

СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ ВІКТОР

Одеський національний морський університет

<https://orcid.org/0000-0001-7027-9498>e-mail: [vict141174@gmail.com](mailto:vict141174@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У МЕХАНІЗМІ ПІДЙОМУ ПОРТАЛЬНОГО КРАНУ «ГАНЦ» ПРИ ПЕРЕВАНТАЖЕННІ СИПКИХ ВАНТАЖІВ

У роботі наведено експериментальні дослідження динамічних зусиль у механізмі підйому грейферних порталних кранів «Ганц» з понаднормовими термінами експлуатації, при перевантаженні піску. Об'єкт досліджень використовують для перевантажень сипких матеріалів у морському порту. Для визначення динамічних зусиль використано електротензометричний метод. У процесі досліджень одночасно вимірювали і швидкість підйому, за допомогою тахометрів які були встановлені стітвісно з валами електродвигунів. За отриманими експериментальними даними встановлено ймовірнісні характеристики розподілу експлуатаційних значень динамічних навантажень у механізмі підйому. Аналіз отриманих даних продемонстрував, що при перевантаженні вантажів вагою від 8 тон до 16 тон значення коефіцієнтів динамічності у замикаючих канатах варіюються від 1,2 до 2. Обчислені коефіцієнти динамічності перевищують рекомендовані для порталних кранів, що свідчить про перевантаження підйомних механізмів. Гістограма розподілу ймовірностей ваги вантажу, котрий підіймає кран за цикл роботи показала, що у процесі роботи кран переважно перевантажує від 13 до 15 тон вантажу, що підіймається, з врахуванням ваги грейфера.

Ключові слова: порталний кран, динамічні зусилля, механізм підйому, коефіцієнт динамічності.

STRELBITSKYI VIKTOR  
Odessa National Maritime University

### STUDY OF OPERATIONAL DYNAMIC LOADS IN THE LIFTING MECHANISM OF THE PORTAL CRANE “GANZ” DURING THE TRANSSHIPMENT OF BULK CARGO

Portal grab cranes are an integral part of port infrastructure used to handle bulk materials, including grain, ore, coal, and other dry bulk cargo. However, due to the difficult economic situation, more than 90% of port cranes have reached the end of their standard service life. The supply of new machines to ports remains limited. Since portal cranes play a key role in technological processes, their reliability and uninterrupted operation are critical to the efficiency of port terminals.

Numerous studies have confirmed that fatigue failure, which occurs due to excessive cyclic loads, is the main cause of crane accidents. The intense load cycles inherent in crane operations accelerate the manifestation of this fatigue process. However, the dynamic loads on gantry cranes that have been in operation for more than 40 years remain insufficiently studied. Each individual crane requires a special analysis, since the dynamic characteristics of the mechanisms depend on the conditions of their operation, as well as on the geometric, physical, and mechanical properties of its components.

Given that the forces in the ropes of lifting systems depend on many factors that are difficult or even impossible to take into account during modeling, they are most often determined using experimental methods.

The paper presents experimental studies of dynamic forces in the lifting mechanism of grab portal cranes “Ganz” with extended service life during sand handling. The object of research is used for handling bulk materials in a seaport. The electrotenometric method was used to determine the dynamic forces. In the course of the research, the lifting speed was simultaneously measured using tachometers that were mounted coaxially with the motor shafts. Based on the experimental data obtained, the probabilistic characteristics of the distribution of operational values of dynamic loads in the lifting mechanism were determined. The analysis of the data obtained showed that when overloading loads weighing from 8 to 16 tons, the values of the dynamism coefficients in the closing ropes vary from 1.2 to 2. The calculated dynamism coefficients exceed those recommended for gantry cranes, which indicates an overload of the lifting mechanisms. The histogram of the probability distribution of the weight of the load lifted by the crane per work cycle showed that during operation, the crane mainly overloads from 13 to 15 tons of the load being lifted, taking into account the weight of the grab.

