

- for powerful rotor excavating and dumping machines. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1972. 156 p. (Rus.)
7. Marhulis M.V. *Osnovy rascheta i metodologiya sozdaniia vysokomomentnykh volnovykh peredach dlia privodov tiazhelykh mashin*. Diss. dokt. techn. nauk [Fundamentals of evaluation and methods of developing high momentum harmonic drives, specified for heavy-duty machines. Doct. tech. sci. diss.]. Leningrad, 1991. 435 p. (Rus.)
 8. Kudryavtsev Y.N., Ivanov A.N. *Proektirovanie slozhnykh zubchatykh mekhanizmov* [Designing of complicated tooth mechanisms]. Leningrad, Machine building Publ., 1973. 332 p. (Rus.)
 9. Marhulis M.V. *Puti sovershenstvovaniia privodov liteinykh mashin razlichnogo naznacheniiia* [Ways of perfecting drives of casting machines]. *Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 2000, vol. 10, pp. 133-138. (Rus.)
 10. Cherpurnii A.D., Margulis M.V., Peklich M.M., Generalov O.O., Dobvol's'ka I.V. *Privid peresuvannia metalurgiiinoi mashini* [Drive of a motion machine for iron steel machines]. Patent UA, no. 21500, 2007. (Ukr.)
 11. Margulis M.V., Generalov O.O., Shurina M.L. *Privid peresuvannia transportnogo reikovogo zasobu* [Drive of rail transportation appliance]. Patent UA, no. 20258, 2007. (Ukr.)
 12. Margulis M.V. *Vyavlenie i raschet iskhodnogo (zamykaiushchego) zvena pri razmerno-funktional'nom analize silovoi volnovoi zubchatoi peredachi* [Identification and calculation of the original (closing) link with dimensional and functional analysis of the power of the wave gear drive]. *Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2010, vol. 20, pp. 199-203. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 07.09.2018

УДК 629.5.128.5:629.5.015

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160271

© Лугінін О.Є.¹, Коршиков Р.Ю.², Терлич С.В.³

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ МІЦНОСТІ І ВІБРАЦІЇ СУДЕН ТА ЇХ КОНСТРУКЦІЙ

Реалізуються комп'ютерно-орієнтовані математичні моделі загальної та місцевої міцності і вібрації суден. Розглядаються міцнісні задачі для судна і його конструкції, які узагальнені і комп'ютеризовані авторами для практичних потреб і для використання в навчальному процесі в розрахунках таких балочних схем: загального поздовжнього згину судна у вертикальній площині на тихій воді, спуску його з поздовжнього похилого стапеля і постановці в сухий док для здійснення ремонтних робіт; поперечного згину нерегулярних суднових перекриттів; визначення форм і частот вільної вібрації корпусу судна.

Ключові слова: математичні моделі, балочні схеми, загальна та місцева міцність, спуск і докування суден, вібрація корпусу судна.

¹ канд. техн. наук, професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, O.Looginin@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, ro574@yandex.ru

³ ст. викладач, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, sterlych@ukr.net

Лугинин О.Е., Коршиков Р.Ю., Терлыч С.В. Использование информационных технологий в обеспечении прочности и вибрации судов и их конструкций. Реализованы компьютерно-ориентированные математические модели общей и местной прочности и вибрации судов. Рассмотрены прочностные задачи для судна и его конструкций, которые обобщены и компьютеризованы авторами для практических целей и учебного процесса в расчетах таких балочных схем: общего продольного изгиба судна в вертикальной плоскости на тихой воде, его спуска с продольного стапеля и постановки в сухой док для выполнения ремонтных работ; поперечного изгиба нерегулярных судовых перекрытий; расчета форм и частот свободной вибрации корпуса судна.

Ключевые слова: математические модели, балочные схемы, общая и местная прочность, спуск и докование судов, вибрация корпуса судна.

