

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)

- [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

залежності та методики [1], [2], [3], [4]. Тобто фактори, які впливають на параметри вібрації можна умовно розділити на *зовнішні*, пов'язані з впливом забортної води та *внутрішні*, пов'язані з роботою конструктивних елементів у складі корпусу судна. Для розрахунку вільних коливань як правило судно представляється у вигляді непризматичної балки, яка зазнає в основному згинальних у вертикальній площині, сумісних згинально-крутильних у горизонтальній площині та крутильних коливань. Також можуть виникати інші складні сумісні види коливань. **У даній роботі було проаналізовано вплив саме внутрішніх факторів на власні частоти, пов'язаних з корпусом судна на прикладі розрахунку згинальних поперечних коливань у вертикальній площині для судна типу буксир.** Буксир відрізняється від інших типових «шаблонних» суден своєю конструкцією корпусу та характерним розподілом маси, а тому в широковідомій літературі дуже рідко можна зустріти емпіричні формули для розрахунку частот власних коливань таких спеціальних суден як буксир, щоб оцінити точність самої формули для власної частоти, вже не говорячи про оцінку впливу того чи іншого фактору на власну частоту.

Основна частина. На прикладі розрахунку вертикальних вільних коливань загальної вібрації корпусу судна типу буксир було розглянуто вплив різноманітних факторів, які впливають на частоти власних коливань корпусу судна. Корпус судна як зазвичай для суден був представлений непризматичною балкою. Матеріал корпусу судна сталь різних категорій у відповідних зонах. Закони геометричних характеристик поперечних перерізів вздовж довжини судна, таких як площа, моменти інерції у двох головних площинах, коефіцієнти форми при зсуві по напрямку двох головних осей були представлені рядами Фур'є по системі (масиву) лінійних функцій, якими апроксимовані вищевказані величини. Такий підхід дає представлення кожної з геометричних характеристик одним аналітичним законом, який точно (при утриманні достатньої кількості членів ряду) описує зміну вказаних геометричних характеристик по довжині судна, що додає зручності в обчисленнях, завдяки прозорим діям з рядами Фур'є. Вплив забортної води був врахований методикою представленою в [1], [3], [4] де вплив тривимірності потоку був врахований, у випадку представлення корпусу судна як еліптичного циліндра. Для дослідження параметрів вільних коливань, таких як частота та форма, використовувався енергетичний метод Релея-Папковича-Шиманського [1], [2], [4] з врахуванням згину, зсуву та повороту перерізів без ітераційного уточнення форм та частот в межах тону, але з ортогоналізацією форм між собою для різних тонів. В цьому випадку цей метод придатний для розрахунку вібрації для перших 3-х тонів [2]. Досліджувався вплив таких факторів, як врахування зсуву, повороту поперечних перерізів та коефіцієнтів форми поперечних перерізів при зсуві на власні частоти коливань корпусу судна.

Далі записані необхідні для пояснення суті дослідження залежності методу Релея-Папковича-Шиманського стосовно коливань в одній площині. Потенціальна енергія Π та кінетична T корпусу судна визначаються за виразом

$$\left. \begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2} \int_0^L EI(x) \left(\frac{\partial v_1(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \int_0^L GF(x) k_s(x) \left(\frac{\partial v_2(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx, \\ T &= \frac{1}{2} \int_0^L m_{\Sigma n}(x) \left(\frac{\partial v_1(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial v_2(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \int_0^L I_m(x) \left(\frac{\partial^2 v_1(x,t)}{\partial x \partial t} \right)^2 dx, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де крім традиційних позначень для геометричних характеристик та модулів пружності введено наступні позначення:

$k_s(x)$ – коефіцієнт форми поперечного перерізу при зсуві;

$v_1(x, t)$ – прогин, викликаний тільки згином, який визначається за виразом

$$v_1(x, t) = a \cdot \cos(\lambda_n t + \varepsilon_n) \cdot \varphi_n(x), \text{ м}, \quad (2)$$

