

УДК 004.422.833

**ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ МОДЕЛЮВАННЯ ОБУМОВЛЕНИХ РЕАКЦІЄЮ ХВИЛЬ
ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ХВИЛЬОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА КОРПУСИ СУДЕН****Суслов С.В.¹**

*¹кандидат технічних. наук, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
sergiy.suslov@nuos.edu.ua*

Анотація. Наведено опис програмного модуля, що реалізує розрахунок характеристик стохастичних моделей морського хвилювання, що відповідають заданому рівню хвильових навантажень за лінійною теорією. Використання таких моделей дає можливість суттєво зменшити потрібний обсяг обчислень при стохастичному моделюванні хвильових навантажень на корпус судна для визначення їх проектних величин. Функції модуля включають розрахунок АЧХ розгляданого навантаження, розрахунок характеристик моделей хвиль з заданим рівнем лінійної реакції і реалізації цих моделей.

Ключові слова: нелінійні хвильові навантаження; стохастичний аналіз; програмний модуль; моделі хвиль; заданий рівень реакції.

Вступ. З появою нових конструктивних типів суден і зростанням їх розмірів класифікаційні товариства включили у свої правила вимоги визначати проектні величини хвильових навантажень на основі прямих теоретичних розрахунків з використанням комп'ютерних програм для нелінійного моделювання хитами і стохастичного аналізу, що враховує випадковий характер морських хвиль [1, 2].

Для стохастичного аналізу хвильових навантажень потрібен достатній обсяг статистичних даних з характеристик хвиль, які діють на під час експлуатації судна і спричинених ними навантажень з врахуванням режимів хвилювання, що визначаються маршрутами плавання, варіантів завантаження судна, швидкості і кутів ходу відносно хвиль, під час експлуатації. Прямий розрахунок нелінійної хитами судна на випадковому хвилюванні (метод "грубої сили") [3]. для досягнення стійкості статистичних характеристик з малою імовірністю (10^{-6} , 10^{-8}) потребує великого обсягу обчислювальних ресурсів. Одним зі шляхів зменшення обсягу потрібних обчислень є використання моделей хвиль, обумовлених заданим рівнем реакції [4].

У Національному університеті кораблебудування України розроблено комплекс програм для нелінійних розрахунків хвильових навантажень "Wave Load" [4]. У розвиток можливостей комплексу додано модуль моделювання хвилеутворень, обумовлених рівнем величини навантаження.

Ціль роботи – розширення можливостей використання комплексу програм "Wave Load" при дослідженні нелінійних хвильових навантажень за рахунок зменшення потрібного обсягу розрахунків для стохастичного аналізу проектних величин шляхом долучення до комплексу модуля для моделювання хвиль, обумовлених заданим рівнем реакції.

Основна частина. Використаний підхід до зменшення потрібного обсягу розрахунків стохастичного аналізу засновано на припущенні, що визначальну складову проектних величин навантажень спричиняють певні хвилеутворення, урахуванням яких можна обмежитися при моделюванні. Такі хвилеутворення, у певному наближенні, може бути визначено лінійними розрахунками, заснованими на спектральній теорії, як у випадковому варіанті (Conditional Random Response Wave – CRRW), так і у детерміністичному – найбільш вірогідна хвиля (Most Like Response Wave – MLRW), що є математичним очікуванням стохастичних обумовлених хвиль [5].

Хвилювання подано випадковим процесом у часі $Z(x, t)$ підняття поверхні хвилі над рівнем спокійної води у точці з координатою x :

$$Z(x, t) = \sum_{n=1}^N a_{zn} [V_n \cos(\omega_n t - k_n x) + W_n \sin(\omega_n t - k_n x)], \quad (1)$$

де: $a_{zn} = \sqrt{S(\omega_n) \Delta \omega}$ – амплітуда n -ої хвильової гармоніки; $S(\omega_n)$ – спектр хвилювання; ω_n – кутова частота n -ої хвильової гармоніки; k_n – хвильове число;

V_n і W_n – незалежні випадкові величини зі стандартним нормальним розподіленням.

Випадкова хвиля CRRW, обумовлена реакцією r_c , може бути подана у вигляді процесу (1) при підстановці коефіцієнтів [6]:

$$\begin{aligned} V_{cn} &= V_n - \frac{a_{rn}}{m_2 m_0 - m_1^2} \{ [(m_2 - \omega_{en} m_1) S_1 + (m_1 - \omega_{en} m_0) S_4 - r_c (m_2 - (\omega_{en} + \omega_r) m_1 + \\ &\omega_r \omega_{en} m_0)] \cos \varphi_{rn} - [(m_{21} - \omega_{en} m_{01}) S_2 + (m_2 - \omega_{en} m_1) S_3] \sin \varphi_{rn} \} \\ W_{cn} &= W_n - \frac{a_{rn}}{m_2 m_0 - m_1^2} \{ [(m_2 - \omega_{en} m_1) S_1 + (m_1 - \omega_{en} m_0) S_4 - r_c (m_2 - (\omega_{en} + \omega_r) m_1 + \\ &\omega_r \omega_{en} m_0)] \sin \varphi_{rn} - [(m_{21} - \omega_{en} m_{01}) S_2 + (m_2 - \omega_{en} m_1) S_3] \cos \varphi_{rn} \}, \end{aligned} \quad (2)$$