O.E. Looginin, R.Yu. Korshykov, S.V. Terlych. The information technologies in providing ship and ship structures durability and vibration. The computer-oriented mathematical models providing general and local durability and vibration of ships are brought about. Problems in strength of the ship and her structures generalized and computerized by the authors both for the practical demands and training purposes are considered in the calculations of the following beam schemes: the estimation of general longitudinal deformation of the ship in vertical plane on quiet water, launching the ship from a longitudinal slant ship-way and raising in a dry-dock for repair works, cross-bending of the ship ceiling, calculation of forms and frequencies of free vibrations of the ship hull. Taking the ship model as a non-prismatic beam the cross-bending of the ship ceiling from water pressure on quiet water, launching the ship from a longitudinal slant ship-way and raising in a dry-dock for repair works have been considered. The strength model of the ship hull at her bending is brought about with the use of the developed universal method of five moments (M5M); (M5M) has been offered to calculate the local strength at cross-bending of the ship ceiling of arbitrary design and load, forms and frequencies of free vibrations of the ship hull have been defined by complex method, where the forms of vibrations are determined by the method of progressive approximations given by academician Yu.O. Shymansky, and frequencies of vibrations – by Grammel'-Shymansky power method. The results of the research are employed into the educational process of the Admiral Makarov National Shipbuilding University in studying the discipline: «Shipbuilding mechanics», «Mathematical models and numerical methods of building mechanics», «Shipbuilding technology». In the future, we are planning to develop the technology of lifting sea vessels to the slope for repair and re-equipment.

Key words: mathematical models, beam schemes, general and local durability, launching ships, docking, ship hull vibration.

Постановка проблеми. Під час проектування суден виникають задачі з оцінки їх міцності та вібрації, а в подальшому – і спуску зі стапеля та докування, які можуть бути реалізовані на основі спрощених балочних моделей і відповідних розрахункових методів. Ці спрощені моделі і методи їх реалізації дозволяють при невеликих витратах часу отримати оціночні результати, які у подальшому можуть бути уточнені з використанням більш досконалих підходів. Тому в даній статті розглядаються хоча і відомі міцнісні задачі, але спрощені та узагальнені авторами в розрахунках загальної та місцевої міцності і вібрації суден на основі їх балочних математичних моделей.

При проектуванні та конструюванні морських транспортних суден виникає проблема отримання загальних оцінок в розрахунках міцності та вібрації суден з мінімальними витратами часу на підготовку вихідних даних і отримання результатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При проектуванні суден на основі міцнісних нормативних документів [1-3] існуючі програмні комплекси [4, 5] з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) дають вичерпну інформацію за розрахунками загальної і місцевої міцності та вібрації суден. Але ці комплекси використовуються на останніх стадіях технічного проектування суден і потребують значних витрат часу на підготовку вихідних даних, отримання і ана-

лізу результатів розрахунків. У зв'язку з цим під час розроблення ескізного та технічного проекту суден доцільно використання спрощених розрахункових моделей і методів їх реалізації.

Мета статті – розробка спрощених розрахункових схем і методів на основі балочних моделей судна та його конструкцій з вирішення таких завдань: розрахунок загального згину судна на тихій воді; оцінка його згину при спуску з поздовжнього стапеля і постановці в сухий док; розрахунок поперечного згину довільних за конструкцією суднових перекриттів; визначення форм і частот головних вільних коливань корпусу судна.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження є проєктоване судно, його конструкції та їх елементи. Для розрахунку їх міцності та вібрації застосовуються спрощені розрахункові балочні моделі з використанням методу п'яти моментів (М5М) [1, 3] в розрахунках міцності суден та їх конструкцій, методу послідовних наближень акад. Ю.О. Шиманського для визначення форм і енергетичного методу Граммеля-Шиманського для визначення частот коливань корпусу судна [3].

На теперішній час використання програмних комплексів на основі МСЕ дає вичерпну інформацію за розрахунками міцності і вібрації суден при їх проєктуванні [1-3]. Але при проєктуванні та конструюванні суден виявляється доцільним використання спрощених і в той же час узагальнених розрахункових схем та заснованих на них методів розрахунку міцності і вібрації суден та їх конструкцій [3]. Такою спрощеною розрахунковою схемою в міцнісних розрахунках є балочна модель судна на основі М5М, а в розрахунках вільної вібрації корпусу судна – схема безопорної балки з використанням комплексного методу. Напрямами використання спрощених і комп'ютеризованих розрахункових схем в оцінках міцності та вібрації суден є такі завдання, розроблені авторами статті: розрахунок поздовжнього згинання судна на тихій воді; розрахунок згинання судна при його спуску з поздовжнього похилого стапеля та постановці в сухий док для проведення ремонтних робіт; розрахунок поперечного згину непрямокутної балки на пружних опорах; розрахунок поперечного згину нерегулярних за конструкцією суднових перекриттів; розрахунок форм і частот головних вільних коливань (ГВК) судна як прямокутної безопорної балки. Розглянемо принципову суть зазначених завдань.

