

В. О. Попов
В. М. Курдибаха
О. В. Грицун

МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СУДНОНАВАНТАЖУВАЧА ПІД ДІЄЮ КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ

Вінницький національний технічний університет

У статті виконано скінченно-елементне моделювання напружено-деформованого стану будівельних конструкцій стрічкового суднонавантажувача закордонного виробництва, що зазнав втрат від корозії, від кліматичних та технологічних впливів засобами програмного комплексу SCAD. В результаті аналізу розробленої тривимірної моделі, виявлено найбільш навантажені ділянки металевого каркасу суднонавантажувача, якими, в основному, виявилися елементи верхнього та нижнього поясів стріли та несучі конструкції площадки приводу підйому стріли. Оцінено технічний стан навантажених конструкцій та інших несучих конструктивних елементів. Визначено коефіцієнти запасів міцності та стійкості споруди, виявлено перевантажені ділянки. Визначено, що пульсаційний вітровий вплив може призвести до небезпечних розхитувань споруди, яка знаходиться у робочому стані з горизонтально розташованою стрілою та подаючою голівкою, зафіксованою в положенні для навантаження балкерів. Доведено, що загальна стійкість положення суднонавантажувача може бути порушена внаслідок ковзання по поверхні рейкових колій навіть за умови безвідмовної роботи стоянкових гальмівних систем. На основі принципів раціонального проектування запропоновані рекомендації з подальшої модернізації споруди та раціональні методи підсилення, які полягають у заміні дефектних конструктивних елементів стріли на нові, оброблені цинковмістким покриттям без збільшення загальної ваги стріли. На інших конструктивних елементах суднонавантажувача допускається підсилення дефектних конструкцій нарощуванням перерізу. Рекомендовано на час штормового попередження зберігати споруду у неробочому стані із стрілою, піднятою догори, влаштовувати страхувальні розчалки та додаткові якорні системи для недопущення ковзання. Розроблено інші рекомендації з подальшої безпечної експлуатації суднонавантажувача з урахуванням результатів розрахунку.

Ключові слова: суднонавантажувач, напружено-деформований стан, статичні і динамічні впливи, підсилення конструкцій.

Вступ

Ця наукова робота є логічним продовженням попередніх досліджень, присвячених портовим суднонавантажувачам [1], в якій було узагальнено інженерний досвід з обстеження будівельних конструкцій суднонавантажувачів, описано основні конструктивні елементи, принцип дії та доведено системний характер корозійного зносу основних несучих елементів на прикладі суднонавантажувача, розташованого на території АТ «ОПЗ» у м. Южне Одеської області. Особливістю навантажувачів, що експлуатуються в Україні є те, що більшість з них іноземного виробництва [2], вони виготовляються з профілів IPE, HEA, HEB, UPN за європейськими нормами EN 1957, EN 5362, NF A 45-201, NF A 45-202 та сталей S235JR та S355 по EN 10025-2, EN 10025-3 [5].

Основна частина

Для оцінки надійності та довговічності будівельних конструкцій навантажувачів необхідно дослідити їх напружено деформований стан під дією кліматичних, технологічних та особливих (сейсмічних) впливів з урахуванням ступеня зносу елементів, який відбувся протягом тривалої експлуатації.

Конструкція типового суднонавантажувача з продуктивністю роботи 1000 т за 1 годину [1, 2], модель якого досліджувалася, показана на рис. 1.

