

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**

23 – 24 травня 2019 р.

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

МАТЕРІАЛИ

Миколаїв 2019

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, 2019. – 169 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, 2019

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ НУК

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

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

Вчений секретар: 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)

significant uneven distribution of tangential stresses along the height of the beams, which requires clarification of the existing method.

Keywords: shear deformation; uneven distribution; tangent stress; bending kinematic parameters.

Коростылёв Л. И., Дядюра Е. Ю.

Особенности учета влияния деформаций сдвига на кинематические параметры изгиба балок судовых конструкций

Текст аннотации. Выполнен анализ неравномерности распределения касательных напряжений по высоте стенки балок судовых конструкций. Показано, что действующая методика учета влияния деформаций сдвига на кинематические параметры изгиба не учитывает значительную неравномерность распределения касательных напряжений по высоте стенки балок, что требует уточнения существующей методики.

Ключевые слова: деформация сдвига; неравномерность распределения; касательные напряжения; кинематические параметры изгиба.

УДК 629.5

ПРО КОЕФІЦІЄНТИ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ КОРПУСА СУДНА

Соков Валерій Миколайович, асистент¹,

¹НУК ім. адм. Макарова,

¹Україна, м. Миколаїв,

¹valera.sokov@gmail.com

Анотація. Представлено формули та методики визначення коефіцієнтів форми при зсуві поперечних перерізів стержнів та проведено порівняння результатів, отриманих за різними формулами. Дані рекомендації для подальшого розвитку напрямів досліджень для знаходження коефіцієнтів форми.

Ключові слова: коефіцієнти форми поперечного перерізу; потенційна енергія стержня; тонкостінний стержень.

Вступ. Як відомо при розрахунках загальної міцності корпус судна зазвичай представлений стержнем, який зазнає складних деформаційних впливів. Найбільш важливими типами деформацій є згинання, часто з врахуванням зсуву та сумісне згинання з крученням і дуже рідко чисте кручення. Корпус судна в багатьох випадках – це саме тонкостінний стержень замкнутого або відкритого профілю. А модель такого стержня дещо відрізняється від класичної моделі стержня, додаючи елементи пов'язані з секторіальними характеристиками тонкостінного профілю. При розрахунках міцності, жорсткості та вібрації стержнів з використанням енергетичних методів потрібно обчислювати потенціальну енергію стержня Π . Для тонкостінних стержнів вираз для потенціальної енергії складається з 11 складових [1], [2], які містять 6 безрозмірних коефіцієнтів форми. В даній роботі ми не будемо розглядати повну енергію стержня, а обмежимося лише так званим класичним виразом для потенціальної енергії, який не містить секторіальних складових. Загальна формула для потенціальної енергії стержня (без врахування секторіальних складових) виглядає наступним чином [3]

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_L \left(\frac{N^2}{EF} + \frac{M_z^2}{EI_z} + \frac{M_y^2}{EI_y} + \frac{M_x^2}{GI_x} + \frac{\mu_z Q_z^2}{GF} + \frac{\mu_y Q_y^2}{GF} \right) ds. \quad (1)$$

Цей інтеграл береться по всьому осьовому контуру L стержня. Позначення в формулі (1) для всіх зусиль, площі поперечного перерізу, моментів інерції та коефіцієнтів форми – традиційні. Коефіцієнти форми поперечного перерізу визначаються наступними інтегралами:

$$\mu_y = \frac{F}{I_z^2} \int \frac{S_z^2(y)}{\delta^2(y)} dF, \quad \mu_z = \frac{F}{I_y^2} \int \frac{S_y^2(z)}{\delta^2(z)} dF. \quad (2)$$

де S_z, S_y – статичні моменти відсіченої частини, як для формули Журавського для дотичних напружень; δ – товщина у відповідному напрямку, як для формули Журавського для дотичних напружень.