Автоматизований на ПК розрахунок поздовжнього згинання судна на тихій воді складається з наступних кроків: визначення вагової водотоннажності та абсциси центру ваги судна; розрахунок об'ємної водотоннажності та абсциси центру величини; удиферентування судна; розрахунок ординат перерізуєчих сил та згинальних моментів у перерізах корпусу судна за теоретичними шпангоутами.

Вагова водотоннажність судна Δ розраховується за формулою:

$$\Delta = \sum_{j=1}^{n-1} p_j, \quad (1)$$

де p_j – навантаження судна в межах j -ї шпациї; n – число теоретичних шпангоутів ($n = 21$ або у спрощеному випадку $n = 11$).

Абсциса центру ваги x_g для навантаження, що розглядається, визначається залежністю:

$$x_g = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} p_j x_j}{\Delta}, \quad (2)$$

де x_j – координата центру ваги навантаження на шпацию, що відлічується від міделевого перерізу,

$$x_i = l \left(j - \frac{n}{2} \right), \quad (3)$$

де l – шпация, $l = L/(n-1)$, L – розрахункова довжина судна; j – параметр, що означає номер теоретичного шпангоута, $j = (n + 1 - i)$, i – номер теоретичного шпангоута при відліку від носового перпендикуляра.

Об'ємна водотоннажність для заданої ватерлінії обчислюється на підставі правила трапецій:

$$V = l \left(\sum_{j=2}^{n-1} \omega_j + \frac{\omega_1 + \omega_n}{2} \right), \quad (4)$$

де ω_j – площа зануреної частини j -го теоретичного шпангоута.

Абсциса центру величини x_c розраховується з використанням того ж методу чисельного інтегрування:

$$x_c = \frac{l}{V} \left(\sum_{j=2}^{n-1} \omega_j x'_j + \frac{\omega_n - \omega_1}{2} \cdot \frac{n-1}{2} \cdot l \right), \quad (5)$$

де x'_j – координата j -го теоретичного шпангоута, яка відраховується від міделевого перерізу:

$$x'_j = l \left(j - 1 - \frac{n-1}{2} \right). \quad (6)$$

Перед остаточним визначенням об'ємної водотоннажності судна і координати його центру ваги необхідно здійснити удиферентування судна, тобто визначити положення рівноважної ватерлінії, при якій будуть використовуватись умови плавучості судна:

$$|\Delta - \gamma V| \leq 0,005\Delta; \quad (7)$$

$$|x_c - x_g| \leq 0,001L, \quad (8)$$

де γ – питома вага води.

Традиційно удиферентування судна виконується по масштабу Бонжана за теоретичними шпангоутами для заданих ватерліній (числом не менше 5-8). При цьому виникає необхідність завдання великих масивів площин занурених у воду шпангоутів. Але кількість вихідних даних за масштабом Бонжана може бути значно зменшена [3], якщо апроксимувати лінії шпангоутів двома похилими прямими – вище і нижче конструктивної ватерлінії – КВЛ (рис. 1). Такий підхід для повнообводних суден у зрівнянні з практичними розрахунками дає похибку в результатах розрахунків не більше 3-5%.

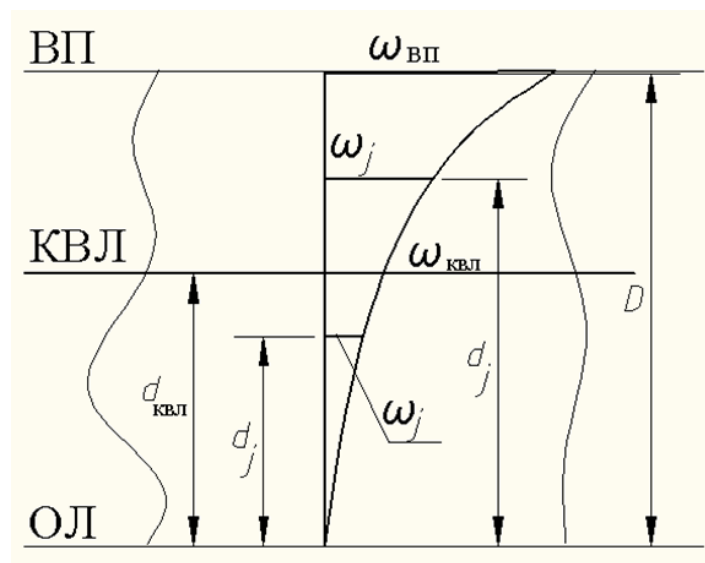


Рис. 1 – Апроксимація площ шпангоутів за масштабом Бонжана

З урахуванням залежностей (9) і (10) удиферентування судна здійснюється методом послідовних наближень. З прийнятим кроком по висоті борта початкова ватерлінія (КВЛ) піднімається, якщо $(\Delta - \gamma V) \geq 0$, або опускається при $(\Delta - \gamma V) < 0$.