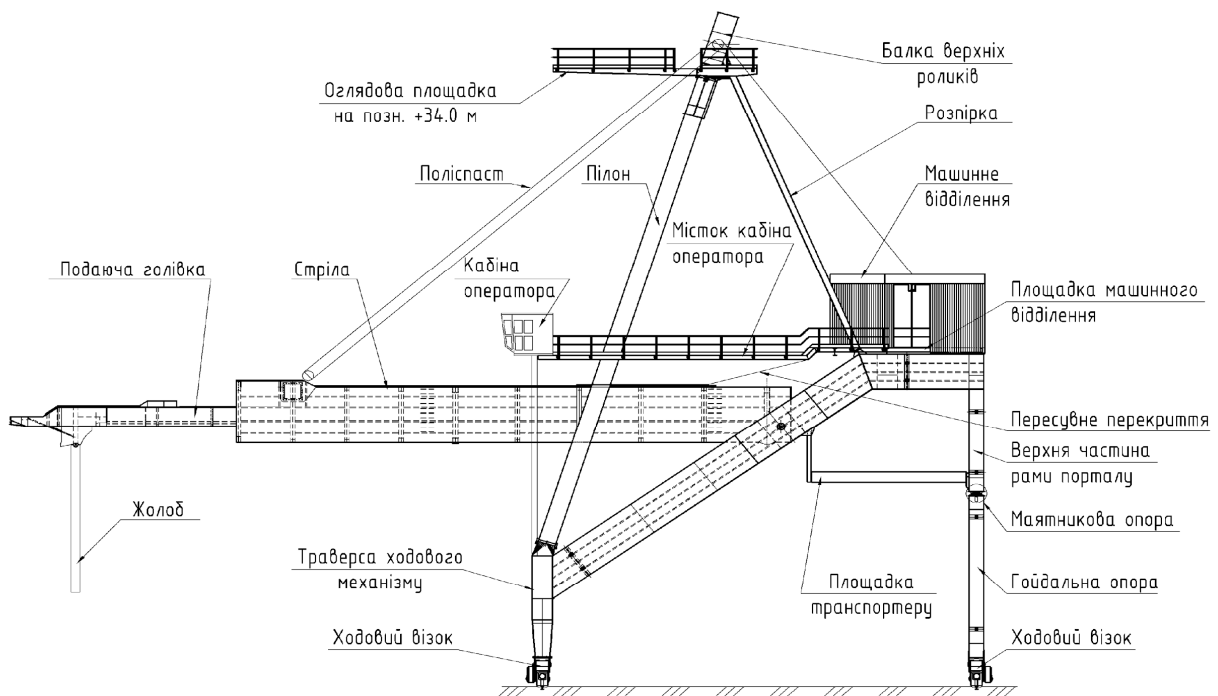
Кліматичні навантаження та впливи для конструкцій споруди прийняті згідно з нормативним документом [4]. Кліматичні впливи складаються з вітрових впливів, ожеледі, вітри при ожеледі, снігових та температурних впливів. Термін експлуатації складає 40 років у відповідності з проектною документацією заводу виробника. Граничні кліматичні впливи, у сукупності з постійними навантаженнями, слід розглядати окремо від технологічних, оскільки керівництвом з експлуатації цих споруд заборонено відвантаження продукції у випадку екстремальної

кліматичної ситуації (штормовий вітер, ожеледь, сніг). Експлуатаційні кліматичний впливи слід розглядати у сукупності з постійними та технологічними.

Для системи з багатьма ступенями вільності, до яких відноситься суднонавантажувач, аналітичне визначення внутрішніх зусиль, напружень, переміщень, власних частот коливань системи, надзвичайно трудомістке, тому, у подальшому досліджувалася скінчено-елементна модель, розроблена засобами програмного комплексу SCAD [5, 7].

Модель напружено-деформованого стану метало каркасу розроблена у пластинчасто-стрижневій постановці за методикою, викладеною у [7] з урахуванням низки припущень:

- конструкції подаючої голівки, що є технологічним навантаженням, розглядалися у найневигоднішому крайньому (робочому) положенні (максимально видвинуті за межі навантажувача);
- балочні елементи площадки приводу піднімання стріли обперті на конструкцію основи та верхньої частини рами порталу суднонавантажувача шарнірно;
- балочні елементи – стрижні, вага яких зосереджена в їх центрах мас;
- металеві настили площадок враховані корисним навантаженням, що не збільшує загальну жорсткість площадок;
- система канатів поліспаств зафіксована у робочому положенні, та працює як суцільний гнучкий елемент.



