

СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ ВІКТОР

Одеський національний морський університет

<https://orcid.org/0000-0001-7027-9498>e-mail: vict141174@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У ПРИВОДІ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО ОДНОБАЛКОВОГО КРАНА

В роботі досліджено динамічні навантаження, що виникають у канатах підйомного механізму однобалкового мостового крана, при перевантаженні рулонів сталі у закритому складському приміщенні річкового порту. Для аналізу динамічних зусиль у елементах приводу застосований тензометричний метод. Аналіз отриманих даних, показав, що зміна зусилля у гілці канату з часом має коливний характер. Розраховані коефіцієнти динамічності при підйомі вантажів від 2 т до 6 т варіюються в межах від 1,11 до 1,34. Навантаження у гілках канату, які виникають при гальмуванні, не перевищують ті, що спостерігаються під час початкового підйому вантажу з основи.

Результати дослідження можуть бути корисними для уточнення наявних та розробки нових динамічних моделей мостових кранів.

Ключові слова: мостовий однобалковий кран, механізм підйому, динамічні навантаження, коефіцієнт динамічності.

STRELBITSKYI VIKTOR

Odessa National Maritime University, Odessa

EXPERIMENTAL STUDIES OF DYNAMIC LOADS IN THE LIFTING DRIVE OF A SINGLE-GIRDER BRIDGE CRANE

Single-girder overhead cranes play an important role in the logistics infrastructure of port warehouses, ensuring efficient handling and movement of good. Their design, consisting of a single load-bearing beam supported by end trolleys, allows for optimal space utilization and adaptation to different layouts. It is known that during the operation of cranes, when loads are lifted, significant dynamic loads are applied to the ropes. This, in turn, causes additional forces in the hoisting drive, which can potentially lead to its rapid wear and breakdown. Given their key role in the technological cycle, the stability and uninterrupted operation of these systems critically affect the efficiency of port lines.

A review of the literature has revealed that dynamic phenomena in load lifting mechanisms have been insufficiently studied. It was found that the actual mechanisms of machines are often reduced to elementary calculation schemes, and the resulting mathematical models are generalized and do not take into account the unique features of the functioning and design of specific cranes. The aim of the study is to experimentally investigate the dynamic loads in the ropes of the single-girder crane lifting drive, taking into account the peculiarities of operation.

For the study, 4 identical 6-ton hook cranes were selected, which had been in operation in warehouses for more than 12 years and had been handling steel coils. The performance and manufacturing time of the cranes differed slightly. To analyze the dynamic forces in the drive elements, the strain-gauge method was used. The analysis of the data obtained showed that the change in the force in the rope branch over time is oscillatory. The calculated dynamism coefficients for lifting loads from 2 tons to 6 tons vary from 1.11 to 1.34. The analysis of the data obtained shows that the loads in the rope branches that occur during braking do not exceed those observed during the initial lifting of the load from the base.

The results of the study can be useful for refining existing models and developing new dynamic models of overhead cranes.

Keywords: single-girder overhead crane, lifting mechanism, dynamic loads, dynamic coefficient.

Стаття надійшла до редакції / Received 20.03.2025

Прийнята до друку / Accepted 12.04.2025

Постановка проблеми

Мостові однобалкові крани посідають важливе місце в логістичній інфраструктурі складів портів, забезпечуючи ефективне переміщення вантажів [1-7]. Їхня конструкція, котра складається з однієї несучої балки, що спирається на кінцеві візки, дає змогу оптимально використовувати простір і адаптуватися до різних плануваль [1-7]. Габарити основної балки визначаються вантажністю крана, довжиною прогону та умовами використання.

У складах однобалкові крани незамінні для навантаження/розвантаження транспортних засобів та організації складських операцій. Їх компактність і маневреність дають змогу ефективно працювати в умовах обмеженого простору. Вибір однобалкового крана залежить від конкретних завдань і умов експлуатації. Важливими факторами є вантажопідйомність, висота підйому, проліт крана, швидкість переміщення та ін. Правильний вибір крана забезпечує підвищення продуктивності, зниження витрат і підвищення безпеки операцій.

