

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)

УДК 629.5.015.4:539.431

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ЗОВНІШНІХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ВТОМНУ МІЦНІСТЬ СУДНОКОРПУСНИХ ВУЗЛІВ

Коростильов Л.І., д.т.н., проф.¹, Литвиненко Д.Ю.²

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

^{1,2} Україна, Миколаїв

¹ leonty.korostilyov@nuos.edu.ua, ² dmytro.lytvynenko@nuos.edu.ua

Анотація. Виконано аналіз даних величин втомного пошкодження конструктивних вузлів у перерізі мідель-шпангоута контейнеровозів, спричинених віпінгом, по відношенню до величин повного втомного пошкодження цих вузлів. Також виконано аналіз методів розрахунку втомного пошкодження конструктивних вузлів з врахуванням високочастотних напружень.

Ключові слова: слемінг; віпінг; втомне пошкодження; суднокорпусний вузол.

Вступ. Як відомо, судові корпусні конструкції зазнають дії змінних зовнішніх навантажень, які мають різне походження і природу та призводять з часом до появи втомних тріщин у конструктивних вузлах із суттєвим рівнем концентрації напружень. При цьому для визначення рівня втомного пошкодження вузла застосовується довготерміновий розподіл навантажень, обумовлених дією морського хвилювання [1,2]. Параметри такого розподілу залежать від положення в корпусі досліджуваного вузла та умов експлуатації судна [3,4] і можуть бути визначені спрощеним або деталізованим способом [1,3,4].

При розрахунку втомного пошкодження конструктивного вузла в першу чергу розглядають змінний хвильовий тиск, інерційні навантаження та загальний згин судна на хвилюванні. Іншими джерелами змінних навантажень є загальна вібрація корпусу судна (випінг), обумовлена слемінгом, а також загальна вібрація, спричинена дією на корпус морських хвиль високої частоти, яка наближується до частоти першого тону його вільних коливань.

Як вказано у [5,6], зазначені вібраційні напруження не враховувались раніше при розрахунку загальної міцності корпусів суден. Проте, причини аварій з розділом навіл контейнеровозів MSC Napoli (2007р.) та MOL Comfort (2013р.) дослідники відносять до результатів дії загальної вібрації, спричиненої слемінгом. Також втомні пошкодження, виявленні на великих рудовозах, теж вважають результатом дії вказаних вібраційних напружень. Це стало підставою для виконання низки експериментальних і теоретичних досліджень [5,7,8] з метою виявлення найбільш прийняттого способу врахування високочастотних напружень при розрахунку втомного пошкодження суднокорпусних конструкцій та корегування існуючих нормативних документів.

Метою цього дослідження є аналіз необхідності врахування високочастотних напружень при оцінці втомної міцності конструктивних вузлів корпусів суден, а також аналіз способів врахування таких напружень при оцінці циклічного пошкодження суднокорпусних вузлів.

Основна частина. Високий рівень напружень від загальної вібрації, спричиненої слемінгом, є характерним для суден із значним розвалом носових або кормових шпангоутів, до яких відносяться головним чином контейнеровози великої місткості [5]. Вібрація корпусу судна від хвиль високої частоти для суден такого типу, згідно [6], менш важлива.

В роботі [6] представлені результати модельних випробувань та натурних замірів величин втомного пошкодження конструктивних вузлів верхньої палуби суден-контейнеровозів різної місткості в районі мідель-шпангоута, спричиненої віпінгом, по відношенню до величин повного циклічного пошкодження цих вузлів. Ці дані були отримані різними авторами.

У випадку модельних випробувань у дослідному басейні моделювалась експлуатація суден-контейнеровозів у Північній Атлантиці, на торговельних шляхах із Східної Азії до Європи та по всьому світу. Такі випробування передбачали моделювання 16 станів моря із різними комбінаціями значень характерних висот хвиль H_z та їх періоду T_z . Місткість суден, які досліджувались, складала 4400, 8600, 13000 TEU.