Keywords: portal crane, dynamic forces, lifting mechanism, dynamic coefficient.

### Постановка проблеми

Портальні грейферні крани є важливою частиною портової інфраструктури, що використовується в для перевантаження насипних вантажів, таких як зерно, руда, вугілля та інші [1-11]. Вони широко використовуються у портах по всьому світу для обробки згаданих вантажів [1,12,13]. Однак, через складне економічне становище останніх 25 років, понад 90% портових кранів вичерпали свій нормативний термін служби. Поставки нової техніки у порти є обмеженими [4-11]. Оскільки порталні крани є ключовим елементом технологічного процесу, їх надійна та безперервна експлуатація має критичне значення для продуктивності портових ліній [4-11]. Для раціонального вибору компонентів приводної системи крана необхідно знати максимальні динамічні навантаження на ці елементи.

Як показує досвід експлуатації, основною причиною відмов кранів є надмірна експлуатація в умовах інтенсивного циклічного навантаження [4-16]. Тому визначення рівня динамічних навантажень у механізмах підйому грейферних кранів є актуальною науково-практичною задачею.

### Аналіз останніх джерел

Численні дослідження показали, що втомне руйнування через надмірне циклічне навантаження є основною причиною поломок кранів [4-15]. Інтенсивні циклічні навантаження, характерні для кранових операцій, прискорюють цей процес втоми. Проте, динамічні навантаження на порталні грейферні крани, які

експлуатуються понад 40 років, вивчені недостатньо. Слід відмітити, що навантаження в підйомних механізмах крана змінюється у часі протягом періоду експлуатації [8-15]. Тому, кожен конкретний кран потребує індивідуального аналізу, оскільки динамічні властивості механізмів залежать від умов експлуатації, а також від геометричних, фізичних і механічних характеристик їхніх складових [1-5,8-15].

**Метою дослідження** є дослідження та аналіз експлуатаційних динамічних навантажень в приводі підйому грейферних порталних кранів «Ганц» з понаднормовими термінами експлуатації.

### Виклад основного матеріалу

Враховуючи, що зусилля в канатах підйомних систем залежать від численних факторів, які важко або навіть неможливо врахувати під час моделювання, їх частіше за все визначають за допомогою експериментальних методів.

Об'єктами досліджень було обрано 2 ідентичні крани «Ганц» 16/27.5, які працюють в грейферному режимі з вантажами вагою від 8 тон до 16 тон у морських та річкових портах на вильотах стріли 19 м [6,11].

Для вимірювання динамічних зусиль у механізмі підйому використано електротензометричний метод.

У процесі підйому вантажу важливо вести контроль за кількома параметрами, щоб забезпечити точність і надійність вимірювань. Використання тензодатчиків для вимірювання навантаження і тахометрів для вимірювання швидкості підйому дозволяє отримати об'єктивні дані для аналізу ефективності підйомного процесу [10-15].

На початку процесу підйому вантажу, електронна система вимірювання активується, що дозволяє забезпечити збереження початкових значень у момент початку роботи. Сигнали тензодатчиків, котрі були закріплені на підтримуючих та замикаючих канатах, надходив до пристрою збору даних (АЦП), котрий під'єднано до блоку портативного комп'ютера. Попередньо тензодатчики протаровані заводом виробником.

Після опускання грейфера для завантаження вантажу запускали безперервний запис показань датчиків. Ця процедура дозволяє зафіксувати зміни в навантаженні під час підйому. При підйомі грейфера на висоту 2,5 м, отримуємо зміну показників, які відображають як фізичні характеристики самого вантажу, так і динаміку підйомного процесу.

Зусилля в канатах лебідок механізмів підйому реєструвалися під час експлуатаційних досліджень крану за варіантом «склад-судно», з метою визначення кількості перевантаженого вантажу. Гістограма розподілу ймовірностей ваги вантажу, котрий підіймає кран за цикл роботи наведена на рис.1.