Відомо, що під час експлуатації кранів, коли відбувається підйом вантажів, виникають значні динамічні навантаження на канати [1,3,4]. Останні є основною причиною виходу з ладу підйомних механізмів, так як спричиняють втомне руйнування металевих конструкцій кранів та деталей механізмів, прискорений знос поверхонь тертя, виникнення недопустимих залишкових деформацій та інші подібні проблеми. Зважаючи на їхню ключову роль у технологічному циклі, стабільність і безперебійність їх функціонування критично впливає на ефективність роботи портових ліній.

Аналіз останніх джерел

Огляд робіт [1-4] виявив, що динамічні явища в механізмах підйому вантажу досліджені недостатньо. З'ясовано, що дійсні механізми машин часто зводяться до елементарних розрахункових схем, а отримані математичні моделі мають узагальнений характер і не враховують унікальні особливості функціонування та конструкції конкретних кранів [5-11]. У зв'язку з нелінійністю характеристик кранових електроприводів, при аналізі динамічних і енергетичних параметрів підйомальних кранів широко використовують методи чисельного моделювання [3,4].

Метою дослідження є експериментальне дослідження динамічних навантажень в канатах приводу підйому однобалкового крану з врахуванням особливостей роботи.

Виклад основного матеріалу

Для досліджень були обрані 4 ідентичні крюкові крани, вантажопідйомністю 6 тон, котрі пропрацювали на складах понад 11 років при перевантаженні рулонів зі сталі (рис.1). Продуктивність роботи та терміни виготовлення кранів відрізнялись незначно.

При підйомі вантажу, найбільший вплив на функціонування механізму мають навантаження, що досягають пікових значень у момент відриву вантажу від поверхні. Ці навантаження, враховуючи їх залежність від численних факторів, можливо визначити лише шляхом експериментальних досліджень [1-11].

Мостовий кран рухався вздовж пролітної балки до центральної частини прольоту, безпосередньо до місця підйому вантажу, використовуючи механізм підйому. Довжина прольоту крана становила 12 метрів, а найбільша висота підйому – 3,5 метра. Керування краном здійснювалося у ручному режимі.

У процесі експериментів проводились вимірювання динамічних навантажень у гілках канату за допомогою тензометричних датчиків. Перед початком вимірювань датчики були попередньо відкалібровані.

Вантажний гак підйомного механізму опускали, після чого вантаж закріплювали стропами (рис.1). Підйом вантажу ініціювали лише після активації системи вимірювання. Сигнал з тензодатчиків надходив на пристрій збору даних (аналого-цифровий перетворювач), який був під'єднаний до портативного комп'ютера, де починався запис показників. Зібрані дані оброблялися остаточно та відображалися на екрані комп'ютера.



Рис.1. Загальний вигляд досліджуємо кранів

Досліди для кожної маси 2т, 4т та 6т повторювали тричі, результати усереднювали. Швидкості барабану, при підйомі вантажу - 0.5 м/с.

Результати досліджень наведені на рис.2,3.

Аналіз отриманих даних, показав що, зміна навантажень у гілках канату з часом при підйомі вантажу мають коливальний характер (рис.2). Під час підйому вантаж коливається через інерційні сили, які діють на нього залежно від прискорення або уповільнення руху. Згасання коливань відбувається через дисипацію енергії в металевих елементах крана, канатах, а також завдяки здатності приводу механізму підйому вантажу поглинати коливання [1,4]. Одним з ключових параметрів при оцінці динаміки вантажопідйомних робіт є навантаження канатів, які у свою чергу, безпосередньо визначають їх термін експлуатації.

Для визначення динамічних навантажень при опусканні вантажу, кран переміщували до середини прольоту, вмикали реєструючу апаратуру, вантаж опускали зі швидкістю 0.5 м/с на відстань 1,5 метра над землею, після чого процес зупиняли. Кожний дослід повторяли тричі, результати усереднювали (рис.3).