Натурні випробування виконувались в умовах експлуатації конейнеровозів у Північній Атлантиці, на торговельних шляхах із Східної Азії до Європи та у Північному районі Тихого океану. З використання отриманих даних тензовимірювань, супутникової навігації, датчиків вітру, напрямку руху суден, висоти хвиль, слемінгу та прискорень розраховано величини повних втомних пошкоджень суднокорпусних вузлів та відносні величини втомних пошкоджень, які спричинені слемінгом. Розрахунки величин циклічного пошкодження виконувались за умови екстраполяції заміряних даних на 20 років експлуатації суден без врахування впливу корозії. Місткість суден, які досліджувались, складала 2800, 4000, 4400, 8600 TEU.

Зазначені результати модельних випробувань та натурних замірів зведені до табл. 1.

Таблиця 1 – Результати оцінки втомного пошкодження конструктивних вузлів верхньої палуби суден-контейнеровозів різної місткості [6]

Місткість судна, TEU	Умови експлуатації	Курсовий кут, град	Відносна доля втомного пошкодження від віпінгу, %
Модельні випробування			
4400	Північна Атлантика	0	37
8600	Північна Атлантика	0	86
8600	Світ	0	86
8600	Східна Азія – Європа	0	87
13000	Східна Азія – Європа	0	65
13000	Східна Азія – Європа	30	71
13000	Східна Азія – Європа	60	78
13000	Східна Азія – Європа	$30 \cdot \cos^2$	74
Екстраполяція натурних замірів до 20 років експлуатації суден			
2800	Північна Атлантика	–	26
4000	Північний район Тихого океану	–	39 за даними 2002 р. 46 за даними 2005 р.
4400	Північна Атлантика	–	29
8600	Східна Азія – Європа	–	55-57

У роботах [5,7] наведені результати експериментальних та розрахункових досліджень втомної міцності хрестоподібного зварного з'єднання, яке не передає навантаження (матеріал – сталь НТ35 з границею плинності $\sigma_T = 355$ МПа). Таке з'єднання є характерним для палубних конструкцій корпусів суден.

Дослідження були виконані для випадку двочастотного регулярного навантаження при таких величинах співвідношень періодів високочастотних та низькочастотних коливань σ_{a2}/σ_{a1} , які відповідали типовим їх значенням для великих суден-контейнеровозів. Значення σ_{a2}/σ_{a1} становили 0,5 та 1. Розрахунки на втому виконувались з використанням лінійної гіпотези підсумовування втомних пошкоджень та методу «дощу».

В результаті було показано, що основний внесок у загальне втомне пошкодження вузла вносять низькочастотні цикли навантаження з підвищеною за рахунок накладання високочастотних напружень амплітудою. Також було встановлено, що для $\sigma_{a2}/\sigma_{a1} = 0,5$ врахування високочастотних циклів напружень при визначенні величини втомного пошкодження вузла збільшує останню лише на 13%. Загалом, вплив високочастотних змінних напружень, накладених на низькочастотні, був значним: 79% втомного пошкодження було обумовлено віпінговим навантаженням при $\sigma_{a2}/\sigma_{a1} = 0,5$ та 93% при $\sigma_{a2}/\sigma_{a1} = 1$.

Також у роботах [5,7] були виконані експериментальні та розрахункові дослідження зварного вузла із зазначеними раніше характеристиками при моделюванні записаного на реальному судні навантаження (довжина запису 80 сек., запис включав високочастотні навантаження, накладені на хвильові низької частоти). Причому, в одних випадках застосовувалось зазначене навантаження без змін, в інших випадках – навантаження із відфільтрованими високочастотними циклами. В результаті було показано, що врахування тільки низькочастотних циклів навантаження при визначенні втомної міцності конструктивних вузлів дозволяє отримати майже ті ж самі результати, що й при застосуванні реального навантаження.

Таким чином, у [5,7] запропоновано враховувати навантаження від віпінгу наступним чином:

- 1) оцінити максимальне зростання розмаху хвильових навантажень від накладання навантажень від віпінгу;
- 2) помножити кумулятивний розподіл хвильових навантажень на коефіцієнт, отриманий на попередньому кроці;
- 3) застосувати лінійну гіпотезу для визначення втомного пошкодження.