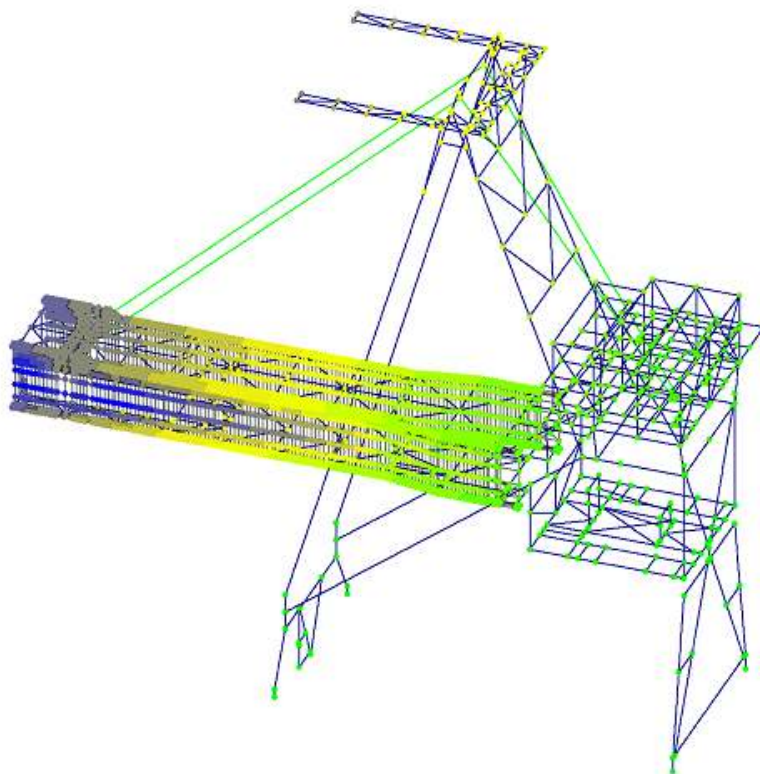
Риунок 1 – Схема розташування будівельних конструктивних елементів суднонавантажувача

Тривимірна візуалізація скінченно-елементних моделей основних конструктивних елементів показана на рис. 2.

В результаті аналізу різноманітних комбінацій навантажень, виявлено, що найбільш небезпечним з точки зору міцності і стійкості є комбінація Постійні впливи + граничні вітрові впливи перпендикулярно головній площині симетрії споруди.



Рисунок 2 – Тривимірний скінченно-елементна модель суднонавантажувача



0	16.53
16.53	33.05
33.05	49.58
49.58	66.1
66.1	82.63
82.63	99.16
99.16	115.68
115.68	132.21
132.21	148.73
148.73	165.26
165.26	181.78
181.78	198.31
198.31	214.84
214.84	231.36
231.36	247.89
247.89	264.41

Рисунок 3 – Результати розрахунку деформацій споруди (переміщення конструкцій вздовж осі Oy від дії основних сполучень навантажень).

Аналіз результатів розрахунку комп'ютерної моделі показав, що максимальні горизонтальні переміщення металоконструкцій суднонавантажувача від дії основних комбінації навантажень вздовж рейок дорівнюють 264,41 мм, що менше ніж 1/75 вильоту консолі стріли [6, п. 4.6] і становить 333 мм (див. рис.3). За результатами розрахунку можна зробити висновок, що горизонтальні переміщення є значними, однак не перевищують граничних значень. З огляду на це, для уникнення появи аварійних ситуацій, умовами експлуатації передбачити виключно верхнє (неробоче) положення стріли на час вітрових впливів швидкість яких перевищує 15 м/с.

В результаті аналізу напружено-деформованого стану конструкції суднонавантажувача виявлено, що внаслідок тривалої (близько 40-річної) експлуатації окремі металоконструкції споруди зазнали втрат від корозії, а також механічних пошкоджень та деформацій елементів, що суттєво знизило міцність, жорсткість, надійність та довговічність системи [8, 9]. Внаслідок корозії найбільший знос спостерігається на стінках стійок основи рами порталу поблизу шарнірів, елементах головних та другорядних балок площадки машинного відділення, розкисній системі плоских ферм верхнього та нижнього поясу стріли та подаючої голівки.

Після виконання комплексних аналітичних та міцнісних розрахунків за методикою, наведеною у [7], можна зробити такі висновки:

- міцність та стійкість елементів рами пілону, розпірки, траверси ходового механізму з боку моря, головних балок стріли, подаючої голівки забезпечена;
- коефіцієнт використання перерізу локальних ділянок стійок основи рами порталу поблизу шарнірів наближається до межі міцності та складає близько 0,9;
- міцність будівельних конструкцій гойдальної опори та верхньої частини рами порталу, в цілому, забезпечена. Найбільш напруженими елементами є ділянки балок поблизу шарніру, коефіцієнти використання яких, місцями, наближаються до 0,8;
- міцність та стійкість підсилених елементів розпірок верхнього поясу стріли забезпечена, окрім окремих аварійних розпірок з двотавра HEA 160 та HEA 220, верхній пояс яких зазнав понаднормативних втрат перерізу [1], конструкції яких аварійні;
- міцність і стійкість розкосів верхнього поясу стріли, що зазнали критичного корозійного зносу не забезпечені, конструкції аварійні;
- міцність локальних ділянок елементів каркасу пересувного перекриття стріли, які зазнали значних втрат перерізу [1] (більше 20%) не забезпечена;
- міцність і стійкість розкосів та підсилених розпірок нижнього поясу стріли з дефектами елементів підсилення [1] не забезпечена, конструкції не придатні до експлуатації;
- міцність головних балок площадки машинного відділення з двотаврів IPE 400, IPE 300, IPE 220 та другорядних балок зі швелера UPN 240 забезпечена, однак коефіцієнт використання локальних ділянок, що зазнали втрат від корозії наближається до 1,0;
- міцність головної балки IPE 270, другорядних балок IPE 140 площадки машинного відділення не забезпечена, конструкції аварійні.

Розрахунками встановлено, що загальна зсувна сила від розрахункового вітру, яка зміщує суднонавантажувач вздовж рейкових колій, перевищує загальну утримуючу силу тертя ковзання. Це явища носить назву втрата стійкості ковзання. Тому рекомендується на час штормового попередження додатково розкріплювати конструкцію суднонавантажувача розчалками та якірними системами.

Стійкість до перекидання суднонавантажувача при всіх розрахункових комбінаціях кліматичних впливів забезпечена.

Модальний аналіз металокаркасу суднонавантажувача під дією пульсаційної складової вітрового навантаження, виконаний за методикою, викладеною у [7, 9] доводить, що перша форма супроводжується коливанням стріли «вліво-вправо», друга – коливанням рами пілону та розпірки разом зі стрілою, «вліво-вправо» (рис. 4). Внаслідок втрат від корозії та зміни масово-жорсткісного співвідношення конструкцій системи, частоти власних коливань споруди за 1-ю та 2-ю формами

($\int_{1\mu} = 0,81$ та $\int_{2\mu} = 1,01$ відповідно) можуть резонувати з вітровою пульсацією та є вкрай небезпечними. Тому для подальшої безпечної експлуатації слід, по можливості, замінити існуючий важний металевий відвантажувальний жолоб, прикріплений до найбільш віддаленої точки споруди на зовнішньому краю подаючої голівки, на полегшений полімерний та збільшити загальну жорсткість споруди відновленням перерізу елементів, які зазнали понаднормативної корозії.