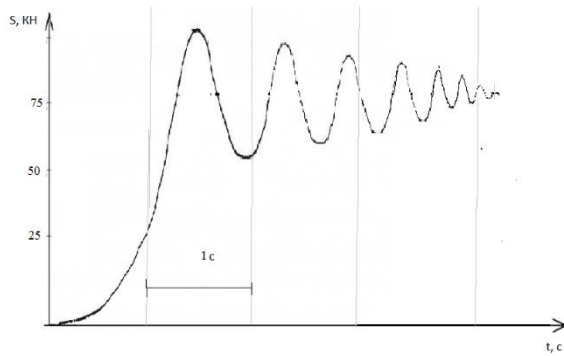


Рис.2. Зміни динамічних навантажень у гілці каната при підйомі вантажу 6 т

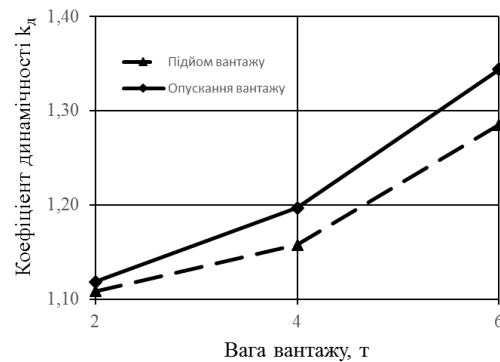


Рис.3. Коефіцієнти динамічності у канатах при підйомі та опусканні вантажу

Зміна навантажень у гілках канату з часом при опусканні вантажу мають також коливальний характер. Вона зумовлені перехідними процесами, які спостерігаються на початковій стадії руху під час розгону двигуна та на завершальному етапі процесу при опусканні вантажу.

Слід відмітити, що значні перевантаження, що виникають у системі "вантажопідйомний механізм – вантаж-основа", прискорюють зношування конструкцій крана, спричиняючи їхні поломки. Важливо вибрати режими функціонування підйомного механізму таким чином, щоб коливання його складових були мінімальними за амплітудою. Зменшення коливань сприяє підвищенню надійності та довговічності обладнання, а також покращує безпеку експлуатації підйомного механізму.

Результати досліджень свідчать про те, що динамічні впливи під час гальмування не перевищують тих, що виникають при початку підйому вантажу "з основи" (рис.3), різниця між розрахованими коефіцієнтами динамічності при підйомі та опусканні вантажу не перевищує 6%.

Висновки

Результати проведених досліджень продемонстрували, що зміна навантаження у гілках канату, при підйомі та опусканні вантажу, з часом є коливальними. Вони зумовлені вагою вантажу, причому динамічні ефекти при гальмуванні не перевищують аналогічні при відриві вантажу від поверхні. Затухання коливальних процесів відбувається внаслідок розсіювання енергії в металевих компонентах крана, канатах, а також завдяки демпфіруючим властивостям приводу підйомного механізму.

Залежність зусиль у канатах від ваги вантажу має нелінійний характер і досягають пікових значень у момент відриву від основи або зупинки при опусканні вантажу. Тривала робота механізму підйому в умовах значних амплітуд коливань може призвести до передчасного зношення його компонентів. Важливим параметром при аналізі динаміки вантажопідйомних операцій є навантаження на канати, оскільки воно безпосередньо впливає на термін їх служби. Необхідно підбирати параметри роботи підйомного пристрою так, щоб амплітуда коливань його елементів була якомога меншою. Через нелінійні особливості кранових електричних систем, аналіз їх динамічних і енергетичних параметрів вимагає застосування методів чисельного розрахунку при дослідженні вантажопідйомальних кранів.

Виявлені дефекти в механізмах зумовлені недотриманням правил експлуатації та порушеннями технології ремонту.