Обчислення вищезгаданих коефіцієнтів форми навіть для простих профілів – задача доволі громіздка. І навіть для простих тонкостінних профілів немає цих коефіцієнтів в стандартних сортаментах [1], [4]. Для типового поперечного перерізу суднового корпусу можна зрозуміти, що пряме обчислення цих коефіцієнтів буде задачею більш трудомісткою. Як бачимо до складу цих коефіцієнтів в деяких випадках входять одні і ті ж величини, так що ці коефіцієнти пов'язані між собою. Тому стоїть задача виробити наближені, стійкі і відносно надійні методики для визначення коефіцієнтів форми.

В даній роботі представлені деякі наближені методики обчислення коефіцієнту форми при зсуві μ_y, μ_z і дано порівняння результатів цих методик між собою. Також висловлені можливі напрямки досліджень на думку автора.

Основна частина. Коефіцієнти форми поперечних перерізів μ_y, μ_z при зсуві досліджувалися на малому судні типу буксир. Для суден такого типу, у яких відношення довжини L до висоти борту D складає менше 5, при дослідженні вібрації та інших розрахунках, пов'язаних з обчисленням потенціальної енергії корпусу, обчислення цих коефіцієнтів є обов'язковим. Як вже було сказано вище, що обчислення коефіцієнтів форми навіть для простих тонкостінних стержнів є трудомісткою задачею, вже не кажучи про поперечні перерізи судна. Тому автор запропонував деякі наближені способи визначення цих коефіцієнтів форми та проаналізував отримані дані. Будуть розглянуті обчислення виконані відносно вертикальної осі y для коефіцієнту $\mu_y = \mu$.

Першою з методик є та, що поперечний переріз корпусу судна вважається коробчастим профілем (див. рис. 1, де замість осі z використана x), висота h якого дорівнює висоті борта D , а ширина b дорівнює ширині судна B для даного шпангоута або поперечного перерізу. Товщина t_b дорівнює середній товщині борту, а товщина t_r дорівнює середній товщині палуби та днища.

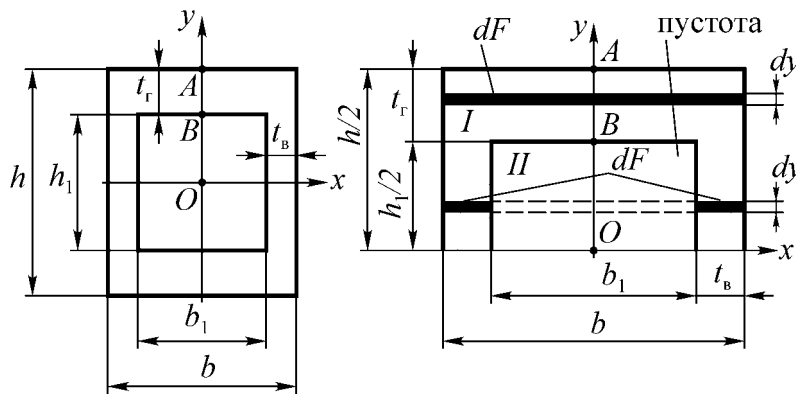


Рисунок 1 – Коробчастий профіль

При такому підході врахована робота тільки зовнішньої обшивки корпусу судна, а внутрішні в'язі не враховуються взагалі. У багатьох суден з доволі повними обводами шпангоутів в районі міделя форма поперечного перерізу дійсно наближена до прямокутника. Проте поперечні перерізи, що розташовані в кінцевостях судна далеко не нагадують прямокутник і такий підхід, що полягає в заміні шпангоута коробчастим профілем застосовувати не можна.

На рис. 1 також представлена схема для обчислення коефіцієнту форми. Обчислюючи 1-й інтеграл (2), та приводячи подібні знаходимо

$$\mu = \frac{3}{20} \frac{(hb - h_1b_1)(7h_1^5bb_1 + 8h_1^5b_1^2 - 30h_1^3bh^2b_1 + 8h^5b^2 - 8bh^5b_1 + 15h^4bh_1b_1)}{(b - b_1)(h^3b - h_1^3b_1)^2}. \quad (3)$$

Результати, отримувані за (3) співпадають з результатами для коефіцієнта форми наведені в [5] для коробчастого профілю. Зокрема для квадратного коробчастого профілю 100×100 мм і товщиною стінки 5 мм, коефіцієнт форми складає $\mu = 1,96$.

