



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

**ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ  
ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ**

# **МАТЕРІАЛИ**

**XI МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**24 – 25 вересня 2020 року**

**Частина I**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

## ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XI Міжнародна науково-технічна конференція

### МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ ЧАСТИНА I

24 – 25 вересня 2020 р.

*Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
просп. Героїв України, 9*

Миколаїв • НУК • 2020

УДК 001.895:629.5  
І 66

## ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА  
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ  
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ  
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»  
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ І МОН УКРАЇНИ  
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО  
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»  
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ  
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
АСОЦІАЦІЯ ВЕТЕРАНІВ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ УКРАЇНИ  
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)  
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)  
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)  
ШАНЬДУНСЬКИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)  
ГДАНЬСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.  
Претензії до організаторів не приймаються.**

**Відповідальний за випуск:**  
Блінцов Володимир Степанович

**І 66** **Інновації** в судобудуванні та океанотехніці : Матеріали ХІ Міжнародної науково-технічної конференції, в 2 ч. — Ч. 1. — Миколаїв : НУК, 2020. — 640 с.

У збірнику наведені матеріали ХІ Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в судобудуванні та океанотехніці». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

**УДК 001.895:629.5**

ISBN:978-966-321-XXX-X

© Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, 2020

**Annotation** This work is devoted to the problem of construction safety when collision. It is presented the results of energy consuming bow devise when collision computer preliminary calculations.

**Keywords** *Ship bow construction defense, collision, energy consuming devise*

Михайлов Б.М.

Концепція векторної жорсткості носових кінцевостей суден при зіткненнях.

**Анотація** Робота присвячена проблемі підвищення конструктивної безпеки суден. Доведено результати розрахунку конструкції енергопоглинаючого пристрою по спеціалізованій програмі МКЕ. Конструктивний захист зіткнення енергопоглинаючий пристрій.

УДК 629.5

### ЕФЕКТИВНА ШИРИНА ВІЛЬНОГО ФЛАНЦЯ СУДНОВОЇ БАЛКИ ЗІ ЗЛАМОМ СТІНКИ В НЕБЕЗПЕЧНОМУ ПЕРЕРІЗІ

Соков Валерій Миколайович, асистент каф. БМ та ККК<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>НУК ім. адм. Макарова,  
<sup>1</sup>Україна, м. Миколаїв,  
[valera.sokov@gmail.com](mailto:valera.sokov@gmail.com),  
 ORCID: 0000-0003-3933-879X

**Анотація.** Представлено залежності для визначення ефективної ширини вільного фланцю типової суднової балки зі зломом стінки в небезпечному перерізі. 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:** балка зі зломом стінки та пояску, балка зі зломом осі, клиновидна балка, тонкостінна балка,  $H$ -,  $T$ -,  $I$ -переріз, двотаєрова балка, зсувна затримка, ефективна ширина, редуційний коефіцієнт ширини.

