

УДК 629.5

DOI 10.47049/2226-1915-2025-3-25-36

**ОЦІНКА НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ ПЛАВУЧИХ КРАНІВ «СТРИЖ»
ТА «ПК-888» ПРИ КОНТАКТІ З БОРТОМ БАЛКЕРУ ТИПУ «PANAMAX»**

О.О. Каніфольський

к.т.н., доцент кафедри «Суднобудування і судноремонту

ім. професора Ю.Л. Воробйова»

ORCID: 0000-0001-7288-4835

e-mail: oleksandrkanifolskyi@gmail.com

І.М. Мироненко

к.т.н., доцент кафедри «Морське та цивільне будівництво і архітектура»

ORCID: 0000-0002-5322-9859

e-mail: igmir1510@gmail.com

В.О. Арпентьєва

здобувач РВО «магістр» за освітньою програмою

«Експлуатація портового технологічного обладнання»

e-mail: arpenteva2018@gmail.com

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація. В цій статті розглянуті різні варіанти розрахунку навантажень на борти плавучих кранів, що виникають в результаті контакту з судном, при проведенні вантажних операцій. Використовується схема комплексної механізації перевантаження навалювальних вантажів, з використанням двох плавучих кранів.

В якості «розрахункового судна» прийнятий балкер типу «PANAMAX», в найнебезпечнішому стані, з точки зору навантажень від дії вітру, а саме: варіант «порожнє судно».

При такому навантаженні, судно має найбільшу площу парусності і, як результат, найбільше значення сили, від дії вітру, що впливає на корпуси плавкранів.

Задіяні різні схеми розрахунку вітрових навантажень, які викладені в Правилах Регістру судноплавства України, гідротехнічній літературі та будівельних нормах.

При оцінці міцності корпусів плавкранів були використані дані про заміри залишкових товщин конструкцій корпусу цих плавучих споруд.

Ключові слова: механізація перевантаження вантажів, навантаження на причал, площа парусності судна.

УДК 629.5

DOI 10.47049/2226-1915-2025-3-25-36

**ASSESSMENT OF LOADS FOR FLOATING CRANES «STRIZH»
AND «PK-888» IN CONTACT WITH THE SIDE OF A «PANAMAX» BULK CARRIER**

O. Kanifolskyi

Ph.D., Docent of Department «Shipbuilding and Ship Repair
named after prof. Vorobyev Yu.L.»
ORCID: 0000-0001-7288-4835
e-mail: oleksandrkanifolskyi@gmail.com

I. Myronenko

Ph.D., Docent of Department «Marine and Civil Engineering and Architecture»
ORCID: 0000-0002-5322-9859
e-mail: igmir1510@gmail.com

V. Arpentieva

applicant for a Master's degree in the educational program
«Operation of Port Technological Equipment»
e-mail: arpenteva2018@gmail.com

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. *In this article, various options for calculating the loads on the sides of floating cranes that arise as a result of contact with the vessel during cargo operations are considered.*

A scheme of complex mechanization of bulk cargo handling using two floating cranes is proposed. A bulk carrier of the PANAMAX type is taken as the «standard vessel», in the most dangerous condition from the point of view of loads from the action of the wind, namely: the «empty vessel» option.

With such a variant, the vessel has the largest sailing area and, as a result, the largest value of the force from the action of the wind acting on the hulls of floating cranes.

Various schemes for calculating wind loads are used, which are set out in the rules of the Register of Shipping of Ukraine, hydrotechnical literature and building codes.

When assessing the strength of the hulls of floating cranes, data on measurements of the residual thicknesses of the hull structures of these floating structures were used.

Keywords: *mechanization of cargo handling, loads at the quay, the sail area of the vessel.*

Вступ. Автори цієї статті – представники трьох базових факультетів на яких був заснований Навчально-науковий морський інженерно-технічний інститут ОНМУ: «Механізації портів», «Гідротехнічний» та «Кораблебудівний». Рішення проблеми лежить в області перетину наукових сфер, які відповідають підготовці фахівців на цих факультетах.