У другій методиці використано деякі рекомендації з опору матеріалів. У декотрих класичних підручниках з опору матеріалів для визначення коефіцієнту форми μ тонкостінних профілів дається наближена формула

$$k = \frac{F}{F_b} \quad (4)$$

де F – площа всього поперечного перерізу; F_b – площа поперечного перерізу вертикальних стінок.

Зокрема для коробчастого профілю формула (4) набуде вигляду

$$\left. \begin{aligned} k &= \frac{F}{F_b} = \frac{hb - h_1b_1}{h(b - b_1)}, \\ h_1 &= h - 2t_r, \quad b_1 = b - 2t_b. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Порівнюючи значення коефіцієнтів форми, обчислені за (3) та (5) між собою знаходимо, що ці значення відрізняються в межах не більше 5%, якщо відношення довжини однієї зі сторін до її товщини не менше 10, тобто $h/t_r > 10$ і $b/t_b > 10$. Чим тонше стінки коробчастого профілю при тих же розмірах h і b , тим менше різниця між точною (3) та наближеною (5) формулами. Тому в інженерній практиці для обчислення коефіцієнту форми коробчастого профілю, зображеного на рис. 1, при відносно тонких стінках, можна сміло використовувати вираз (4) або (5).

Третьою з методик для визначення коефіцієнту форми з використанням формули (4), але F – це повна площа перерізу шпангоута з врахуванням всіх в'язей, що входять до поперечного перерізу; F_v – площа всіх вертикальних в'язей, або якщо в'язь похила, то проекція її на відповідну вісь (в нашому випадку на вертикальну). Формулу (4) можна переписати у вигляді

$$k = \frac{F_{\Sigma}}{F_{\Sigma v}}, \quad (6)$$

де F_{Σ} – площа всіх в'язей, що входять до складу поперечного перерізу на даному шпангоуті; $F_{\Sigma v}$ – площа всіх вертикальних в'язей того ж самого поперечного перерізу, або якщо в'язь похила, то проекція площі на відповідну вісь.

Нижче в табл. 1 представлено порівняння коефіцієнту форми μ обчисленого за формулами (3), (5), (6).

Таблиця 1 – Коефіцієнти форми μ поперечних перерізів, обчислені по (3), (5) і (6)

Вісь	Формула	Номер шпангоута			
		7	23	34	47
Вертикальна	(3)	3,60	2,08÷2,60	2,08÷2,43	–
	(5)	3,59	2,05÷2,58	2,06÷2,41	–
	(6)	2,35	1,64	2,27	2,50

Прочерки в табл. 1 означають, що коефіцієнт форми не міг бути обчислений, так як форма шпангоута для даного поперечного перерізу не нагадувала прямокутник.

Як бачимо із табл. 1 коефіцієнти форми не відрізняються кардинально між собою в декілька разів, тому формули (3), (5) або (6) можна в цілому використовувати для обчислення коефіцієнту форми поперечних перерізів, якщо зовнішні обводи відповідного шпангоута близькі до форми прямокутника. Формула (6) являється найбільш універсальною, тому що не залежить від форми поперечного перерізу.

Висновок. Обчислення коефіцієнтів форми поперечних перерізів тонкостінних стержнів є важливою задачею, тому що від їх значень залежить величина потенціальної енергії. Проте, водночас, задача обчислення коефіцієнтів форми є трудомісткою задачею. Тому необхідно виробити прості та надійні методики для визначення цих коефіцієнтів. Результати, отримані за формулами (3), (5), (6) як бачимо відрізняються між собою на $\approx 35 - 40\%$. Проте формули (3), (5) придатні лише якщо зовнішній контур поперечного перерізу нагадує порожнистий прямокутник (див. рис. 1). Формула (6) є універсальною для будь якої форми поперечного перерізу, але водночас немає інших формул, щоб порівняти їх з (6). Одним з виходів з цієї ситуації є вироблення формул для коефіцієнтів форми для різних типових поперечних перерізів, як це було зроблено для коробчастого профілю.