Подальший аналіз та обробка отриманих експериментальних даних дозволили встановити, що:

1) математичне сподівання динамічних зусиль в замикаючих канатах складає  $m(S_z) = 296\text{кН}$ ;

2) математичне сподівання динамічних зусиль в підтримуючих канатах складає  $m(S_n) = 239\text{кН}$ .

Дослідження показали, що рівень зусиль у замикаючому канаті перевищує рівень для підтримуючого, що цілком узгоджується з відомими дослідженнями [9-14].

За відомим розподілом ймовірностей ваги вантажу буда побудована гістограма розподілу ймовірностей значень коефіцієнтів динамічності, котрі розраховані за формулою (1):

$$k_D = \frac{S_k}{Q}. \quad (1)$$

де  $Q$ - вага вантажу;

$S_k$  – динамічне зусилля в канаті.

Статистична обробка отриманих експериментальних даних показала, що:

1) математичне сподівання маси вантажу, що підіймається, з врахуванням ваги грейфера складає  $m(Q) = 14,9\text{т}$ ;

2) середньоквадратичне відхилення маси вантажу, що підіймається складає  $\sigma(Q) = 0,143\text{т}$ .

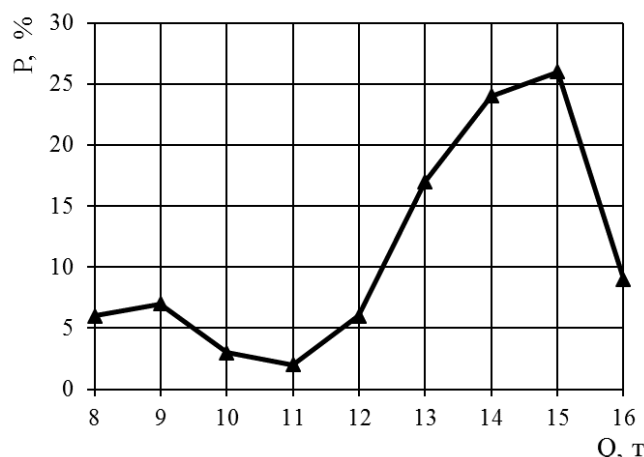


Рис. 1 - Розподілу ймовірностей  $P$  від ваги вантажу  $Q$

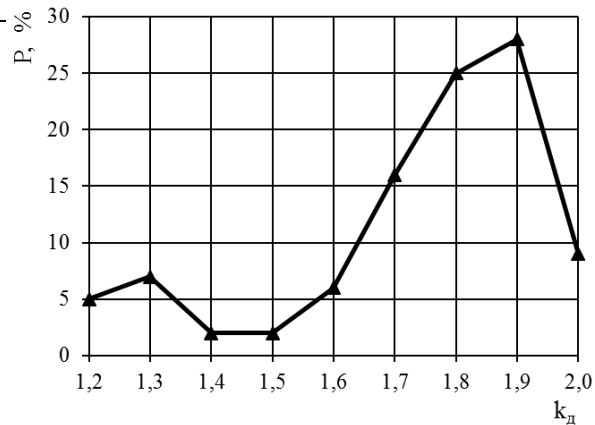


Рис. 2 - Розподілу ймовірностей  $P$  від коефіцієнтів динамічності  $k_d$

Аналіз результатів показав, що при роботі з вантажами вагою від 8 т до 16 т коефіцієнт динамічності змінюється від 1,2 до 2, залежність від ваги вантажу є нелінійною. У процесі роботи кран переважно перевантажує від 13 до 15 тон вантажу, що підіймається, з врахуванням ваги грейфера. Що можна пояснити вимогою власника зменшити час на завантаження судна з метою збільшення прибутку за навігацію.