У сучасній портовій інфраструктурі ефективність вантажно-розвантажувальних робіт відіграє вирішальну роль у забезпеченні безперебійної логістики та економічної доцільності. Плавкрани є важливою складовою цього процесу, забезпечуючи можливість обробки вантажів у місцях, де причальна інфраструктура обмежена або потребує модернізації. Ця стаття є результатом дослідження, проведеного на запит капітанії порту «Південний», щодо можливості використання плавкранів «СТРИЖ» та «ПК-888» для завантаження балкерів типу «PANAMAX». Схема проведення вантажних операцій показана на рисунку 1. Балкери цього типу є одним з найбільш використовуваним класом суден, які застосовуються для перевезення навалочних вантажів, і вимагають особливих умов обробки.

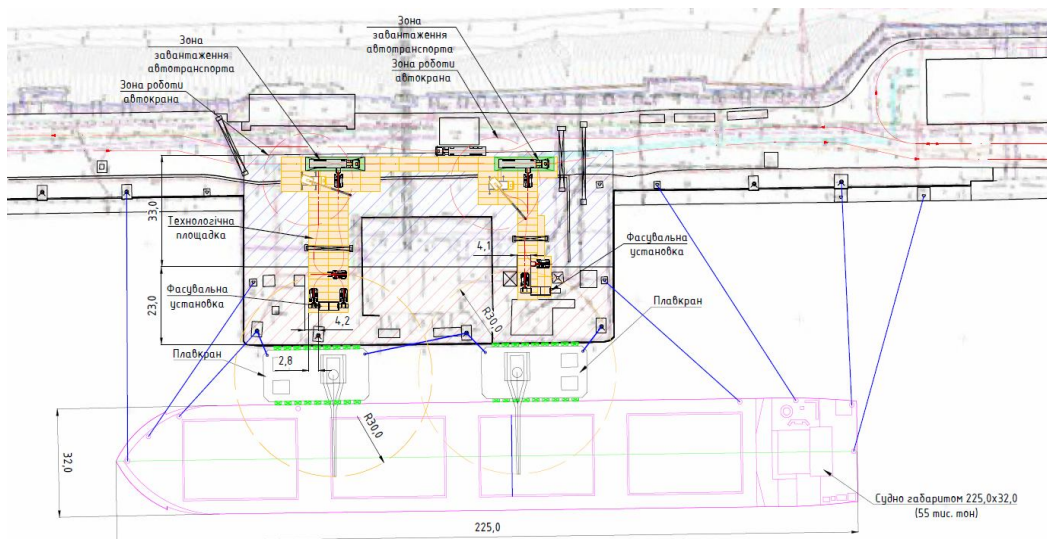


Рис. 1. Схема вантажних операцій [1]

Метою даного дослідження є комплексна оцінка технічного стану зазначених плавкранів з точки зору їхньої здатності безпечно та ефективно взаємодіяти з балкерами «PANAMAX» у схемі завантаження «причал – плавкран – судно». Для досягнення цієї мети було проведено аналіз конструктивних особливостей плавкранів, оцінку їхньої міцності та стійкості до навантажень, а також розрахунок сил взаємодії між судном та плавкранами при швартовці та вантажних операціях.

Результати цього дослідження мають велике практичне значення для портових операцій, оскільки вони дозволяють визначити оптимальні умови експлуатації плавкранів, мінімізувати ризики пошкоджень суден та інфраструктури, а також підвищити продуктивність вантажно-розвантажувальних робіт.

Мета роботи: Оцінити технічний стан плавкранів «СТРИЖ» та «ПК-888» з точки зору можливості їх використання для завантаження балкерів типу «PANAMAX», за схемою «причал – плавкран – судно».

Основна частина статті. Дослідження проводилися відповідно до чинних в Україні нормативних та керівних документів та з використанням розрахункових методів прийнятих у теорії проектування суден, будівельній механіці корабля, судноремонті, проектуванні підйомно-транспортних машин та гідротехнічному будівництві.