REFERENCES

- [1] Гольдштейн, Ю.Б. (2015). Геометрические характеристики поперечных сечений тонкостенных стержней открытого профиля. *Ученые записки Петрозаводского Государственного Университета*, №2 (март), 48 – 52.

- [2] Сливкер, В.И. (2005). *Строительная механика. Вариационные основы*. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов.
- [3] Писаренко, Г.С (Ред.), Огарев В.А., Квитка А.Л., Попков В.Г., & Уманский Э.С. (1986). *Сопротивление материалов: Учебник*. Київ: Вища школа.
- [4] Валиуллин, А.Х. (2012). О коэффициенте формы двутаврового сечения. *Вестник Казанского технологического университета*, Т. 15, №15, 202 – 203.
- [5] Миролубов, И.Н. (1969). *Пособие к решению задач по сопротивлению материалов*. Москва: Высшая школа.

Соков Валерий Николаевич

О КОЭФФИЦИЕНТАХ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ КОРПУСА СУДНА

Аннотация. Представлены формулы и методики определения коэффициентов формы при сдвиге поперечных сечений стержней и проведено сравнение результатов между собою, полученных по разным формулам. Даны рекомендации для дальнейшего развития направления исследований для нахождения коэффициентов формы.

Ключевые слова: коэффициент формы поперечного сечения; потенциальная энергия стержня; тонкостенный стержень.

Sokov Valeriy Nikolaevich

ABOUT FORM FACTORS OF A CROSS SECTION OF A SHIP HULL

Abstract. Formulas and methodologies of definition of form factors at shear for cross sections of rods are presented. Comparison of results got using different formulas is done. Recommendations for further development of ways of investigations for finding of form factors are offered.

Keywords: form factor of a cross section; potential energy of a rod; thin-walled bar.

УДК 629.5

ВПЛИВ ДЕЯКИХ ФАКТОРІВ НА ЧАСТОТИ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ЗАГАЛЬНОЇ ВІБРАЦІЇ КОРПУСУ МАЛИХ СПЕЦІАЛЬНИХ СУДЕН

Соков Валерій Миколайович, асистент¹,

¹НУК ім. адм. Макарова,

¹Україна, м. Миколаїв,

[¹valera.sokov@gmail.com](mailto:valera.sokov@gmail.com)

Анотація. Проаналізовано вплив деяких факторів, таких як врахування зсуву, повороту поперечних перерізів на частоти вільних поперечних згинальних коливань у вертикальній площині загальної вібрації корпусу малих суден при представленні судна як непризматичної балки; проаналізовано вплив коефіцієнтів форми поперечного перерізу при зсуві на власні частоти загальної вібрації.

Ключові слова: власні коливання; власні частоти; метод Релея-Папковича; коефіцієнт форми поперечного перерізу.

Вступ. Розрахунок власних частот та форм загальної вібрації корпусу судна є важливим і водночас трудомістким, а іноді і неоднозначним розрахунком. Це пов'язано з тим, що судно є складною інженерною спорудою з багатьма конструктивними елементами, що працюють у складі корпусу судна, та коливається на межі рідкого та повітряного середовищ. Проблема сумісної роботи конструктивних елементів у складі корпусу судна, обчислення деяких чисельних характеристик цих елементів та вплив забортної води не вирішені точно, а мають лише багаточисельні рекомендації, емпіричні та напівемпіричні

Наукове видання

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

Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю

23 – 24 травня 2019 р.

МАТЕРІАЛИ

(українською, російською, англійською мовами)

н а у к о в е в и д а н н я

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

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

23 – 24 травня 2019 р.

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

МАТЕРІАЛИ

Макетування Астахова А.О.

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.