Апроксимація дає можливість обчислення зануреної частини площ шпангоутів для будь-якого осідання судна d_j (рис. 1):

- при $d_j > d_{КВЛ}$:

$$\omega_j = \omega_{КВЛ} + \frac{d_j - d_{КВЛ}}{D - d_{КВЛ}} (\omega_{ВП} - \omega_{КВЛ}); \quad (9)$$

- при $d_j \leq d_{\text{КВЛ}}$:

$$\omega_j = \frac{d_j}{d_{\text{КВЛ}}} \omega_{j\text{КВЛ}}. \quad (10)$$

В цих залежностях об'ємна водотоннажність судна обчислюється за формулою (4). Послідовне підняття або опускання ватерліній закінчується при виконанні умови плавучості (7). Після цього ватерлінія починає повертатися від горизонтального положення відносно міделевого перерізу, збільшуючи приріст осідання носом судна при $(x_c - x_g) \leq 0$ або зменшуючи її при $(x_c - x_g) > 0$. В наведених умовах абсциса центру величини x_c розраховується за формулою (5). У загальному випадку знайдене похиле положення розрахункової урівноваженої ватерлінії відповідає виконанню умови плавучості (8), при цьому умова (7) теж повинна виконуватись.

Після здійснення удиферентування судна остаточно обчислюються величини V і x_c , які відповідають визначеним в розрахунку удиферентування силам підтримки з боку води.

Обчислення перерізуючих сил і згинальних моментів в перерізах корпусу судна в місцях теоретичних шпангоутів здійснюється за наступними формулами алгоритму з використанням наближених правил інтегрування.

Перерізуюча сила в перерізі j -го теоретичного шпангоута розраховується за формулами:

$$N_j = N_{jP} - N_{j\omega}, \quad (11)$$

де N_{jP} – частина перерізуючої сили від вагового навантаження, що обчислюється за правилом прямокутників:

$$N_{jP} = \sum_{i=1}^j P_i; \quad (12)$$

$N_{j\omega}$ – інша частина перерізуючої сили від сил підтримки води, яка розраховується за правилом трапецій:

$$N_{j\omega} = l\gamma \left(\sum_{i=2}^{j+1} \omega_i + \frac{\omega_1 + \omega_j}{2} \right). \quad (13)$$

Згинальний момент в перерізі j -го шпангоута теж обчислюється за правилом трапецій:

$$M_j = l \left(\sum_{i=1}^{j-1} N_i + \frac{N_1 + N_j}{2} \right). \quad (14)$$

За наведеним алгоритмом розрахунку згинання судна на тихій воді складена обчислювальна програма для ПК, яка реалізована як у практичних розрахунках проектування судна, так і в навчальному процесі [3].

Іншим завданням статті є автоматизований розрахунок поперечного згину непрямокутної балки з використанням М5М від різного за прогонами різноділеного навантаження між довільно розташованими пружними опорами різної жорсткості (рис. 2). Така математична модель реалізована в розрахунках згинання суден при спуску з поздовжнього стапеля та їх докуванні [3-5]. Модель була універсалізована і поширена [3] за рахунок врахування ряду факторів, що є важливими у практичних розрахунках: багатопронна балка вільно спирається на n пружних (жорстких) шарнірних опор з коефіцієнтами податливості A_i та пружно затиснена у кінцевих перерізах з коефіцієнтами пружних затиснень A_1 та A_n (рис. 2, а); у прогонах балка завантажена ступенево-рівномірним навантаженням інтенсивності g_1 , а у кінцевих перерізах – зосередженими силами P_1 , P_n і зовнішніми моментами M_1, \dots, M_n ; довжина прогонів l_i , момент перерізів M_i та площа стінок балки w_i у прогонах загалом різні; у загальному випадку багатопронна балка може мати початкові прогини w_i^0 (рис. 2, а); при навантаженні балки пружні опори отримують додаткові вертикальні переміщення w_i (рис. 2, б); в розрахунку за М5М враховується деформація зсуву в стінках балки.