Методика дослідження базується на розрахунку сили що діє зі сторони пришвартованого до плавучих кранів балкера та порівнянні, цих діючих на бортові конструкції плавкранів, навантажень і розрахункових навантажень, що закладені в проект плавкранів, відповідно до вимог Регістру судноплавства України (PCY). Додатково розраховані реальні моменти опору поперечних перетинів балок, з урахуванням дії корозії, та порівняно значення цих моментів з розрахунковими, за правилами PCY.

В якості типового балкера прийнято судно проекту «CROWN-63». Судно без вантажу, з найбільшим значенням парусності, що є найгіршим варіантом, з точки зору впливу вітрових навантажень.

Значення тиску вітру вибрано відповідно до рекомендацій Регістру судноплавства України, для портового та рейдового району плавання.

В якості навантажень, що порівнюються з діючими навантаженнями, вибрані їх проектні значення, які були використані при створенні проектів плавучих кранів. Враховуючи те, що обидва плавкрани мають Класифікаційне свідоцтво Регістра судноплавства України, то можна стверджувати, що їхні конструкції корпусу мають характеристики міцності, яка вимагається Правилами.

Для оцінки впливу корозії на міцність бортових конструкцій плавкранів були використані дані Звітів про заміри залишкових товщин конструкцій. Враховані рекомендації PCY про необхідність приймати до уваги поправки на корозію, при розрахунках товщин набору та обшивки корпусу.

Розрахунок навантаження при навалі балкеру на плавкрани, від дії вітру. Розрахункове значення тиску вітру вибрано за рекомендаціями Регістру судноплавства України (PCY) [2] для обмеженого району плавання R3.

Згідно з положеннями PCY, «...R3 – морське і R3-IN – змішане (море-ріка) прибережне плавання з граничними та сезонними обмеженнями і рейдове та портове плавання у межах встановлених Регістром у кожному випадку з врахуванням умов вітрохвильового режиму з ймовірністю (повторюваністю) хвилювання з висотою хвиль 3 %-ї забезпеченості 2,0 м...».

Тиск вітру p_v , для району R3, рекомендується обирати рівним 252 Па. Цей тиск діє на площу парусності балкеру. Для розрахунку обраний варіант експлуатації, з найбільшою парусністю – «Propeller afloat condition at harbor».

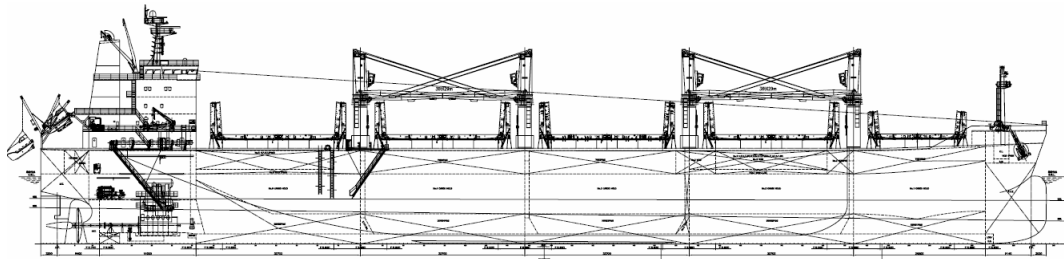


Рис. 2. Боковий вид балкеру [3]

Осадка судна, в цьому варіанті дорівнює $d = 3,1$ м. Площа парусності A , згідно з документом [3], дорівнює 4035 м^2 .

Сила, з якою балкер діє на плавкрани, дорівнює $F = p_v A = 1017 \text{ кН}$. Ця сила розподіляється на обидва плавкрани, по $F_1 = 508 \text{ кН}$ на кожний.

Площа плавкранів, на яку діє балкер, може бути розрахована по документам [4] та [5].

Для плавкрану «СТРИЖ» $S_{\text{стриж}} = 82 \text{ м}^2$.