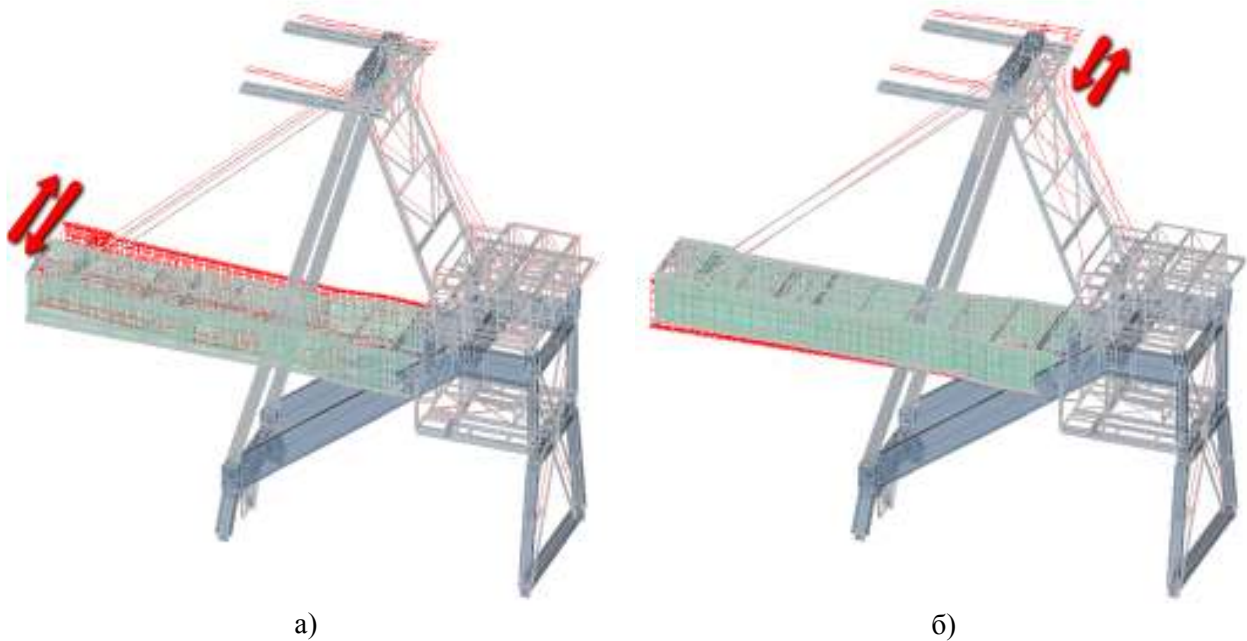


Рисунок 4 – Ймовірні форми власних коливань металокаркасу суднонавантажувача, що можуть резонувати з пульсаційною складовою вітрового впливу: а – перша форма, б – друга форма.

Основні рекомендації за результатами міцнісних розрахунків

За умов дотримання умов експлуатації металокаркасу суднонавантажувача (забороняється експлуатувати споруду на час сейсмічних впливів, при сильному поривчастому вітрі із швидкостями більше 15 м/с, при значних ожеледних відкладеннях) елементи металокаркасу в цілому мають значний запас міцності, стійкості і жорсткості.

Перевантажені конструктивні елементи потребують невідкладного підсилення, особливо елементи верхнього та нижнього поясу стріли, перевантажені елементи площадки машинного відділення. При підсиленні не допускається збільшення загальної ваги конструкцій стріли, що може призвести до подальшого погіршення динамічних характеристик споруди. Тому, для підсилення дефектних конструкцій, слід використовувати спосіб заміни пошкоджених профілів на профілі аналогічної жорсткості, що оброблені надлишковим цинковмістким покриттям товщиною на менше 50 мкм.

Для підсилення інших конструкцій допускається спосіб нарощування перерізу.

За ділянками балок верхньої частини рами порталу та гойдальної опори поблизу еластомерної опори слід встановити нагляд. Не рідше 2 разів на рік контролювати стан металу та зварних швів цієї зони.

Для подальшої безпечної експлуатації слід замінити існуючий важний металевий відвантажувальний жолоб, прикріплений до найбільш віддаленої точки споруди на зовнішньому краю подаючої голівки, на полегшений полімерний та збільшити загальну жорсткість споруди відновленням перерізу елементів, які зазнали понаднормативної корозії.

Висновки

1. В процесі виконання цієї наукової роботи було розроблено скінченно-елементну модель суднонавантажувача під дією кліматичних впливів з урахуванням зносів металокаркасу від корозії. Виявлено, що найбільш не вигідною є основна комбінація навантажень з ураганним вітром перпендикулярно головній вертикальній площині симетрії споруди. Вплив від вітру може спричинити втрату стійкості ковзання суднонавантажувача навіть у випадку безвідмовної роботи гальмівних систем.

2. Локалізовано найбільш небезпечні з точки зору міцності ділянки металокаркасу, якими виявилися: окремі головні та другорядні балки площадки машинного відділення дефектні розпірки та розкоси верхнього та нижнього поясів стріли, локальні ділянки елементів каркасу пересувного покриття стріли.

3. Модальний аналіз металокаркасу суднонавантажувача під дією пульсаційної складової вітрового навантаження доводить, що, внаслідок понаднормативного корозійного зносу окремих