Розрахунки згинання суден при спуску з поздовжнього стапеля та їх докуванні засновані на розглянутій вище математичній моделі поперечного згину непрямокутної багатопронної балки на пружних опорах. Розрахункові схеми цих практичних задач показані на рис. 3 і 4.

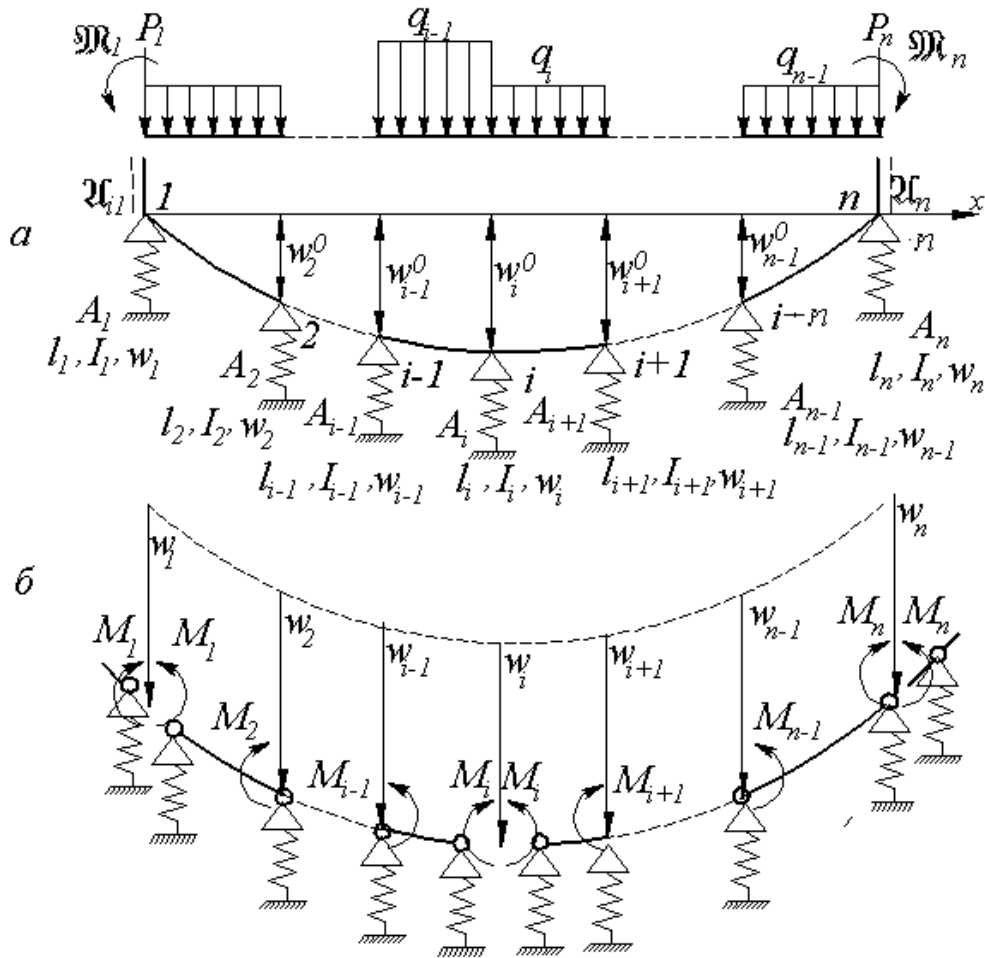


Рис. 2 – Згин багатопрогонної балки на пружних опорах: а – розрахункова схема; б – пружна лінія балки

