

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ НАУК СУДНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ПОБУДОВИ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І
РЕМОНТУ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД**

**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ**

20 – 21 травня 2020 р.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
проспект Героїв України, 9*

МАТЕРІАЛИ

Миколаїв 2020

УДК 629.5.01
ББК 39.42-08
С 89

ОРГАНІЗАТОРИ

Міністерство освіти і науки України,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Національна академія наук України,
Академія суднобудування України,
Одеська національна морська академія,
Одеський національний морський університет

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

Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2020. – 179 с.

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд».

Розглянуті питання побудови, проектування та експлуатації суден, конструювання, міцності та надійності, технології побудови, реновації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд, морських технологій та океанотехніки, інформаційні технології в інженерії.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 629.5.01
ББК 39.42-08

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2020

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ НУК

Голова: Бондаренко О.В. – к.т.н., доц.

Заступники голови: Некрасов В.О. — д.т.н., проф.

Вчений секретар: Савенков О.І. – в.о. нач. НДЧ,
Астахова А.О. – асистент кафедри ТПС

Члени організаційного комітету:

Давидов І.П. – к.т.н., доц. (UA)

Демидюк О.В. – к.т.н., доц. (UA)

Єгоров Г.В. – д.т.н., проф. (UA)

Зайцев В.В. – д.т.н., проф. (UA)

Зайцев Вал.В. – д.т.н., доц. (UA)

Король Ю.М. – к.т.н., проф. (UA)

Коростильов Л.І. – д.т.н., проф. (UA)

Рашковський О.С. – д.т.н., проф. (UA)

Тимошенко В.Ф. – к.т.н., доц (UA)

Щедролосєв О.В. – д.т.н., проф. (UA)

- [2] Schneekluth, H., Bertram V (1998). Ship Design for Efficiency and Economy. Butterworth-Heinemann, 224 p.
- [3] Parsons, M.G. (2003). Parametric Design, in Ship Design and Construction. Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey, pp. 11–1 to 11–48.
- [4] Grubisic, I. (2008). Reliability of Weight Prediction in Small Craft Concept Design. Proc. of 6th HIPER Congress. Naples, 215 – 226.
- [5] Клева, Я.А., Бондаренко, А.В. (2012). Расчет нагрузки масс лоцманских катеров на этапе концептуального проектирования. Проблемы техники, № 2, 55–63.
- [6] Grubisic, I., Begovic, E. (2009). Upgrading weight prediction in small craft concept design. Proc. of 13th IMAM Congress, 8.

Кльова Я.А., Астахова А.О.

Особливості прогнозування маси надбудови лоцманського катера на ранніх стадіях проектування

Анотація. Розглянуто варіанти різного розташування рубок-надбудов лоцманських катерів. Розроблений в попередній роботі метод прогнозування маси порожнем для лоцманського катера був доповнений розрахунковими залежностями для визначення маси надбудови. Наведено параметричні рівняння для оцінки ваги рубки, що враховують застосування різних матеріалів для виготовлення надбудови сучасних лоцманських катерів.

Ключові слова: лоцманський катер; прогноз навантаження мас; надбудова; концептуальне проектування.

Klova Y., Astakhova A.

Features of prediction of weight of the deckhouse of pilot boats at the initial stages of design

Annotation. The paper describes different arrangements of deckhouse of pilot boats. The method for prediction of the weight for the pilot boat developed in the previous work. This method was added by the formulas for determination of the weight of the superstructure. Parametric equations for estimating the weight of the deckhouse are presented, according of various materials for the manufacture of the superstructure of modern pilot boats.

Keywords: pilot boat; weight prediction; deckhouse; conceptual design.

Секція № 3. КОНСТРУЮВАННЯ, МІЦНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

УДК 629.5

ВЕРИФІКАЦІЯ ТА МОДИФІКАЦІЯ ФОРМУЛИ В. П. СУСЛОВА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ ВІЛЬНОГО ПОЯСКУ БАЛКИ ЗІ ЗЛАМОМ СТІНКИ

Соков Валерій Миколайович, асистент каф. БМ та ККК¹,

¹ Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

¹Україна, Миколаїв,

¹valera.sokov@gmail.com,

ORCID: 0000-0003-3933-879X

Анотація. Представлено аналіз та коригування формули В. П. Суслова призначеної для обчислення ефективної ширини вільного пояску типової суднової балки зі зломом стінки в небезпечному перерізі. Аналіз формули проведено враховуючи дані

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, Н-, Т-, І-переріз, двотаврова 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.

