необхідних додаткових кріплень. [1]