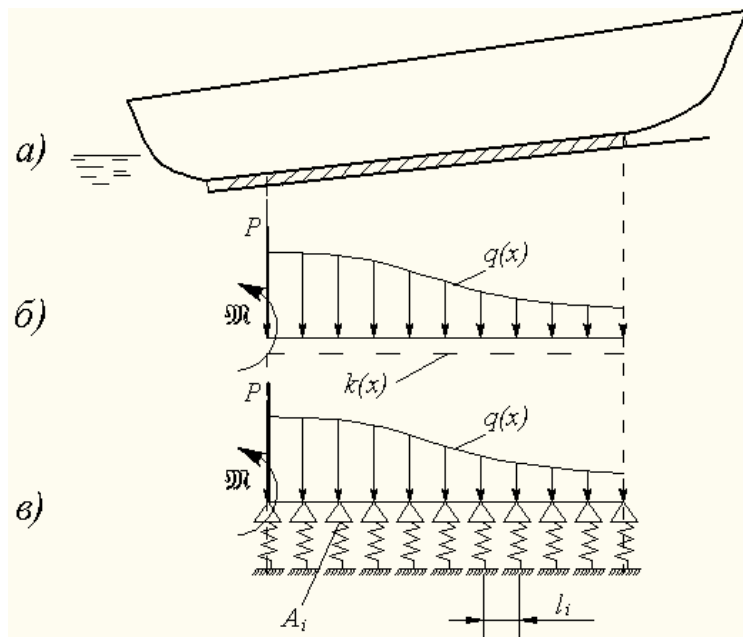


Рис. 3 – Згинання судна при спуску з поздовжнього стапеля: а – загальний вигляд спуску; б – розрахункова схема на пружній основі; в – розрахункова схема на шарнірно-пружних опорах

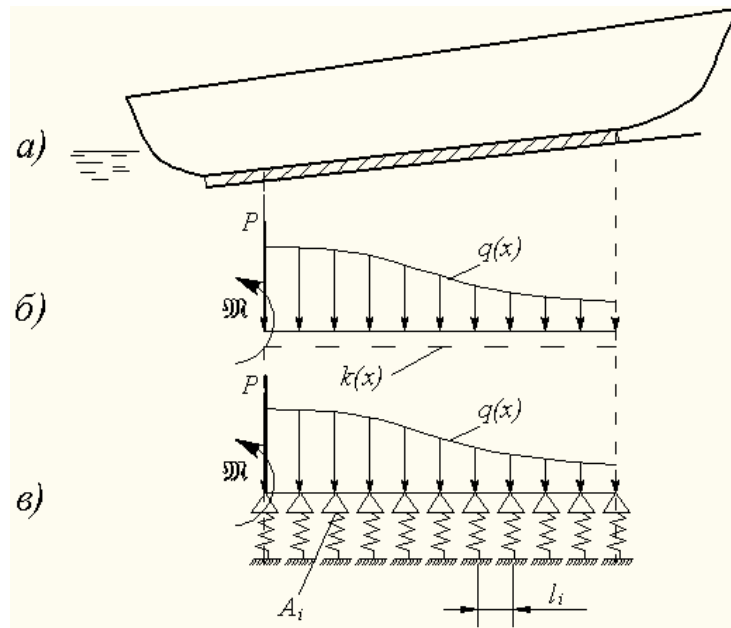


Рис. 4 – Згинання судна при постановці в сухий док: а – загальний вигляд докування; б – розрахункова схема на пружній основі; в – розрахункова схема на шарнірно-пружних опорах

Наступним завданням статті є розрахунок поперечного згину судових перекриттів на основі М5М. Універсалізація М5М у вирішенні цієї задачі полягає в автоматизованому врахуванні на ПК таких факторів: неортогональності перекриттів в плані; різної довжини і непризматичності довільної кількості балок головного напрямку (б.г.н.) m , та перехресних балок (п.б.) n ; довільних граничних умов б.г.н. та п.б. на опорному контурі; врахування розподілу навантаження між б.г.н. та п.б.; врахування деформації зсуву в стінках балок перекриття; прийняття розподіленого навантаження з боку тиску води за трапецевидним законом по ширині перекриття (як випадок – рівномірне розподілене навантаження).

Алгоритм розрахунку згину судових перекриттів на основі М5М полягає у наступному.

Б.г.н. розглядаються як балки на пружних опорах, які підтримуються у вузлах балками іншого напрямку – п.б. Статична невизначеність б.г.н. розкривається розрахунком вузлових згинальних моментів M_{js} (j – номер вузла розглядаємої б.г.н.; s – номер п.б., яка підтримує б.г.н.) на основі складання умов спільності кутових деформацій з урахуванням зазначених факторів. Прогини w_{js} вузлів б.г.н. в умовах спільності кутових деформацій визначаються через врахування частини зовнішнього навантаження, яке можуть сприймати п.б., і реакцій R_{js} взаємодії балок обох напрямків у вузлах. Тоді умови спільності кутових деформацій призводять до системи лінійних алгебраїчних рівнянь порядку $m \times n$:

$$\sum_{i=1}^m d_{ji} M_{js} = D_j, \quad j = 1 \dots n, \quad (15)$$

де d_{ji} – коефіцієнти при невідомих вузлових моментах, які залежать від геометричних характеристик балок перекриття; D_j – вільні члени системи рівнянь, залежні (крім зазначених факторів) від навантаження на б.г.н. і п.б.