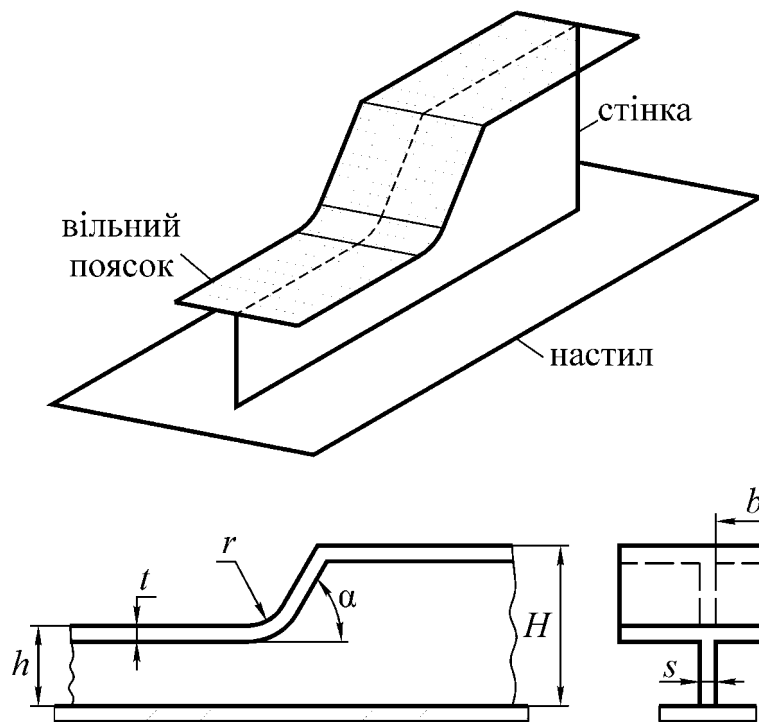


Рисунок 1 – Загальний вигляд досліджуваної балки зі зломом стінки і пояску

Ця балка нижньою кромкою кріпиться до настилу, а до ламаної кромки кріпиться вільний пояс 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 непризматичних стержнів відкритого профілю з симетричним перерізом відносно однієї з площин. В представленій роботі вивчається ефективна ширина вільного пояску з врахуванням тільки зсувної затримки, без прийняття до уваги місцевої втрати стійкості пояску (та стінки) у стиснених зонах. Небезпечним перерізом, що досліджується в рамках цієї роботи і для якого визначена формула В. П. Суслова є переріз BF , показаний на рис. 2.

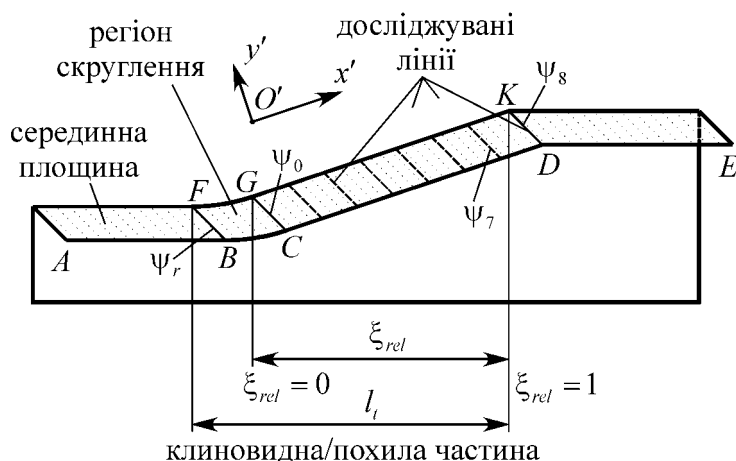


Рисунок 2 – Досліджувані перерізи вздовж балки

Аналіз низки літературних джерел показав, що розрахунок ефективної ширини вільного пояску 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. Формула проф. В. П. Суслова для розрахунку ефективної ширини b_{ef} в небезпечному перерізі вздовж лінії BF має вигляд [2]

$$b_{ef} = \frac{b}{1 + 0,14 \frac{b}{t} \sin \alpha}, \quad (1)$$

де b , t , α – наведено на рис. 1.

В даній доповіді представлено аналіз та коригування формули В. П. Суслова (1) для ефективної ширини вільного пояску в небезпечному перерізі, розташованого в зоні скруглення вздовж лінії BF (див. рис. 2).