**Вступ.** В судновому корпусі доволі часто мають місце балки зі зломом стінки та пояску, показаної на рис. 1.

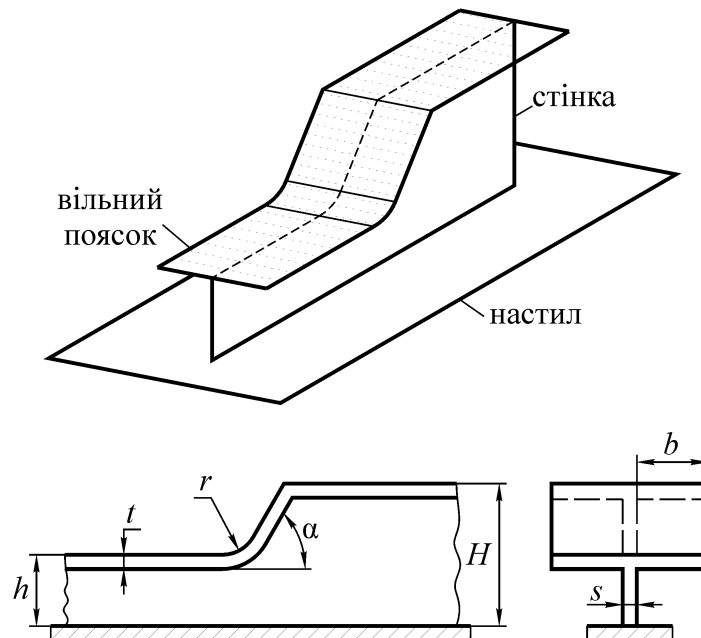


Рисунок 1 – Загальний вигляд досліджуваної балки зі зломом стінки і пояску

Ця балка нижньою кромкою кріпиться до настилу, а до ламаної кромки кріпиться вільний фланець для підвищення осьового моменту опору, що призводить до підвищення міцності та жорсткості при згині, для забезпечення стійкості при дії стискуючих осьових сил та плоскої форми згину. Металеві балки такого типу є здебільше зварними. Ця балка відноситься до тонкостінних непрямокутних стержнів відкритого профілю з симетричним перерізом відносно однієї з площин. В представленій роботі вивчається ефективна ширина вільного фланцю з врахуванням тільки зсувної затримки, без прийняття до уваги місцевої втрати стійкості пояску (та стінки) у стиснених зонах, при пружному деформуванні в рамках класичної теорії пружності. Небезпечним перерізом, що досліджується в рамках цієї роботи є переріз  $BF$ , показаний на рис. 2.

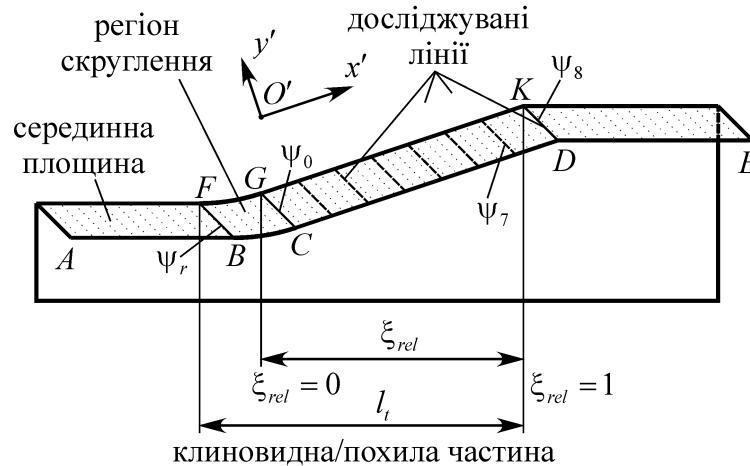


Рисунок 2 – Досліджувані перерізи вздовж балки

Аналіз низки літературних джерел показав, що розрахунок ефективної ширини вільного фланцю для балок такого типу, що мають похилу/клиновидну частину є погано дослідженим в загальному випадку. Лише в [1; 2] представлені рекомендації для розрахунку ефективної ширини в небезпечному перерізі досліджуваної балки в зоні переходу від малої висоти стінки до похилої частини, у яких проф. В. П. Суслов запропонував формулу для визначення ефективної ширини вільного фланцю в небезпечному перерізі  $BF$  при пружному деформуванні. В [3] було проведено всесторонній аналіз та критика цієї формули і запропоновані нові модифіковані формули, отримані з першопочаткової формули В. П. Суслова.

В даній доповіді запропоновані залежності для ефективної ширини вільного фланцю в небезпечному перерізі, розташованому в зоні скруглення вздовж лінії  $BF$  (див. рис. 2) при пружному деформуванні.

**Основна частина.** Ця робота є продовженням і розвитком роботи [3]. Як було вже зазначено, в [3] представлено коригування формули В. П. Суслова та обговорення низки супутніх проблем, які ми тут не будемо повторювати. Отримані скориговані формули є більш точнішими, але вони можуть бути застосовані для кутів нахилу не більше  $20^\circ$ , забезпечуючи похибку  $\pm 16\%$ . Тому виникла необхідність розробити більш точні методи для визначення ефективної ширини в небезпечному перерізі  $BF$  при широкому варіюванні геометричних параметрів.

В рамках комплексного дослідження напружено-деформованого стану (НДС) балки на рис. 1 була створена об'ємна параметрична скінченно-елементна модель і обґрунтована її розрахункова схема; проведені чисельні експерименти з метою вибору типу базового скінченного елемента (СЕ); оптимальної сітки; границь зміни геометричних параметрів, що остаточно приймаються для проведення серійних розрахунків. Основним типом СЕ прийнятим для проведення серійних розрахунків прийнято: тетраедр з 10-ма вузлами і квадратичної апроксимацією переміщень у вузлах. Реалізація чисельних досліджень проводилася з використанням алгоритмічної мови C++.