Після розкриття статичної невизначеності перекриття розраховуються перерізуючі сили і згинальні моменти з подальшою перевіркою місцевої міцності.

Розрахунок загальної вібрації корпусу судна – одна з практичних задач, яка вирішується на стадії проектування. Складовою цього розрахунку є визначення форм і частот вільних коливань судна як безопорної непризматичної балки для традиційних типів суден, що розглядається останньою із завдань даної статті.

При коливаннях судна у воді до уваги слід приймати дію інерційних сил з боку води, що оцінюється в розрахунках вібрації суден деякою приєднаною масою, що бере участь разом з корпусом у коливаннях. З математичної точки зору приєднані маси води при коливаннях кор-

пусу є коефіцієнтами пропорційності між прискореннями судна та інерційними силами з боку рідини.

Вплив деформації зсуву та інерції кутових переміщень поперечних перерізів корпусу судна можна нехтувати у розрахунках перших тонів коливань [2, 3].

З урахуванням зазначеного диференціальне рівняння вільних коливань корпусу судна відносно форми s -их ГВК $f_s(x)$ приймає вид (x – горизонтальна координата вздовж довжини судна):

$$[EI(x)f_s''(x)]'' - \lambda^2 m(x)f_s(x) = 0, \quad (16)$$

де $EI(x)$ – жорсткість перерізів корпусу судна; f_s – кругова частота, яка відповідає s -м вільним коливанням; $m(x)$ – повна погонна маса, що дорівнює:

$$m(x) = m_c(x) + \mu(x), \quad (17)$$

де $m_c(x)$ – погонна маса корпусу судна з вантажем; $\mu(x)$ – погонна прилучена маса води і розподілення моменту інерції $I(x)$ можуть бути апроксимізовані за трапецієвидним законом сполучених прямих [3].

Форми ГВК безопорної балки $f_s(x)$ повинні задовольняти силовим практичним умовам, умовам урівноваженості сил інерції при коливаннях, умовам ортогональності форм ГВК за масами та жорсткістю [2].

Точний розв'язок диференціального рівняння (16) у загальному випадку отримати не вдається, тому в даній статті для визначення форм і частот ГВК застосовується комбінований метод, у якому форми ГВК визначаються методом послідовних наближень акад. Ю.О. Шиманського, а частоти – енергетичним методом Грамелля-Шиманського [3].

Форма ГВК у першому наближенні приймається як форма коливань для призматичної безопорної балки, яка у послідовних m наближеннях уточнюється врахуванням переміщення балки як твердого тіла і знаходження її нової здвигнутої і повернутої осі коливань.

В розрахунках тонів коливань при $s > 1$ процес послідовних наближень доповнюється умовами ортогональності форм коливань $f_s(x)$ з іншими наступними формами.

Кругова частота s -го тону ГВК за методом Грамелля-Шиманського має вигляд:

$$\lambda_s^2 = \frac{\int_0^L m(x)f_s^2 dx}{\int_0^L \frac{1}{EI(x)} \left(\int_0^x dx \int_0^x m(x)f_s(x) dx \right)^2}, \frac{1}{c}, \quad (18)$$

де L – розрахункова довжина судна.

$$N_s = \frac{30}{\pi} \lambda_s, \text{ кількість/хв.} \quad (19)$$

Формула (18) не враховує деформацію зсуву поперечних перерізів балки, а також інерцію кутових переміщень поперечних перерізів корпусу судна, якими можна нехтувати для перших тонів коливань [3].

Головні частоти вільних коливань при $s > 1$ можна визначати за формулою ЦНДІ імені академіка О.М. Крилова:

$$\lambda_s = c_s \cdot \lambda_s, \quad (20)$$

де c_s – коефіцієнт, який залежить від номера тону коливань і типу судна [2, 3].

Висновки

З використанням інформаційних технологій реалізовані на ПК математичні моделі міцності та вібрації суден.

Ці балочні моделі для традиційних типів суден поширені у статті врахуванням факторів за конструкцією та навантаженням, що необхідно приймати у практичних розрахунках і в навчальному процесі.

На основі моделі судна як непризматичної балки розглянуті задачі згинання судна на тій воді, його спуску з поздовжнього похилого стапеля і постановці в сухий док для виконання ремонтних робіт.