$v_2(x, t)$ – прогин викликаний тільки зсувом, який визначається за виразом

$$v_2(x, t) = b \cdot \cos(\lambda_n t + \varepsilon_n) \cdot \varphi_n(x), \text{ м}, \quad (3)$$

a, b – невідомі коефіцієнти для n -го тона; n – номер тона коливань; λ_n – частота власних коливань корпусу судна n -го тона, рад/с; ε_n – початкова фаза коливань, рад; $\varphi_n(x)$ – прийнята форма коливань для n -го тону коливань, запропонована Шиманським Ю.С.; $m_{\Sigma n}(x)$ – сумарна погонна маса, що представляє собою суму маси судна і приєднаної води для n -го тону коливань, кг/м; ρ – густина матеріалу судна; I_m – головний центральний момент інерції розподілених мас (або погонний момент інерції мас) з врахуванням приєднаних моментів інерції рідини при повороті поперечних перерізів, (кг/м)·м².

Зсув враховується другим членом (1) виразу для потенціальної енергії Π . Поворот поперечних перерізів враховується другим членом (1) виразу для кінетичної енергії T . Коефіцієнт форми поперечного перерізу $k_s(x)$, вплив якого теж досліджується присутній у виразі для потенціальної енергії Π формули (1).

Досліджуване судно представляє собою буксир з відношенням довжини L до найбільшої висоти D борту біля 1/3.

Вплив зсуву поперечних перерізів на власні частоти відбувався при значенні коефіцієнту форми $k = 3,2$. Були розраховані власні частоти з врахуванням всіх факторів (згин, зсув, поворот перерізів) та з врахуванням тільки згину. Результати занесені в табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка впливу зсуву поперечних перерізів

№ тону	Частота λ_1 , Гц, з врахуванням всіх факторів	Частота λ_2 , Гц, з врахуванням тільки згину	Різниця відносно λ_1 , %
1	21,4	23,8	11
2	45,9	57,5	25
3	73,6	104,9	43
4	102,1	165,6	62

Як бачимо із табл. 1 вплив зсуву та повороту поперечних перерізів на частоти власних коливань досить суттєвий. Не врахування цих факторів призводить до підвищення значення вільних частот на 10 – 40% для перших трьох частот. Тому для коротких і високих суден, у яких відношення довжини L до найбільшої висоти D борту менше 1/5 обов'язково потрібно враховувати всі додаткові фактори при згині такі як зсув та поворот поперечних перерізів.

Вплив повороту поперечних перерізів на власні частоти відбувався при значенні коефіцієнту форми $k = 3,2$. Були розраховані власні частоти з врахуванням всіх факторів (згин, зсув, поворот перерізів) та без врахування повороту поперечних перерізів, але зі врахуванням зсуву. Результати занесені в табл. 2.

Таблиця 2 – Оцінка впливу повороту поперечних перерізів

№ тону	Частота λ_1 , Гц, з врахуванням всіх факторів	Частота λ_2 , Гц, без врахування повороту поперечних перерізів	Різниця відносно λ_1 , %
1	21,4	22,6	5
2	45,9	49,5	8
3	73,6	80,6	10
4	102,1	113,5	11

Як бачимо із табл. 2, вплив повороту поперечних перерізів на власні частоти досить невеликий, але суттєвий. Не врахування цього фактору веде до збільшення частот на 5 – 10% у порівнянні зі значеннями частот, де враховані всі фактори.

Вплив коефіцієнту зсуву k на власні частоти відбувався при розрахунку власних частот при $k = 1,2$ та при $k = 3,2$. Результати розрахунків занесені в табл. 3.

Таблиця 3 – Порівняння власних частот λ , Гц, при різних коефіцієнтах форми поперечного перерізу при зсуві

№ тону	λ , Гц, при $k = 1,2$	λ , Гц, при $k = 3,2$	різниця відносно λ при $k = 1,2$, %
1	20,0	21,4	7
2	39,8	45,9	15
3	60,1	73,6	23
4	80,2	102,1	27

Як бачимо із табл. 3, вплив коефіцієнту форми поперечного перерізу на власні частоти досить суттєвий, і збільшується приблизно на 7 – 20% при зміні коефіцієнту форми від 1,2 до 3,2 для перших трьох тонів, тому слід приділяти увагу при розрахунку цього коефіцієнту. Розрахунок коефіцієнту форми досить трудомісткий для звичайного поперечного перерізу корпусу судна. Тому слід використовувати загальні рекомендації та виробити наближені формули та прості методики для типових поперечних перерізів для визначення цього коефіцієнту.