Отримана за наведеним способом величина втомного пошкодження D перевищувала лише на 10% величину втомного пошкодження, отриману при реальному навантаженні.

В роботі [8] було розглянуто ряд методів сумування втомних пошкоджень від низькочастотного D_L та високочастотного навантаження D_H . Для визначення найбільш прийняттого методу було виконано серію втомних випробувань гладких зразків (сталь – ДН36, $\sigma_T = 355$ МПа) при різних комбінаціях відношень амплітуд та частот навантаження. Однак, більшість з цих комбінацій, нажаль, не була характерною для суднокорпусних конструкцій. Крім того, були виконані чисельні розрахунки, аналогічно до робіт [5,7]. В результаті було показано, що застосування лінійного закону підсумовування втомних пошкоджень у сукупності із методом «дощу» дозволяє отримати близькі до

експериментальних даних результати майже при всіх комбінаціях співвідношень амплітуд та частот навантаження.

Результати визначення величини втомного пошкодження гладких зразків при комбінованих навантаженнях низької та високої частоти, отримані усіма методами сумування величин D_L та D_H , що досліджувались у [8], мали значні відхилення від експериментальних даних. Відносно прийнятні результати спостерігались лише у випадку декількох методів у певних діапазонах співвідношенні амплітуд та частот навантаження.

Результат розрахунку величини втомного пошкодження при характерних в суднобудуванні співвідношеннях амплітуд та частот навантаження, близький до експериментальних даних, був отриманий лише із застосуванням DNV методу. Однак, цей метод, у форматі, який наведено у [8], призначено лише для випадку зовнішнього навантаження, яке утворюється при комбінуванні регулярних циклічних навантажень різної частоти. Його залежність містить параметри кривої втоми в S-N форматі.

Висновки.

1. До суден, для яких характерні значні напруження від віпінгу, відносять в основному контейнеровози великої місткості із значним розвалом бортових та носових шпангоутів, побудовані в останні десятиліття. Невелика кількість виконаних на даний час досліджень показує, що доля втомного пошкодження конструктивних вузлів в районі мідель-шпангоуту може досягати 50% за екстрапольованими на строк служби суден даними натурних замірів та перевищувати 80% за даними модельних випробувань.

2. Найбільш близьким до експериментальних даних методом визначення втомної міцності суднокорпусних вузлів у випадку значних навантажень від віпінгу можна вважати застосування лінійної гіпотези підсумовування втомних пошкоджень у комбінації із методом «дошу». Однак такий спосіб потребує детальної історії навантаження вузла. Інші методи потребують широкої експериментальної перевірки.

REFERENCES

- [1] Jurišić, P., Parunov, J., Senjanović, I. (2007). Assessment of Aframax Tanker Hull-Girder Fatigue Strength According to New Common Structural Rules. *Brodogradnja*, Vol. 58, No. 3. 262-267.
- [2] Mansour, F., Wirsching, P., Luckett, M., et al. (1997). *Assessment of Reliability of Existing Ship Structures*. Report SSC-398. Washington: Ship Structure Committee.
- [3] Glen, I.F., Dinovitzer, A., Paterson, R.B., Luznik, L., Bayley, C. (1999). *Fatigue-Resistant Detail Design Guide for Ship Structures*. Report SSC-405. Washington: Ship Structure Committee.
- [4] Det Norske Veritas. (2014). *Fatigue Assessment of Ship Structures*. DNV Classification notes No. 30.7.
- [5] Fricke, W., Paetzold, H. (2013). *Effect of Whipping Stresses on the Fatigue Damage of Ship Structures*. IIW-Doc. XIII-2487-13, Int. Inst. of Welding.
- [6] Storhaug, G. (2014). The measured contribution of whipping and springing on the fatigue and extreme loading of container vessels. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(4), 1096-1110.
- [7] Fricke, W., Paetzold, H. (2013). *Experimental Investigations on Fatigue Damage of Ship Structures caused by Whipping Stresses*, Proc. of 12th Int. Symp. on Practical Design of Ships and

Other Floating Structures (PRADS 2013, Eds. C.-S. Lee and S.-H. Van). Seoul: Korean Society of Naval Architects.