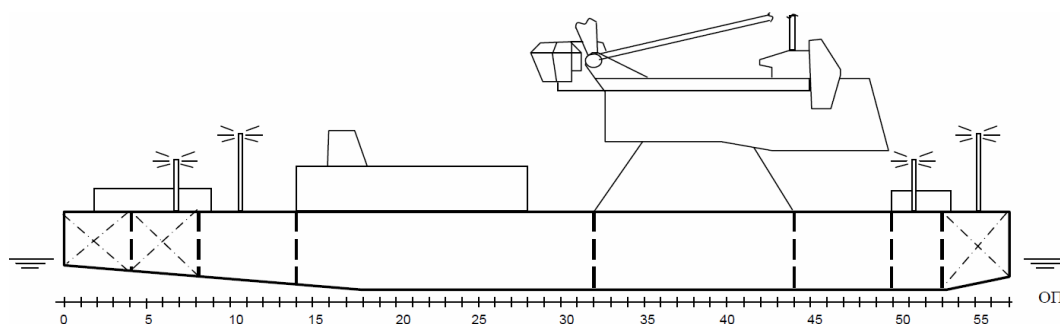


Рис. 3. Схема бокового виду плавкрану «Стриж»

Для плавкрану «ПК-888» $S_{\text{ПК-888}} = 79 \text{ м}^2$.

Тиск від навалу балкера на плавкран «Стриж» та «ПК-888» буде дорівнювати, відповідно

$$p_{\text{балкер}1} = \frac{F_1}{S_{\text{стриж}}} = \frac{508}{82} = 6,2 \text{ кПа} \quad (1)$$

$$p_{\text{балкер}2} = \frac{F_1}{S_{\text{ПК-888}}} = \frac{508}{79} = 6,4 \text{ кПа} . \quad (2)$$

Інший варіант розрахунку сили (кН) від впливу вітру на балкер запропоновано в [6]

$$F = 73,6 \cdot 10^{-5} A v^2 \zeta . \quad (3)$$

Цю формулу можна представити у вигляді

$$F = \frac{1,47 \cdot 10^{-3} A v^2 \zeta}{2} \quad (4)$$

Значення $1,47 \text{ кг/м}^3$, в формулі, означає щільність повітря при температурі, приблизно -30°C (тобто розглядається найгірший варіант).

Сила, що розрахована за формулою $F = \frac{1,47 \cdot 10^{-3} A v^2 \zeta}{2}$, з якою балкер діє на плавкрани дорівнює 920 кН, при швидкості вітру 25 м/сек.

Площу парусності в [6] рекомендовано рахувати за формулою

$$A = \alpha L^2 , \quad (5)$$

де α – коефіцієнт, що залежить від форми бокової поверхні судна та його довжини ($\alpha = 0,1$ для вантажних суден).

Площа парусності A може бути прийнята за формулою $A = \alpha L^2 = 4000 \text{ м}^2$, або згідно з документом [3], тобто рівною 4035 м^2 .

Додаткові навантаження від дії течії можуть бути розраховані наступним чином.

Поперечну Q_W , кН складову навантаження від дії течії на судно слід визначати за формулою

$$Q_W = 0,59 A_l v_t^2 = 58 \text{ кН} , \quad (6)$$

де $A_l = dL = 620 \text{ м}^2$ – бічна підводна площа парусності;

v_t – поперечна швидкість течії, забезпеченістю 2 % за навігаційний період, дорівнює 0,4 м/сек.

В цій роботі навантаження від течії враховуватися не будуть, в зв'язку з їх малим значенням.

Ще один метод визначення навантажень описаний в Державних будівельних нормах України «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування», ДБН В.1.2-2:2006 [7].

Експлуатаційне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою

$$p_v = \gamma_{fe} W_0 C, \quad (7)$$

де $W_0 = 500$ Па – характеристичне значення вітрового тиску, в даному районі;

$\gamma_{fe} = 0,21$ – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження;

C – коефіцієнт, що враховує аеродинамічні характеристики, висоту споруди, географічну висоту, рельєф, динаміку.