Були встановлені такі границі змін геометричних параметрів

$$\left. \begin{aligned} t/h \in [0.02; 0.1], \quad b/h \in [0.1; 0.5], \quad r/h \in [0.1; 0.5], \\ \alpha \in [3^\circ; 75^\circ], \quad H/h \in [1.2; 2.8]. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Проведені чисельні дослідження, підтверджені експериментально, показують, що на похилій частині та в місцях примикання прямокутних частин до похилої частини має місце складна деплanaція вільного пояску, що призводить до того, що у вищезгаданих зонах не реалізується в повній мірі плоский напружений стан, придатний для розрахунку ефективної ширини в класичній постановці.

Для обчислення ефективної ширини вільного пояску використовувався НДС визначений вздовж лінії  $BF$  на серединній площині (посередині товщини), що дозволяє відкинути згинальну складову НДС і враховувати безпосередньо зсуву затримку. Обчислення ефективної ширини  $b_{ef}$  відбувалося з використанням загальновідомої формули [4; 5]

$$b_{ef} = \frac{1}{E\varepsilon_{xk}} \int_0^b \sigma_x dy, \quad (2)$$

де  $E$  – модуль пружності при розтяганні (модуль Юнга);  $\varepsilon_{xk}$  – лінійна деформація в реальному пояску вздовж лінії з'єднання пояску і стінки;  $\sigma_x$  – нерівномірно розподілені нормальні напруження вздовж ширини реального пояску;  $b$  – ширина реального пояску.

Величини  $\varepsilon_{xk}$ ,  $\sigma_x$  повинні бути визначені як результат вирішення плоскої задачі теорії пружності дійсного пояску.

Чисельні дослідження показали, що в досліджуваній балці реалізується просте навантаження і ефективна ширина не залежить від товщини стінки  $s$ . Якщо  $H/h > 1,6$  то значення ефективної ширини стабілізується.

На основі аналізу даних НДС, отриманих після проведення чисельних серійних розрахунків, для визначення редуційного коефіцієнту  $\psi_r = b_{ef}/b$  у небезпечному перерізі  $BF$  отримана наступна формула

$$\left. \begin{aligned} t_h &= t/h, \quad b_h = b/h, \quad r_h = r/h, \quad \alpha, \text{ rad}, \\ a_0 &= (2,8r_h + 0,74)t_h + 0,19r_h - 0,95, \\ a_1 &= \frac{0,24r_h + 0,42}{t_h^{0,6}}, \quad a_2 = a_0 \tanh(a_1\alpha) + 1,023, \\ \beta &= 0,16 - (0,28r_h + 1) \exp(-(0,05 \ln(r_h) + 1,94)a_2), \\ \psi'_r &= a_2 b_h^\beta, \\ \psi_r &= \psi'_r - 0,05 \sin(0,45 \psi'_r) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Формула (3) має розбіг, що не перебільшує діапазон  $\pm 12\%$  в крайніх випадках відносно розрахованих даних  $\psi_r$  отриманих за допомогою МСЕ в діапазоні параметрів

$$\left. \begin{aligned} t/h &\in [0,02; 0,1], \quad b/h \in [0,1; 0,5], \quad r/h \in [0,1; 0,5], \quad \alpha \in [3^\circ; 60^\circ], \\ H/h &\in [1,6; 2,8], \quad \text{и} \quad H/h < 1,6 \quad \text{если} \quad l_1/h > 5,4 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

**Висновок.** Отримана залежність (3) для редуційного коефіцієнту дозволяє доволі точно визначати значення ефективної ширини в небезпечному перерізі розглядуваної балки у доволі широкому варіюванні її геометричних параметрів, що дозволяє застосування простих формул опору матеріалів для визначення напружень і як наслідок буде мати місце прискорення проектувальних та перевірочних розрахунків для балок такого типу.

## REFERENCES

- [1] Сулов, В.П., Баландин, А.А. (1972 а). Редуционный коэффициент пояска в районе его излома. *Труды конференции по повреждениям и эксплуатационной надежности судовых конструкций*. Владивосток: ДВПИ. 0,4 п.л.
- [2] Сулов, В.П., Баландин, А.А. (1972 б). О редуционном коэффициенте пояска балки, имеющей излом оси. *Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. по проблемам прочности и конструирования крупнотоннажных судов*. Л.: Судостроение. Вып. 182. С. 123-129.
- [3] Соков В.М. (2020). *Верифікація та модифікація формули В. П. Сулова для ефективної ширини вільного пояску балки зі зломом стінки*. Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю (Миколаїв, 20-21 травня 2020 р.). Миколаїв : НУК.
- [4] Timoshenko S.P., Goodier J. N. (1970). *Theory of Elasticity: 3-rd ed.* New York: McGraw-Hill Book Company.