[8] Chaoshuai Han, Xianqiang Qu, Yongliang Ma, Dexin Shi. (2018). Experimental and Numerical Study of Fatigue Damage Assessment under Combined High and Low Cycle Loading. *Hindawi, Shock and Vibration*, Volume 2018, Article ID 904565.

Leontii Korostylov, Dmytro Lytvynenko

Analysis of effect of external high-frequency loads on fatigue strength of ship structures

Annotation. Analysis of the data of fatigue damage values due to whipping stresses in relation to total fatigue damage values has been performed for ship structural assemblies amidships of container vessels. Analysis of the methods for fatigue damage assessment with accounting the effect of high-frequency loads of ship structures has been performed additionally.

Keywords: slamming; whipping; fatigue damage; ship structural assembly.

Коростылев Л.И., Литвиненко Д.Ю.

Анализ влияния высокочастотных внешних нагрузок на усталостную прочность судокорпусных узлов

Аннотация. Выполнен анализ величин усталостного повреждения конструктивных узлов в сечении мидель-шпангоута контейнеровозов, обусловленных вибингом, по отношению к величинам полного усталостного повреждения этих узлов. Также выполнен анализ методов расчета усталостного повреждения конструктивных узлов с учетом высокочастотных нагружений.

Ключевые слова: слеминг; вибинг; усталостное повреждение; судокорпусный узел.

УДК 629.5.015.4

ОСОБЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙ ЗСУВУ НА КІНЕМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЗГИНАННЯ БАЛОК СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Коростильов Л. І. д.т.н.¹, проф, Дядюра Є. Ю. аспірант²
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;
Україна, м. Миколаїв;

¹ leontyy.korostilyov@nuos.edu.ua, ² yevgen.diadiura@nuos.edu.ua

Анотація. Виконано аналіз нерівномірності розподілу дотичних напружень по висоті стінки балок суднових конструкцій. Показано, що діюча методика врахування впливу деформацій зсуву на кінематичні параметри згинання не враховує значну нерівномірність розподілу дотичних напружень по висоті стінки балок, що вимагає удосконалення існуючої методики.

Ключові слова: деформація зсуву; нерівномірність розподілу; дотичні напруження; кінематичні параметри згинання.

Вступ. Судновий корпус представляє собою складну систему, до якої відносяться різного роду перекриття, рами різних типів та інші складові елементи, які сприймають

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Блінцов В.С., Ключков О.П., Куценко П.С. Проектні задачі створення безекіпажного самохідного прив'язного підводного комплексу на основі системного підходу4

Єгоров Г.В., Ільницький І.А., Тонюк В.І., Автуттов М.В. Практичні результати роботи розробленої бюро лінійки багатофункціональних рятувальних суден9

Гасанов Дж.Ф., Гасанов Ф.К. Некоторые вопросы спуска и транспортировки опорного блока морских платформ12

Казимиренко Ю.О. Оптимальний вибір конструкції біологічного захисту за комплексним коефіцієнтом технологічності18

Некрасов В.А. Устойчивость судна в штормовых условиях плавания. Продолжение традиций теории корабля при больших углах крена.....22

Король Ю.М. Методы вычислительной гидродинамки в задачах проектирования движительно-рулевого комплекса подводных лодок.....30

Кривошецов В.Е. Введение в методологию анализа/оценки надежности персонала (HRA) в морской индустрии/мировом судоходстве.....38

Секція № 1. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНЖЕНЕРІЇ

Боднарчук Ю.С., Король Ю.М. Особливості вибору параметрів для верифікації та валідації розрахунків опору методами обчислюваної гідродинаміки.....41

Боднарчук Ю.С., Король Ю.М. Дослідження засобів зниження опору методами обчислюваної гідродинаміки.....45