Згідно з цим варіантом розрахунку, тиск вітру має значення 140 Па, сила, з якою балкер діє на плавкрани, дорівнює 564 кН, або по 282 кН на кожен плавкран.

В таблиці 1 наведені дані по розрахунку навантажень на плавкрани різними методами.

Таблиця 1

Навантаження на плавкрани «СТРИЖ» та «ПК-888»

Показник	Правила РСУ	Підручник [6]	ДБН В.1.2-2:2006
Вітрове навантаження, Па	252	-	140
Сила від впливу вітру на балкер, кН	1017	920	564
Навантаження на один плавкран, кН	508	460	282
Тиск від навалу балкера на плавкран «СТРИЖ», кПа	6,2	5,6	3,4
Тиск від навалу балкера на плавкран «ПК-888», кПа	6,4	5,8	3,6
Розрахунковий тиск на бортове перекриття плавкрану «СТРИЖ», згідно до вимог РСУ, кПа	5,6		

З метою визначення навантаження від навалу завантаженого судна під час підходу до причалу розрахована кінетична енергія навалу судна, E_q , кДж при підході його до причальної споруди [8-9]

$$E_q = \frac{\psi D v^2}{2} = 155 \text{ кНм}, \quad (8)$$

де $D = 74922,2$ т – водотоннажність судна, при максимальній осадці;

$v = 0,09$ м/с – нормальна (до поверхні причалу) складова швидкості підходу судна м/с;

$\psi = 0,5$ – коефіцієнт, що приймається для морських суден залежно від конструкції причальної споруди.

У випадку підходу завантаженого судна до причалу, за відсутності у стінки плавучих кранів, для сприйняття енергії навалу E_q 155 кНм рекомендується відбійний пристрій типу «Trelleborg» MV 600 Р.

Розрахунок проєктних навантажень та характеристик балок плавкрану «Стриж», відповідно до правил Регістру судноплавства України. В цій роботі прийнято, що згідно до вимог РСУ, розрахунковий тиск, обумовлений переміщеннями корпусу відносно профілю хвилі p_{w0} , кПа, на рівні літньої вантажної ватерлінії визначається за формулою

$$p_{w0} = 5c_w a_v a_x, \quad (9)$$

де $a_v = \left[0,8v_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right) / \sqrt{L} \right] + 1,5$, коефіцієнт a_v , при нульовій швидкості дорівнює 1,5;

$a_x = k_x \left(1 - \frac{2x_1}{L} \right) \geq 0,267$, k_x – коефіцієнт, який дорівнює 0,8 і 0,5 для поперечних перерізів до носа та до корми від міделя відповідно, x_1 – відстань поперечного перерізу, який розглядається, від найближчого (носового або кормового) перпендикуляра, м.

У будь-якому випадку добуток $a_v a_x$ повинний прийматися не менше ніж 0,6.

Основним параметром розрахункових навантажень та прискорень, що їх сприймає корпус судна з боку моря, є хвильовий коефіцієнт C_w , який визначається залежно від довжини судна. Для суден довжиною менше ніж 90 м він розраховується як $c_w = 0,0856L$.

Для суден обмеженого району плавання хвильовий коефіцієнт повинний бути помножений на редуційний коефіцієнт. Для району плавання R3 цей коефіцієнт розраховується за формулою $\phi_r = 0,75 - 0,18 \frac{L}{100}$.