де: $a_{rn} = A_r(\omega_n) a_{zn}$ – амплітуда n -ої гармоніки реакції на хвильове збудження; $A_r(\omega_n)$ – АЧХ реакції; φ_{rn} – зсув фази; m_k – спектральні моменти реакції; ω_{em} – гадана частота;

$$S_1 = \sum_{n=1}^N a_{rn} [V_n \cos \varphi_{rn} + W_n \sin \varphi_{rn}];$$

$$S_2 = \sum_{n=1}^N a_{rn} \omega_{em} [V_n \sin \varphi_{rn} + W_n \cos \varphi_{rn}];$$

$$S_3 = \sum_{n=1}^N a_{rn} [-V_n \sin \varphi_{rn} + W_n \cos \varphi_{rn}];$$

$$S_4 = \sum_{n=1}^N a_{rn} \omega_{em} [V_n \cos \varphi_{rn} + W_n \sin \varphi_{rn}].$$

Найбільш вірогідна хвиля MLRW, обумовлена заданою реакцією, може бути подана відповідною підстановкою осереднених значень коефіцієнтів:

$$\overline{V_{cn}} = \frac{a_{rn} r_c}{m_2 m_0 - m_1^2} [(m_2 - \omega_{en} m_1) - (m_1 - \omega_{en} m_0)] \cos \varphi_{rn}; \quad (3)$$

$$\overline{W_{cn}} = \frac{a_{rn} r_c}{m_2 m_0 - m_1^2} [(m_2 - \omega_{en} m_1) - (m_1 - \omega_{en} m_0)] \sin \varphi_{rn}.$$

Короткотермінові розподілення нелінійних хвильових навантажень можна розрахувати з використанням належного числа випадково згенерованих CRRW. Результати нелінійних розрахунків з детермінованою MLRW використовують для корегування короткотермінових розподілень, отриманих за лінійними розрахунками.

Модуль моделювання обумовлених реакцією хвиль розроблено за структурною методологією і закодовано, як весь програмний комплекс "Wave Load", мовою Pascal. У модулі реалізовано наступні функції:

1. Розрахунок лінійної АЧХ для відповідного виду реакції і зсуву фази при регулярному хвилюванні. Вихідними даними є геометричні й вагові характеристики судна і розрахункові значення хвильових частот. Значення АЧХ модуль отримує через звернення до модулю розрахунку хитамиці і хвильових навантажень "Wave Load" при завданні регулярних хвиль з малими висотами.

2. Розрахунок коефіцієнтів моделі випадкової хвилі CRRW за залежністю (2) і моделі MLRW за залежністю (3).

3. Моделювання стохастичного процесу хвилювання для моделі випадкової хвилі CRRW і хвилі MLRW при нелінійних розрахунках хвильових навантажень у комплексі "Wave Load".

Для налаштування параметрів моделей хвиль (1) було використано порівняння результатів розрахунків значень спектральних моментів безпосередньо інтегруванням спектру реакцій і сумуванням реакцій по складовим моделям хвиль, які показали, що число гармонік $N=50$ і діапазон частот $0.2 < \omega < 3.0$ забезпечують її адекватність.

Використання моделей обумовлених реакцією хвиль при розрахунках хвильових навантажень на корпуси суден для стохастичного аналізу проектних величин передбачає заміну

моделювання за методом "грубої сили" плавання в умовах трьохгодинного шторму на моделювання проходження таких хвиль протягом декількох хвилин реального часу. Хоча це дозволяє суттєво зменшити обсяг обчислень, але потрібні подальші дослідження вірогідності існування таких хвилеутворень і адекватності відтворення ними реальних критичних умов.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Temarel, P.X., Chen, B., Ergin, A., & others. (Eds.). (2009) ISSC Committee I.2: Loads, 17th International Ship and Offshore Structures Congress, ISSC -2009, Seoul: Seoul National University.
- [2] Lloyd's Register. (2018). ShipRight SDA Procedure – Global Design Loads of Container Ships and Other Ships Prone to Whipping and Springing. London: Lloyd's Register Group Limited.
- [3] Yu, L. (2010). Fatigue reliability of ship structures (Doctoral dissertation, University of Glasgow, 3010) (p.291). Glasgow, Scotland, UK.
- [4] Кочанов, Ю.П., Коростильов, Л.І., Суслов, В.П., Суслов, С.В., та інші. (2008). Разработка методов исследований и расчета нелинейных вероятностных квазистатических и динамических нагрузок и деформаций корпусов судов в экстремальных штормовых условиях (Rep. No. 0106U000829). Миколаїв, Україна: Національний університет кораблебудування.
- [5] Dietz, J. C. (2004). Application of Conditional Waves as Critical Wave Episodes for Extreme Loads on Marine Structures (Doctoral dissertation, Technical University of Denmark, 2004) (p. 218). Lyngby, Denmark.
- [6] Drummen, I., Wu, M. K., & Moan T. (2009). Numerical and experimental investigations into the application of response conditioned waves for long-term nonlinear analyses. Marine Structures. V. 22, 576 - 593.

Software module for the response conditional waves simulation for calculations of wave loads on ship hulls

Suslov Sergij Vitalyevich¹

¹Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Heroiv Ukrainy avenue, 9, Mykolaiv, 54025, Ukraine

Abstract. A software module for the response conditioned waves models characteristics calculation is described. The use of such models significantly reduces the required amount of calculations in stochastic simulation of wave loads on the ship hull to determine the design values. The module functions include the reaction frequency response calculation, the calculation of the response conditioned waves models characteristics, and the implementation of these models.

Keywords: nonlinear wave loads; stochastic analysis; software module; wave models; reaction conditional waves.

УДК 517.8

ЕФЕКТИВНИЙ АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ ЛІНІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

Титов С.Д.¹, Чернова Л.С.²

¹доцент кафедри управління проектами, Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ss1-ss10@ukr.net

²доктор технічних наук, доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій, Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
19chsk56@gmail.com