конструктивних елементів і, як наслідок, зменшення загальної жорсткості споруди, частоти власних коливань споруди за 1-ю та 2-ю формами. можуть резонувати з вітровою пульсацією та є вкрай небезпечними.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов В. О., Курдибаха В. М. Інженерний досвід візуального та інструментального обстеження суднонавантажувачів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2019-1. С. 12 – 18.
2. Степанов А. Л. Портовое перегрузочное оборудование. М., Транспорт, 1996, 328 с.
3. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, парадоксы и ошибки. 3-е изд., М.: Наука. Гл. ред. физико-математической литературы, 1979, – 384 с.
4. Навантаження і впливи. Норми проектування. ДБН В.1.2-:2006. [На заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10)]. [Чинний від 2007-01-01] – К. : Мінбуд України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Сталеві конструкції. Норми проектування. ДБН В.2.6-168:2014. На заміну ДБН В.2.6-163:2010 у частині розділу 1 та ДСТУ Б В.2.6-194:2013. [Дата надання чинності 01.01.2015 р.] – К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с. – (Національний стандарт України).
6. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Введ. 3 1 січня 2007 р. на заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85. К.: Мінбуд України, 2006. – 10 с.
7. Попов В.О. Безфундаментні башти-атракціони з високоточним стовбуром. Монографія / В.О. Попов, І.П. Кондратенко, А.П. Ращепкін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 208 с.
8. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд. Держкомітет України з будівництва і архітектури. ДБН В.3.1-1-2002. Київ. 2003, 82 с. – (Державні будівельні норми України).
9. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. К., «ДПУкрНДНЦ»: Мінрегіон України, 2017. – 80 с. – (Національний стандарт України).
10. Система забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. ДБН В.1.2-14-2009. К.: Мінбуд України, 2009. – 37 с.

REFERENCES

1. Popov V. O., Kurdybakha V. M. The engineering experience of visual and instrumental survey of shippers. Modern technologies, materials and constructions in construction. Scientific and technical collection. Vinnitsa, VNTU, 2019-1. Pp. 12 – 18.
2. Stepanov A. L. Port reloading equipment. M., Transport, 1996, 328 p.
3. Panovko Y.G., Gubanova I.I. Stability and oscillation of elastic systems: Contemporary concepts, paradoxes and errors. 3rd ed., Moscow: Nauka. Gl edit Physical and Mathematical Literature, 1979, - 384 pp.
4. Load and impact. Design standards. DBN V.1.2-: 2006. [To replace SNiP 2.01.07-85 (except section 10)]. [Effective from 2007-01-01] - K. : Minbud of Ukraine, 2006. - 71 p. - (State building codes of Ukraine).
5. Steel structures. Design standards. DBN V.2.6-168: 2014. To replace DBN B.2.6-163: 2010 in part 1 and DSTU B B.2.6-194: 2013. [Date effective 01.01.2015] - K. : Minregion of Ukraine, 2014 - 199 p. - (National Standard of Ukraine).
6. 6. Torsion and displacement. Design requirements. DSTU B V.1.2-3: 2006. Introduction From January 1, 2007 to replace section 10 SNiP 2.01.07-85. K. : Minbud of Ukraine, 2006. - 10 p.
7. Popov V.O. Unfounded tower-towers with high-precision barrel. Monograph / V.O. Popov, IP Kondratenko, AP Rachevkin - Vinnitsa: UNIVERSUM-Vinnitsia, 2009. - 208 p.
8. Repair and strengthening of bearing and enclosing building constructions and bases of industrial buildings and constructions. State Committee on Construction and Architecture of Ukraine. DBN V.3.1-1-2002. Kiev. 2003, 82 p. - (State building codes of Ukraine).
9. Estimation of the technical state of the steel structures used. DSTU B V.2.6-210: 2016. K., "DPUkrRDNTS": Minregion of Ukraine, 2017. - 80 p. - (National Standard of Ukraine).
10. System of reliability and constructive safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and constructive safety of buildings, structures, constructions and foundations. DBN B.1.2-14-2009. K. : Minbud of Ukraine, 2009. - 37 p.

Попов Володимир Олексійович — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, email: v.a.popov.vntu@gmail.com, ORCID:0000-0003-2379-7764.

Курдибаха Владислав Миколайович — магістрант. Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, e-mail: jjjust96@gmail.com, ORCID:0000-0003-4607-3611.

Грицун Олександр Володимирович — магістрант. Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, e-mail: devilgreenblind@gmail.com, ORCID: 0003-1103-7266.