Література

1. Григоров, О. В., & Петренко, Н. О. (2006). Вантажопідйомні машини.
2. Yow, P., Rooth, R., & Fry, K. (2000). A report of the crane unit of the division of occupational safety and health. California: Division of Occupational Safety and Health California Department of Industrial Relations.
3. Ловейкін, В. С., & Ромасевич, Ю. О. (2013). Динаміка машин: навчальний посібник.
4. Мамаєв, Л. М. (2017) Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем: монографія. Кам'янське: ДДТУ.
5. Стрельбіцький, В. В. (2021). Дослідження впливу напручування на довговічність механізму пересування мостового крана. In The XXIV International Science Conference «About the problems of practice, science and ways to solve them».
6. Стрельбіцький, В. В., & Яременко, В. О. (2021). Аналіз дефектів мостового крана вантажопідйомністю 10 тон. In The V International Science Conference «Trends in science and practice of today».
7. Стрельбіцький, В., & Яременко, В. (2023). Експериментальні дослідження динамічних навантажень у приводі підйому мостового двобалкового крана. Вісник Одеського національного морського університету, (71), 103-109. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-4-103-109>.

8. Стрельбіцький, В., & Яременко, В. (2023). Експериментальні дослідження динамічних навантажень у приводі підйому мостового крана. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 327(5(2)), 118-120. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-327-5-118-120>
9. Стрельбіцький, В. (2022). Дослідження впливу механізму пересування на ресурс металоконструкції мостових кранів морських портів. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 309(3), 249-253. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-309-3-249-253>.
10. Стрельбіцький, В. В., Бовнегра, Л. В., & Павлишко, А. В. (2022) Моделювання експлуатаційної надійності ходових коліс мостових кранів морських портів. *Системні технології*, 6(143), 80-89.. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-143-2022-07>.
11. Стрельбіцький, В. (2020). Експериментальне дослідження впливу напрацювання на тріщиностійкість сталей мостових кранів. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 297(4), 138–142 [HTTPS://DOI.ORG/10.31891/2307-5732-2020-297-4-138-142](https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-297-4-138-142).

References

1. Hryhorov, O. V., & Petrenko, N. O. (2006). *Vantazhopidionni mashyny..*
2. Yow, P., Rooth, R., & Fry, K. (2000). A report of the crane unit of the division of occupational safety and health. California: Division of Occupational Safety and Health California Department of Industrial Relations.
3. Loveikin, V. S., & Romasevych, Yu. O. (2013). *Dynamika mashyn: navchalnyi posibnyk.*
4. Mamaiev, L. M. (2017) *Doslidzhennia dynamiky, mitsnosti i tekhnolohichnosti mekhanichnykh system: monohrafiia.* Kamianske: DDTU.
5. Strelbitskyi, V. V. (2021). Doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia na dovhovichnist mekhanizmu peresuvannia mostovoho kрана. In *The XXIV International Science Conference «About the problems of practice, science and ways to solve them».*
6. Strelbitskyi, V. V., & Yaremennko, V. O. (2021). Analiz defektiv mostovoho kрана vantazhopidionnistiu 10 ton. In *The V International Science Conference «Trends in science and practice of today».*
7. Strelbitskyi, V., & Yaremenko, V. (2023). Eksperymentalni doslidzhennia dynamichnykh navantazhen u pryvodi pidionu mostovoho dvobalkovoho kрана. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu*, (71), 103-109. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-4-103-109>.
8. Strelbitskyi, V., & Yaremenko, V. (2023). Eksperymentalni doslidzhennia dynamichnykh navantazhen u pryvodi pidionu mostovoho kрана. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 327(5(2)), 118-120. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-327-5-118-120>
9. Strelbitskyi, V. (2022). Doslidzhennia vplyvu mekhanizmu peresuvannia na resurs metalokonstruktsii mostovykh kранiv morskyykh portiv. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 309(3), 249-253. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-309-3-249-253>.
10. Strelbitskyi, V. V., Bovnehra, L. V., & Pavlyshko, A. V. (2022) Modeliuvannia ekspluatatsiinoi nadiinosti khodovykh kolis mostovykh kранiv morskyykh portiv. *Systemni tekhnolohii*, 6(143), 80-89.. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-143-2022-07>.
11. Strelbitskyi, V. (2020). Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia na trishchynostiikist stalei mostovykh kранiv. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 297(4), 138–142 [HTTPS://DOI.ORG/10.31891/2307-5732-2020-297-4-138-142](https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-297-4-138-142).