Основна частина. Формула В. П. Суслова (1) має низку недосконалостей. По-перше вона була створена на основі експериментальних даних отриманих методом електротензометрування, при розташуванні тензорезисторів на зовнішній стороні вільного пояску вздовж лінії BF . При такому способі проведення експериментів крім розтягувальних напружень викликаних безпосередньо зсувною затримкою були також враховані згинальні напруження, викликані згином полотна вільного пояску при його депланації, що в загальному випадку є помилкою [3]. Проте шлях експериментального дослідження був чи не єдиним доступним шляхом дослідження напружено-деформованого стану (НДС) складних конструкцій при складних умовах роботи того часу, що пов'язано з практичною неможливістю проведення чисельних розрахунків по причині відсутності швидкодіючих ЕОМ та відповідного програмного забезпечення. Проте можна було б розмістити тензорезистори по обидва боки полотна пояску і обчислювати середні значення величин НДС задіяних в розрахунку ефективної ширини. Ефект врахування згинальної складової збільшується з ростом товщини.

В рамках комплексного дослідження 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

$$\left. \begin{aligned} t/h \in [0.02; 0.1], \quad b/h \in [0.1; 0.5], \quad r/h \in [0.1; 0.5], \\ \alpha \in [3^\circ; 75^\circ], \quad H/h \in [1.2; 2.8]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Проведені чисельні дослідження, підтверджені експериментально, показують, що на похилій частині та в місцях примикання призматичних частин до похилої частини має місце складна депланація 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 зсувну затримку. Обчислення ефективної ширини відбувалося з використанням загальновідомої формули [4; 5]

$$b_{ef} = \frac{1}{E\varepsilon_{\chi k}} \int_0^b \sigma_x dy, \quad (3)$$

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

Величини $\varepsilon_{\chi k}$, σ_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.

Оцінюючи формулу (1) можливо сказати, що її максимальне відхилення від обчислених даних використовуючи МСЕ не перевищує $\pm 35\%$ для кутів $\alpha \leq 10^\circ$ та для решти параметрів (2). Скоригувавши формулу (1) можна отримати наступну модифіковану формулу проф. В. П. Сулова

$$b_{ef} = b\psi_r, \quad \psi_r = \frac{1}{1 + 0.23 \frac{b}{t} \alpha}, \quad \alpha \leq 10^\circ, \quad (4)$$

що дає похибку не більше $\pm 9\%$ відносно розрахованих даних для зміни геометричних параметрів (2) та для кута $\alpha \leq 10^\circ$.

Продовжуючи модифікувати (1), було враховано вплив радіусу скруглення r , в результаті чого ще одна модифікація (1) може бути представлена у вигляді

$$b_{ef} = b\psi_r, \quad \psi_r = \frac{0.17(r/h) + 1}{1 + 0.3 \frac{b}{t} \alpha}, \quad \alpha \leq 20^\circ, \quad (5)$$

де похибка відносно розрахованих даних не перевищує розмах $\pm 16\%$ для $\alpha \leq 20^\circ$ та для решти параметрів (2).

Збільшення кута нахилу α призводить до того, що залежності для ефективної ширини стають дуже нелінійно залежними від геометричних параметрів, що унеможливорює елементарне розширення таких простих формул, як (1), (4) або (5).

Висновок. Формула В. П. Суслова (1) для ефективної ширини вільного пояску клиновидної балки з примикаючими призматичними частинами є чи не найпершою формулою для балок такого типу. Тоді як більшість публікацій, присвячених ефективній ширині мають справу у подавляючій більшості з призматичними балками, то формула (1) враховує непризматичність поперечного перерізу і складну роботу пояску в небезпечному перерізі зокрема. Коригування формули (1) дозволило усунути неточності допущені при її створенні та дещо розширило область її застосування.

REFERENCES

- [1] Суслов, В.П., Баландин, А.А. (1972 а). Редукционный коэффициент пояска в районе его излома. *Труды конференции по повреждениям и эксплуатационной надежности судовых конструкций*. Владивосток: ДВПИ. 0,4 п.л.
- [2] Суслов, В.П., Баландин, А.А. (1972 b). О редукционном 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] Zhang, Y. H., Lin, L. X. (2014). Shear lag analysis of thin-walled box girders based on a new generalized displacement. *Engineering Structures*, vol. 61, pp. 73–83.
- [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.

Соков В. Н.

Верификация и модификация формулы В. П. Суслова для эффективной ширины свободного пояска балки с изломом стенки.