V. Popov
V. Kurdybaha
O. Grytsun

MODELING OF SHIPS LOADER'S CONSTRUCTIONS UNDER THE ACTION OF CLIMATIC IMPACTS

Vinnytsia National Technical University

The article contains a finite element modeling of the stress-strain state of the structures of a foreign manufactured belt ships loader, taking into account wear from corrosion, from the effects of climatic and technological impacts of SCAD software systems. As a result of the analysis of the developed three-dimensional model, the most loaded sections of the metal frame of the ship loader were identified, which turned out to be elements of the upper and lower boom belts and supporting structures of the boom lift drive platform. Have been evaluated the technical condition of the loaded structures and other supporting structural elements. Have been determined the factors of safety and stability of the structure were determined, and have been identified its overloaded areas. Have been determined that the pulsation component of the wind pressure can lead to dangerous swinging of the structure, which is in the working position with a horizontal boom and feed head fixed in the position for loading of bulk carriers. Have been proven that the general stability of the position of the ship loader may be impaired due to sliding over the surface of the rails even under the condition of trouble-free operation of the parking systems. In accordance with the principles of rational design, recommendations for further modernization of the structure and rational amplification methods are proposed, the essence of which is to replace defective structural elements of the boom with new ones treated with zinc-containing coating without increasing the total weight of the boom. On other structural elements of the ship loader, it is allowed to reinforce defective structures by increasing the section. It is recommended to keep the structure in a non-working position with the boom raised up in case of a storm warning, to install safety lines and additional anchor systems to prevent slipping. Other recommendations have been developed for the further safe operation of the ship loader based on the results of the calculation.

Key words: ships loader, stress-strain state, static and dynamic effects, reinforcement of structures.

Popov Vladimir – Ph.D. docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Vinnytsia national technical university, email: v.a.popov.vntu@gmail.com, ORCID:0000-0003-2379-7764.

Kurdybaha Vladyclav – student, Vinnytsia National Technical University, e-mail: jjjust96@gmail.com, ORCID:0000-0003-4607-3611.

Grytsun Oleksandr – student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city, e-mail: devilgreenblind@gmail.com, ORCID: 0003-1103-7266.

В. А. Попов
В. Н. Курдыбаха
А. В. Грицун

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СУДОПОГРУЗЧИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВЛИЯНИЙ

Винницкий национальный технический университет

В статье выполнено конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния строительных конструкций ленточного судопогрузчика зарубежного производства, с учетом износа от коррозии, от воздействия климатических и технологических воздействий средствами программного комплекса SCAD. В результате анализа разработанной трехмерной модели выявлены наиболее нагруженные участки металлокаркаса судопогрузчика, которыми оказались элементы верхнего и нижнего поясов стрелы и несущие конструкции площадки привода подъема стрелы. Выполнена оценка технического состояния нагруженных конструкций и других несущих конструктивных элементов. Определены коэффициенты запаса прочности и устойчивости сооружения, выявлены перегруженные участки. Определено, что пульсационная составляющая ветрового давления может привести к опасным раскачиваниям сооружения, которое находится в рабочем положении с горизонтально расположенной стрелой и подающей головкой, зафиксированной в положении для загрузки балкеров. Доказано, что общая устойчивость положения судопогрузчика может быть нарушена вследствие скольжения по поверхности рельсов даже при условии безотказной работы стояночных систем. В соответствии с принципами рационального проектирования предложены рекомендации по дальнейшей модернизации сооружения и рациональные методы усиления, суть которых состоит в замене дефектных конструктивных элементов стрелы на новые, обработанные цинкосодеждающим покрытием без увеличения общего веса стрелы. На других конструктивных элементах судопогрузчика допускается усиление дефектных конструкций наращиванием сечения. Рекомендовано при штормовом предупреждении сохранять сооружение в нерабочем положении со стрелой, поднятой вверх, установить страховочные тросы и дополнительные

якорные системы для недопущения скольжения. Разработаны и другие рекомендации по дальнейшей безопасной эксплуатации судопогрузчика с учетом результатов расчета.

Ключевые слова: судопогрузчик, напряженно-деформированное состояние, статическое и динамическое воздействие, усиление конструкций.

Попов Владимир Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры, Винницкий национальный технический университет, email: v.a.popov.vntu@gmail.com, ORCID:0000-0003-2379-7764.

Курдыбаха Владислав Николаевич – магистрант, Винницкий национальный технический университет, e-mail: jjjust96@gmail.com, ORCID:0000-0003-4607-3611.

Грицун Александр Владимирович – магистрант, Винницкий национальный технический университет, e-mail: devilgreenblind@gmail.com, ORCID: 0003-1103-7266.