Для плавкрану «Стриж», $\phi_r = 0,75 - 0,18 \frac{L}{100} = 0,69$, $c_w = 1,89$,

$$p_{w0} = 5c_w a_v a_x = 5,7 \text{ кПа.}$$

Розрахунковий статичний тиск (нижче ватерлінії), кПа, що діє на корпус плавкрану «Стриж» з боку моря, визначається по формулах РСУ.

$$p_{st} = 10Z_i = 18 \text{ кПа}, \quad (10)$$

де $d = Z_i = 1,8$ – осадка плавкрану, м;

Сумарний тиск від статичного навантаження та навантаження від навалу балкера на плавкран буде

$$p = p_{st} + p_{балкер} = 18 + 6,2 = 24,2 \text{ кПа}. \quad (11)$$

Товщина листів бортової обшивки визначена за формулою РСУ [2].

$$s = \max \sqrt{\frac{p}{k_\sigma \sigma_n}} + \Delta s, \quad (12)$$

де $p = p_{st} + p_{балкер} = 24,2$ кПа – тиск, що діє на корпус судна з боку моря та від навалу балкера;

$a = 0,6$ м – шпация;

$m = 15,8$;

$k = 0,8$;

$k_\sigma = 0,6$;

$\sigma_n = 235$ МПа – розрахункова нормативна границя плинності за нормальними напруженнями;

Δs – запас на знос та корозію, мм.

З урахуванням запасу на знос і корозію товщина бортової обшивки має бути не менше ніж 6 мм. Реальна будівельна товщина обшивки 8 мм. З урахуванням результатів товщинометрії найменша товщина обшивки борту є 7,1 мм. Можна зробити висновок, що обшивка борту відповідає вимогам міцності, при навалі балкера на борт плавкрану «Стриж».

Потрібний момент опору шпангоуту, з урахуванням запасу на корозію, визначений по формулі РСУ [2]

$$W = W^* \omega_k = 38 \text{ см}^3 \quad (13)$$

$$W^* = \frac{Ql10^3}{mk_\sigma\sigma_n} = 21 \text{ см}^3 \quad (14)$$

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{W^*}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta s}{2}} \quad (15)$$

$$\omega_k = 0,1\Delta s + 0,96, \quad (16)$$

де $p = p_{st} + p_{балкер} = 24,2$ кПа – тиск, що діє на корпус судна з боку моря та від навалу балкера;

$$m = 10;$$

$$l = 1,5 \text{ м};$$

$$k_\sigma = 0,65;$$

$a = 0,6$ м – відстань, м, між балками основного або рамного набору, подовжнього або поперечного;

$$\sigma_n = 235 \text{ МПа};$$

$$Q = pal \text{ – поперечне навантаження на балку, яка розглядається, кН.}$$

На плавкрані «Стриж» шпангоути виконані із зварного тавру, розмір стінки 400×8 , розмір полки 120×12 . За результатами товщинометрії [10], мінімальні середні товщини стінки та полки є 7,1 мм та 11,2, відповідно. З урахуванням цих дійсних товщин, момент поперечного перетину шпангоуту, без приєднаного пояса, є 308 см^3 , що значно перевищує значення, яке вимагає РСУ.

Розрахунки проектних навантажень та розмірів балок для плавкрану «ПК-888» подібні до наведених вище (плавкрани «Стриж» та «ПК-888» схожі за характеристиками та за результатами заміру товщин конструкцій).

Висновки. Запропоновано нову схему оцінки навантажень на плавкран, при проведенні вантажних операцій, в якій враховано статичне навантаження нижче ватерлінії плавкрану та навал з боку балкера від дії вітру. Проаналізовано різні варіанти визначення тиску від дії вітру на балкер, відповідно до різних нормативних документів.

Розрахунки показали, що навантаження, які виникають при вантажних операціях, не перевищують допустимих значень, визначених нормативними документами. Різні методи розрахунку вітрових навантажень дали дещо різні результати, однак навіть у найгіршому випадку міцність конструкцій плавкранів забезпечена. Аналіз міцності бортової обшивки та шпангоутів плавкранів з урахуванням впливу корозії показав, що їхні технічні характеристики відповідають вимогам Регістра судноплавства України. Фактичні розміри елементів конструкцій, отримані в результаті замірів, перевищують розрахункові значення, що свідчить про достатній запас міцності.

Для забезпечення безпечної експлуатації плавкранів, при роботі з балкерами «PANAMAX», рекомендується враховувати обмеження швидкості вітру під час проведення вантажних операцій. В розрахунках прийнята швидкість вітру 25 м/сек.