- [5] Суслов В.П., Кочанов Ю.П., Спихтаренко В.Н. (1972). *Строительная механика корабля и основы теории упругости*. Л.: Судостроение.

Sokov Valerii Mykolaiovych.

### **An effective width of a free flange of ship's beams with break of a web in the dangerous cross section**

**Abstract.** There are presented relations for definition of an effective width of a free flange of typical ship beam with break of a web in the dangerous cross section. Offered dependencies 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:** beam with breaks of a web and flange, beam with a break of an axis, tapered beam, thin-walled beam, H-, T-, I-section, joist beam, shear lag, effective width, width's reduction factor.

УДК 629.5

### **ВОГНЕЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ МЕТАЛЕВИХ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Юреско Тетяна Анатоліївна, к.т.н., доцент<sup>1</sup>, Васильєва Ангеліна Валеріївна, студентка<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

<sup>1,2</sup> Україна, Миколаїв;

<sup>1</sup>tyuresko@gmail.com, <sup>2</sup> sendler2000@gmail.com

**Анотація.** Експериментальне дослідження з визначення оптимального складу вогнестійкого покриття, що наноситься на металеві суднові конструкції.

**Ключові слова:** вогнезахист, металеві суднові конструкції, адгезія, сполучник, наповнювач.

**Вступна частина.** Забезпечення пожежної безпеки на судах є важливим питанням, що вимагає розробки нових та удосконалення існуючих методів, технологій і матеріалів. Горіння ізоляційних матеріалів у замкнених приміщеннях призводить до задимлення і виділення токсичних продуктів, що ускладнює процес гасіння пожежі. Екологічно безпечним покриттям для вогнезахисту суднових конструкцій є полімерцементні (мінеральні) покриття, що наносяться на горизонтальні та вертикальні поверхні методом напилення. Серед недоліків такого покриття є недостатнє зчеплення з металевими балками, перекриттям у каютах та інших приміщеннях, що приводить до відшарування матеріалу. Також в товстому шарі покриття можуть виникати тріщини, внаслідок значної різниці між поверхневими енергіями на границі покриття – металева основа. Отже, виникає необхідність в удосконаленні екологічних вогнезахисних покриттів для міцного з'єднання з металом.

**Мета дослідження** удосконалення складу вогнестійкого покриття, що наноситься на металеві суднові конструкції товстим шаром (понад 3 см).

**Основна частина.** Мінеральні вогнестійкі теплоізоляційні покриття це композиції на основі гіпсу, портландцементу та інш., в які додається легкий наповнювач (спучений перліт, вермикуліт, кварцевий пісок, паливна зола та інші) [1].

Пошукові дослідження з удосконалення складу вогнестійкого теплоізоляційного покриття передбачають вивчення впливу складу компонентів на адгезійну міцність з металевою основою. З аналізу складу вогнестійких теплоізоляційних покриттів [2–4] обрано перспективні матеріали, та їх орієнтовне співвідношення (табл. 1).

Відомо з [5], що збільшення адгезійної міцності мінеральної композиції з металевими основами можливо за рахунок підвищення концентрації функціонально активних груп покриття шляхом введення в склад 15 – 25 % рідкого скла.

Таблиця 1 – Склад вогнестійкого покриття

Матеріал	Масова частка, %
Портланд цемент	45 – 55
Спучений вермикуліт	10 – 20
Спучений перліт	

*Наукове видання*

## **ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНТЕХНІЦІ**

XI міжнародна науково-технічна конференція

24-25 вересня 2020 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, проспект Героїв України, 9

### **МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**В 2 частинах**

Частина I

*(українською, російською, англійською мовами)*

Відповідальний за випуск В. С. Блінцов  
Комп'ютерна верстка В. В. Торубара

---

Формат 60×84/8 Ум. друк. арк. 74,2. Тираж 100. Зам. № 18-Ц/2020

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

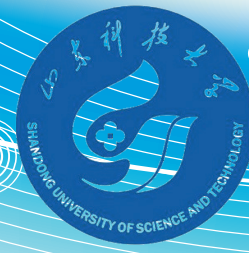
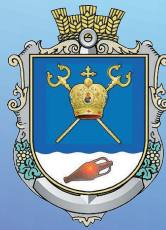
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

e-mail: publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.



# ОРГАНІЗАТОРИ



**Науково-дослідна частина  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова**

**Просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025  
Тел.: (0512) 70-91-04; <http://conference.nuos.edu.ua>  
e-mail: [conference@nuos.edu.ua](mailto:conference@nuos.edu.ua)**