Максимальні вимірні значення навантаження в гілках канатів спостерігались у момент відриву грейфера з вантажем від основи. Зміна навантажень з часом має коливний характер, що узгоджується з дослідженнями [7-10].

Розраховані значення коефіцієнтів динамічності перевищують нормативні [7-9], що вказує на перевантаження приводу підйому та можливий вихід з ладу його складових. Як свідчать записи у журналах в механізмах підйому кранів періодично замінювали електродвигуни.

Виявлені залежності дають нам змогу оцінити ступінь коливань навантаження на конструкцію і можуть бути використані під час розроблення динамічних моделей, котрі дозволять покращити і спростити процес аналізу та визначення фізичних параметрів для конкретних умов навантаження

### Висновки

Аналіз отриманих результатів дослідження динамічних навантажень у механізмі підйому порталного крану «Ганц» при перевантаженні піску показав, що:

1) максимальні значення динамічних навантажень у гілках канатів спостерігались у момент відриву грейфера з вантажем від основи;

2) зміна навантажень з часом має коливний характер, що узгоджується з відомими дослідженнями;

3) математичне сподівання маси вантажу, що підіймається, з врахуванням ваги грейфера складає  $m(Q) = 14,8m$ ;

4) середньоквадратичне відхилення маси вантажу, що підіймається складає  $\sigma(Q) = 0,143m$ ;

5) математичне сподівання динамічних зусиль в замикаючих канатах складає  $m(S_z) = 296кН$ ;

6) математичне сподівання динамічних зусиль в підтримуючих канатах складає  $m(S_n) = 239кН$ .

Встановлені залежності дозволяють нам визначити рівень змін в навантаженні на структуру і можуть бути застосовані при створенні динамічних моделей.

### Література

- Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини: Навч. посібник. Харків: НТУ «ХП», 2005. 304 с.
- Dong D, Mei X. Port cranes. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press; 2014.
- Luo Shengnan. Study on the Safety Assessment Method of Portal Cranes. 2015.
- Немчук О.О. Експериментальне дослідження впливу напручування на тріщиностійкість сталей порталних кранів / О.О. Немчук, В.В. Стрельбіцький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2019.- № 1 - С. 17–20.
- Стрельбіцький В.В. Оцінка надійності механізмів порталних кранів АЛЪБАТРОС // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2022. № 4. С. 137–140. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-137-140>.
- Стрельбіцький В.В. Оцінка надійності механізмів порталних кранів «ГАНЦ» // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2023. № 1. С. 210-213. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-210-213>
- Стрельбіцький В.В. Перспективи використання квадрокоптерів для діагностування порталних кранів // Topical issues of practice and science. Abstracts of XXVI International Scientific and Practical Conference. Varna, Bulgaria. 2021. Pp. 760-761.
- Pustovyi, V. M., Semenov, P. O., Nemchuk, O. O., Hredil, M. I., Nesterov, O. A., and Strelbitskiy, V. V. Degradation of steels of the reloading equipment operating beyond its designed service life //Materials Science..

2022. – Т. 57. №. 5. С. 640-648. <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00590-1>

9. Стрельбіцький В., Яременко, В. Експериментальні дослідження динамічних навантажень у приводі підйому мостового крана. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2023. №5 Т.2. С. 118-120.. DOI 10.31891/2307-5732-2023-327-5-118-120.

10. Стрельбіцький В.В., Яременко В.А. Експериментальні дослідження динамічних навантажень у приводі підйому мостового двобалкового крана / В.В. Стрельбіцький, В.А. Яременко // Вісник Одеського національного морського університету, 2023. №71. С. 103-109. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-4-103-109>.

11. Стрельбіцький В.В., Кібаков О.Г. Дослідження динамічних навантажень у механізмі підйому порталних кранів «Сокіл» / В.В. Стрельбіцький, О.Г. Кібаков // Вісник Хмельницького національного університету. 2023. №5. Том 1. С. 226-229.. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-325-5-226-229>.