Загалом, проведене дослідження підтверджує можливість безпечного використання плавкранів «Стриж» та «ПК-888» для проведення вантажних операцій з балкерами типу «PANAMAX», за умови дотримання рекомендацій щодо експлуатації та технічного обслуговування. Результати цієї роботи можуть бути використані для оптимізації портових операцій, підвищення їхньої ефективності та забезпечення безпеки судноплавства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Схема прийому розсипних мінералів з судна. ТОВ «Перша одеська торгівельна компанія».
2. Правила класифікації та побудови морських суден, К. Регістр Судноплавства України, 2002.
3. Report of light ship weight survey. 63500 dwt bulk carrier. Yangzhou Dayang Shipbuilding Co., Ltd.
4. Класифікаційне свідоцтво плавкран «Стриж».
5. Класифікаційне свідоцтво несамохідний плавкран «ПК-888».
6. Яковлев П., Тюрін О., Фортученко Ю. Портові гідротехнічні споруди. Транспорт. 1990.
7. ДБН В.1.2-2:2006. «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів». Навантаження і впливи. Норми проектування.
8. БНП 2.06.04-82* «Навантаження та впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові та від суден)». К., 1995. 48 с. (діючий).
9. РД 31.3.07-01 «Вказівки з розрахунку навантажень та впливів від хвиль, суден та льоду на морські гідротехнічні споруди». К., 2001.
10. Звіт № ЕТ 02/24. Про заміри залишкових товщин конструкцій корпусу нпк «СТРИЖ». «ООО Экотехнолоджи».
11. Звіт № ЕТ 03/24. Про заміри залишкових товщин конструкцій корпусу нпк «ПК-888». «ООО Экотехнолоджи».

REFERENCES

1. Scheme of reception of bulk fertilizers from the ship. «First Odesa Trading Company» LLC.
2. Rules for the classification and construction of sea vessels, K. Register of Shipping of Ukraine, 2002.
3. Report of light ship weight survey. 63500 dwt bulk carrier. Yangzhou Dayang Shipbuilding Co., Ltd.
4. Classification certificate of floating crane «Stryzh».
5. Classification certificate non-self-propelled floating crane «PK-888».

6. Yakovlev P., Tyurin O., Fortuchenko Yu. Port hydraulic facilities. Transport. 1990.
7. DBN V.1.2-2:2006. «A system for ensuring the reliability and safety of construction objects». Loads and influences. Design standards.
8. BNIP 2.06.04-82* «Loads and effects on hydrotechnical structures (wave, ice and from ships)». K., 1995. 48 p. (acting).
9. RD 31.3.07-01 «Instructions for calculating loads and impacts from waves, ships and ice on marine hydraulic structures», K., 2001.
10. Report No. ET 02/24. About measurements of the remaining thicknesses of the constructions of the «STRIZH» NPC hull. «Ecotechnologies LLC».
11. Report No. ET 03/24. About measurements of the remaining thicknesses of the constructions of the «PK-888» npc case. «Ecotechnologies LLC».

Стаття надійшла до редакції 03.02.2025

Посилання на статтю: Каніфольський О.О., Мироненко І.М., Арпентьєва В.О.

Оцінка навантажень для плавучих кранів «стриж» та «пк-888» при контакті з бортом балкеру типу «панamax» // *Вісник Одеського національного морського університету*: 36. наук. праць, 2025. № 3 (77). С. 25-36. DOI 10.47049/2226-1893-2025-3-25-36

Article received 03.02.2025

Reference a journal artic: Kanifolskyi O., Myronenko I., Arpentieva V.

Assessment of loads for floating cranes «strizh» and «pk-888» in contact with the side of a «panamax» bulk carrier // *Herald of the Odesa National Maritime University*: Coll. scient. works, 2025. № 3 (77). P. 25-36. DOI 10.47049/2226-1893-2025-3-25-36.