Міцнісні моделі корпусу судна при його згинанні реалізуються з використанням розробленого універсалізованого М5М; в розрахунках місцевої міцності запропоновано М5М для

розрахунку поперечного згину судових перекриттів за довільною конструкцією і навантаженням; розглянуто визначення форм і частот вільної вібрації судна комплексним методом, де форми коливань визначаються методом послідовних наближень академіка Ю.О. Шиманського, а частоти – енергетичним методом Граммеля-Шиманського.

Результати дослідження впроваджено в навчальний процес Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова при вивченні дисциплін: «Будівельна механіка корабля», «Математичні моделі та чисельні методи будівельної механіки», «Технологія суднобудування».

Перелік використаних джерел:

1. Расчет и конструирование докового опорного устройства. Расчет реакций опорного устройства при постановке судов в сухой и плавучий док : ОН9-964-09. – М., 1969. – 118 с.
2. Спуск судов и кораблей с продольных наклонных стапелей. Нормы и требования, предъявляемые к корпусам судов, кораблей и спусковым устройствам : ОСТ 5.1033-72. – М., 1972. – 154 с.
3. Антоненко С.В. Обеспечение прочности, остойчивости и непотопляемости судов при ремонте : учебное пособие / С.В. Антоненко. – Владивосток, Изд-во ДВГУ, 2008. – 231 с.
4. Шакирзянов Р.А. Курс лекций по строительной механике : учебное пособие / Р.А. Шакирзянов, Ф.Р. Шакирзянов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Казань : КГАСУ, 2014. – 144 с.
5. Основи теорії пружності, будівельної механіки, міцності та вібрації суден : навчальний посібник / А.М. Сердюченко [та ін.]. – Миколаїв : Вид-во НУК, 2012. – 424 с.
6. Трубицын А.В. Анализ влияния параметров режима бесцентрового шлифования высокопрочного порошкового материала на силовые характеристики процесса / А.В. Трубицын, В.И. Свирщев // Инновации в машиностроении – основа технологического развития России : материалы VI междунар. научн.-техн. конф. – Барнаул : АлтГТУ, 2014. – С. 202-205.

References:

1. ON 9-969-09. *Raschet i konstruirovaniye dokovogo opornogo ustrojstva. Raschet reakcij opornogo ustrojstva pri postanovke sudov v suhoj i plavuchij dok* [ON 9-964-09. The calculation and design of the dock support device. Calculation of the reactions of the support device when vessels are in dry and floating dock]. Moscow, Standartinform Publ., 1969. 118 p. (Rus.)
2. OST 5.1033-72. *Spusk sudov i korablej s prodol'nyh naklonnyh stapelej. Normy i trebovaniya, predmjavljajemye k korpusam sudov, korablej i spuskovym ustrojstvam* [OST 5.1033-72. The descent of ships and ships from the longitudinal inclined stocks. Standards and requirements for hulls of ships, ships and launch devices]. Moscow, Standartinform Publ., 1972. 154 p. (Rus.)
3. Antonenko S.V. *Obespechenie prochnosti, ostojchivosti i nepotopljaemosti sudov pri remonte* [Ensuring the strength, stability and floodability of vessels in the repair]. Vladivostok, Far-Eastern University Publ., 2008. 231 p. (Rus.)
4. Shakirzjanov R.A., Shakirzjanov F.R. *Kurs lekcij po stroitel'noj mehanike* [A course of lectures on structural mechanics]. Kazan, Construction and Architecture State University Publ., 2014. 144 p. (Rus.)
5. Serdjuchenko A.M. *Osnovi teorii pruzhnosti, budivel'noi mehaniki, micnosti ta vibracii suden* [Fundamentals of the theory of elasticity, structural mechanics, strength and vibration of vessels]. Nikolaev, Admiral Makarov National University of Shipbuilding Publ., 2012. 424 p. (Ukr.)
6. Trubitsyn A.V., Svirshchev V.I. *Analiz vliianiia parametrov rezhima bestsentrovogo shlifovaniia vysokotverdogo poroshkovogo materiala na silovye kharakteristiki protsesssa. Materialy VI Mizhd. nauch.-prakt. konf. «Innovatsii v mashinostroenii – osnova tekhnologicheskogo razvitiia Rossii»* [Analysis of the influence of the parameters of the centerless grinding of high-solids powder material on the process strength characteristics. Proceedings of VI Int. Sci.-Pract. Conf «Innovations in mechanical engineering are the basis of technological development of Russia»]. Barnaul, 2014, pp. 202-205. (Rus.)

Рецензент: О.В. Щедролосєв
д-р техн. наук, проф., ХФ НУК

Стаття надійшла 15.10.2018