Король Ю.М., Фу Руїмін, Ван Женьян Parametric surface generator of axisymmetric submarines.....49

Секція № 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Єгоров Г.В., Тонюк В.І., Давидов І.П., Демідюк О.В. Особливості проектування кранового судна з трюмом без люкових закриттів проекту CV03.....53

Єгоров Г.В., Ільницький І.А., Єгоров О.Г., Калугін Я.В. Щодо створення оптимального річкового круїзного пасажирського судна для вітчизняних внутрішніх водних шляхів.....57

Єгоров Г.В., Автуттов М.В., Єгоров О.Г. Особливості створення судна допоміжного флоту з нульовими викидами.....62

Єгорова О.Г. Призначення оптимального класу судна змішаного ріка-море плавання з урахуванням сучасних поглядів на застосування розвинених надпалубних конструкцій65

Нільва В.О. Структурований аналіз пошкоджень конструкцій суден змішаного і внутрішнього плавання.....68

Остапук Н.Н., Селезнев С.Л. Применение газодизель-электрических энергетических установок, на пармах гого компании Дамен.....70

<i>Соценко В.В., Соценко В.В. Вибір оптимального земснаряду спільно з українським виробником «ВВСПЕЦТЕХНІКА».....</i>	<i>72</i>
<i>Савочкіна В.В., Бондаренко О.В. Аналіз методів розрахунку опору річкових суден..</i>	<i>76</i>
<i>Кротов О.І., Доброніченко О.М. Статистичні залежності для розрахунку елементів і характеристик малотоннажних танкерів.....</i>	<i>82</i>
<i>Zhang Xuanlong, Zhao Yilong, Бондаренко О.В. Методика оптимізації при концептуальному проектуванні танкерів і балкерів.....</i>	<i>87</i>
<i>Клименко А.М. Аналіз науково-дослідного флоту України.....</i>	<i>91</i>
<i>Доброніченко М.С. Розрахунок водотоннажності і навантаження мас балкерів на початкових етапах розробки проекту.....</i>	<i>94</i>
<i>Ли Чаоцзе Концептуальное проектирование моторной яхты для эксплуатации в Китайском море.....</i>	<i>97</i>
<i>Михайлов Б.Н. Луценко А.А., Йе Ценьцун Бортовое защитное устройство при столкновениях судов.....</i>	<i>101</i>
<i>Михайлов Б.Н. Луценко А.А., Цай Цычун Резервы палубных конструкций судов с большим раскрытием палуб.....</i>	<i>104</i>
<i>Yong Jiamiao, Yan Hui, You Zhenyu Research of solving optimization problems of main dimensions of the bulk carriers with different objective functions.....</i>	<i>107</i>

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

<i>Shchedrolosiev Oleksandr, Yahlytskyi Yurii, Kyrychenko Kostiantyn Major ways to improve the design and technology of composite dock building.....</i>	<i>116</i>
<i>Коростильов Л. І., Мартиченко Я. О. Особливості характеру граничних поверхонь та ліній при складному навантажуванні пластинчатих елементів.....</i>	<i>120</i>
<i>Коростильов Л.І., Литвиненко Д.Ю. Аналіз впливу високочастотних зовнішніх навантажень на втомну міцність суднокорпусних вузлів.....</i>	<i>125</i>
<i>Коростильов Л. І., Дядюра Є. Ю. Особливості врахування впливу деформацій зсуву на кінематичні параметри згинання балок суднових конструкцій.....</i>	<i>129</i>
<i>Соков В. М. Про коефіцієнти форми поперечного перерізу корпусу судна.....</i>	<i>132</i>
<i>Соков В. М. Вплив деяких факторів на частоти власних коливань загальної вібрації корпусу малих спеціальних суден.....</i>	<i>136</i>
<i>Суслов С. В., Чечель А. В. Метод розрахунку загальних динамічних деформацій корпусу судна з урахуванням поперечного зсуву й демпфування.....</i>	<i>140</i>