Висновок. Аналізуючи таблиці 1, 2, 3 можна зробити висновок, що для малих суден з відношенням довжини L до найбільшої висоти D борту менше $1/5$ обов'язково потрібно враховувати всі додаткові фактори при згині такі як зсув та поворот поперечних перерізів. Також слід враховувати вплив коефіцієнтів форми поперечних перерізів при зсуві і приділяти увагу при їх визначенні.

REFERENCES

- [1] Постнов, В.А., Калинин, В.С., & Ростовцев, Д.М. (1983). *Вибрация корабля*. Ленинград: Судостроение.
- [2] Курдюмов, А.А. (1961). *Вибрация корабля*. Ленинград: Судпромгиз.
- [3] Короткин А.И. (1986). *Присоединенные массы судна: Справочник*. Ленинград: Судостроение.
- [4] Сердюченко А.М. (2009). *Згин, стійкість та вільні коливання стержневих систем і пластин судового корпусу: Навчально-методичний посібник*. Миколаїв: «СПД Румянцева

Г.В.».

Соков Валерий Николаевич

Влияние некоторых факторов на частоты собственных колебаний общей вибрации корпуса малых специальных судов.

***Аннотация.** Проанализировано влияние некоторых факторов, таких как сдвиг, поворот поперечных сечений на частоты свободных поперечных изгибных колебаний в вертикальной плоскости общей вибрации корпуса малых судов при представлении судна как непризматической балки; проанализировано влияние коэффициентов формы поперечного сечения при сдвиге на собственные частоты общей вибрации.*

***Ключевые слова:** собственные колебания; собственные частоты; метод Релея-Папковича; коэффициент формы поперечного сечения.*

Sokov Valeriy Nikolaevich

Influence of some factors on frequencies of free oscillations of common vibration of ship hull of small special ships

***Annotation.** An influence of some factors such as shear, rotation of cross sections on frequencies of free lateral bending vibration in vertical plane of common vibration of ship hull of small special ships when ship is presented as nonprismatic beam is analyzed; influence of form factors of a cross section at shear on eigen frequencies of common vibration is analyzed.*

***Keywords:** free vibration; eigen frequencies; Rayleigh-Papkovich method; form factor of a cross section.*

УДК 629.05.001

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЗАГАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ
КОРПУСУ СУДНА З УРАХУВАННЯМ ПОПЕРЕЧНОГО ЗСУВУ Й
ДЕМПФУВАННЯ**

Суслів С. В.. канд. техн. наук, доцент¹, Чечель А. В. . канд. техн. наук,²

¹ Національний університет кораблебудування; ² Інституті проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича НАНУ

¹ Україна, Миколаїв; ² Україна, Київ

¹ sergiy.suslov@nuos.edu.ua ² AChechel@trestmag.kiev.ua

***Анотація.** Запропоновано метод розрахунку загальних динамічних деформацій корпусу судна від хвильових навантажень, заснований на розкладанні за формами вільних поперечних коливань, визначених з урахуванням деформації зсуву і інерції обертання поперечних перерізів при скінчено-елементній апроксимації власних форм й поперечних розподілів характеристик мас та жорсткостей*

***Ключові слова:** динамічні деформації корпусу; хвильові навантаження; форми вільних коливань.*

***Вступ.** Для сучасних типів великих і швидкісних суден через збільшену відносну гнучкість корпусу й зростання ймовірності значних слемінгових навантажень вплив динамічної складової деформацій на загальну міцність корпусу є суттєвим. Оцінки впливу випінгу на загальну міцність судна [1] показують, що підвищення за його рахунок напружень може сягати 50%. Вдосконалення методів визначення динамічних реакцій корпусів на*

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.