12. Wei-jun Y., Zhi-jian Y., and Chuan-zhi Z., Statistical analysis of the effect of crane load in one-story industrial buildings, Journal of Changsha Communications University. 1995

13. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем : монографія / Л. М. Мамаєв, О. Д. Романюк, О. В. Нікулін та ін. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 183 с.

14. Ловеїкін В.С., Ромасевич Ю.О. Динаміка машин. К.: КОМПРИНТ, 2013. 227 с.

15. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем : монографія / Л. М. Мамаєв, О. Д. Романюк, О. В. Нікулін та ін. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 183 с

### References

1. Hryhorov O. V., Petrenko N. O. Vantazhopydiomni mashyny: Navch. posibnyk. Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 304 s.
2. Dong D, Mei X. Port cranes. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press; 2014.
3. Luo Shengnan. Study on the Safety Assessment Method of Portal Cranes. 2015.
4. Nemchuk O.O. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuвання na trishchynostiikist stalei portalnykh kraniv / O.O. Nemchuk, V.V. Strelbitskiy // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, 2019. № 1. S. 17–20.
5. Strelbitskiy V.V. Otsinka nadiinosti mekhanizmv portalnykh kraniv ALBATROS // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. 2022. № 4. S. 137–140. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-137-140>.
6. Strelbitskiy V.V. Otsinka nadiinosti mekhanizmv portalnykh kraniv «HANTS» // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. 2023. № 1. S. 210-213. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-210-213>.
7. Strelbitskiy V.V. Perspektyvy vykorystannia kvadropteriv dlia diahnostuvannia portalnykh kraniv // Topical issues of practice and science. Abstracts of XXVI International Scientific and Practical Conference. Varna, Bulgaria. 2021. Pp. 760-761.
8. Pustovyi, V. M., Semenov, P. O., Nemchuk, O. O., Hredil, M. I., Nesterov, O. A., and Strelbitskiy, V. V. Degradation of steels of the reloading equipment operating beyond its designed service life //Materials Science. 2022. Т. 57. №. 5. С. 640-648. <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00590-1>.
9. Strelbitskiy V., Yaremenko, V. Eksperymentalni doslidzhennia dynamichnykh navantazhen u pryvodi pidiomu mostovoho kрана. // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, 2023. №5. Т.2. С. 118-120. DOI 10.31891/2307-5732-2023-327-5-118-120.
10. Strelbitskiy V.V., Yaremenko V.A. Eksperymentalni doslidzhennia dynamichnykh navantazhen u pryvodi pidiomu mostovoho dvobalkovoho kрана / V.V. Strelbitskiy, V.A. Yaremenko // Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu, 2023. №71. С. 103-109. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-4-103-109>.
11. Strelbitskiy V.V., Kibakov O.H. Doslidzhennia dynamichnykh navantazhen u mekhanizmi pidiomu portalnykh kraniv «Sokil» / V.V. Strelbitskiy, O.H. Kibakov // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2023. №5. Том 1. С. 226-229.. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-325-5-226-229>.
12. Wei-jun Y., Zhi-jian Y., and Chuan-zhi Z., Statistical analysis of the effect of crane load in one-story industrial buildings, Journal of Changsha Communications University.. 1995.
13. Doslidzhennia dynamiky, mitsnosti i tekhnolohichnosti mekhanichnykh system : monohrafiia / L. M. Mamaiev, O. D. Romaniuk, O. V. Nikulin ta in. Kamianske: DDTU, 2017. 183 s.
14. Loveikin V.S., Romasevych Yu.O. Dynamika mashyn. K.: KOMPRYNT, 2013. - 227 s.
15. Doslidzhennia dynamiky, mitsnosti i tekhnolohichnosti mekhanichnykh system : monohrafiia / L. M. Mamaiev, O. D. Romaniuk, O. V. Nikulin ta in. Kamianske: DDTU, 2017. 183 s