Аннотация. Представлен анализ и коррекция формулы В. П. Суслова, предназначенной для вычисления эффективной ширины свободного пояска типовой судовой балки с изломом стенки в опасном сечении. Анализ формулы проведен с учетом данных напряженно-деформированного состояния числовых серийных расчетов параметрической модели методом конечных элементов при широком варьировании ее геометрических параметров.

Ключевые слова: балка с изломом стенки и пояска, балка с изломом оси, клиновидная балка, тонкостенная балка, Н-, Т-, I-сечение, двутавровая балка, сдвиговая задержка, эффективная ширина, редукционный коэффициент ширины.

Sokov V. M.

Verification and modification of the V. P. Suslov's formula for an effective width of a free flange of a beam with breaks of a web.

Annotation. There is presented analysis and correction of the V. P. Suslov's formula assigned for calculation of an effective width of a free flange of the typical ship beam with breaks of a web in the dangerous cross section. Analysis of the formula was realized considering data of strain-stress state of numeric serial computations of the parametric model by a finite element method, the geometric parameters being varying in a wide range.

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

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ ТОРОЇДАЛЬНОГО КОРПУСУ ПІДВОДНОГО ЗАСОБУ НА ЙОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН

Присташ Світлана Федорівна¹, Бурдун Євгеній Тимофійович², к.т.н., проф. НУК

^{1,2}Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

¹ Україна, Миколаїв; ² Україна, Миколаїв

¹belayasvf@gmail.com, ²evgeniy.burdun@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі проведено аналіз впливу змінної товщини тороїдального міцного корпусу підводного засобу на його напружено-деформований стан в порівнянні з тороїдальним міцним корпусом з осередненою товщиною по меридіану.

Ключові слова: підводний засіб, міцний корпус, тороїдальний корпус, напружено-деформований стан.

Метою дослідження даної роботи є проведення аналізу впливу змінної товщини тороїдального міцного корпусу підводного засобу на його напружено-деформований стан.

Основна частина. Тороїдальні оболонки знайшли своє місце при створенні інноваційних проектів підводних засобів, як міцні корпуси [1-3]. Основним методом виготовлення міцних корпусів підводних засобів в формі тору із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) є метод намотування волокном або стрічкою. За допомогою цього методу із ПКМ можна виготовити міцний корпус практично будь-якого розміру та з максимально реалізованими фізико-механічними характеристиками волокнистих ПКМ.

Методом безперервного намотування волокном можна реалізувати поперечну намотку в комбінації з повздовжньою намоткою (або викладкою). При такому намотуванні поперечний шар буде мати змінну товщину за рахунок більш щільного вкладання волокон на внутрішньому екваторі оболонки [4]:

$$h_2(\theta) = h_1 \frac{1+k}{1+k \cdot \cos \theta}$$

де $h_1 = h_{\text{повзд}} = \text{const}$ – товщина повздовжнього моношару в пакеті (кількість шарів в повздовжньому напрямку l_1), яка рівна товщині армуючого волокна (стрічки), θ – кутова координата в меридіанному перерізі.

В роботі проведено аналіз впливу змінної товщини тороїдального міцного корпусу підводного засобу на його напружено-деформований стан в порівнянні з тороїдальним міцним корпусом з осередненою товщиною по меридіану.

В якості прикладу міцного корпусу підводного засобу розглянуто вуглепластикову ортотропну тороїдальну оболонку з параметрами $a = 1$ м, $k = 0,33$. Пружні характеристики моношару та осереднена товщина пакету обрані з позиції стійкості згідно рішень [5] для глибини занурення $H = 1000$ м ($P_{\text{кр}} = 10$ МПа) вуглепластика (М35J/Ероху) – $E_1 = 207$ ГПа, $E_2 = 7,4$ ГПа, $\mu_1 = 0,348$, $h_{\Sigma} = 0,04$ м. Товщина повздовжнього шару складає – $h_1 = 0,2 \cdot 10^3$ м.

Наукове видання

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ПОБУДОВИ,
ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ СУДЕН,
МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД**

Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю

20 – 21 травня 2020 р.

МАТЕРІАЛИ

(українською, російською, англійською мовами)

Наукове видання

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ПОБУДОВИ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І
РЕМОНТУ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД**

**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ З МІЖНАРОДНОЮ
УЧАСТЮ**

20 – 21 травня 2020 р.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
проспект Героїв України, 9*

МАТЕРІАЛИ

Макетування: Астахова А.О.; Кльова Я.А.

Підписано до друку 18.05.2020
Формат 60×84/16 Ум. друк. арк.13,02.
Тираж 100. Зам. № 38

**Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.edu.ua

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