

В.В. Стрельбіцький, Л.В. Бовнегра, А.В. Павлишко

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ХОДОВИХ КОЛІС МОСТОВИХ КРАНІВ МОРСЬКИХ ПОРТІВ

Анотація. Мостові крани широко засовуються у морських та річкових портах для перевантаження вантажів на відкритих та закритих складських майданчиках. Оскільки вони є основною ланкою технологічних процесів, тому від їх надійної та безперервної роботи залежить продуктивність портових виробничих ліній. Відомо, що при експлуатації кранів 90% ходових коліс виходом з ладу і замінюється новими через інтенсивний знос реборд, а 60-70% підкранових рейок через знос їхніх бічних граней. Оскільки ресурс є основним показником довговічності деталей та вузлів, тому підвищення встановлення ресурсу коліс є актуальною задачею, що дозволить зменшити витрати на ремонт та експлуатацію кранів. Метою дослідження є визначення ресурсу ходових коліс механізмів мостових кранів з понаднормовими термінами експлуатації. Для досліджень було обрано 4 ідентичні мостові крани, вантажопідйомністю 10 тон, які працюють у крюковому режимі у морських портах. Кранові колеса виготовлені зі сталі 65Г методом литва. Механізми кранів обстежували візуально та вимірювали знос коліс через 3 місяці протягом 4 років роботи. За результатами досліджень розраховані параметри модельного зносу від часу у вигляді ступеневої функції. Отримані значення коефіцієнту кореляції вказують на те, що між зносом та часом роботи існує достатньо щільний зв'язок. Середнє значення похибки за запропонованою моделлю не перевищує 6,1%, що є цілком прийнятним для інженерних розрахунків. Встановлено, що ресурс кранових коліс не перевищує 3,3...3,4 років роботи, що менше 4 років зазначеного виробником.

Ключові слова: надійність, ресурс, знос, час роботи, ступенева функція, коефіцієнт кореляції, колесо крана, мостовий кран.

Постановка проблеми. Мостові крани широко застосовуються у морських і річкових портах для виконання перевантажувальних робіт на відкритих та закритих складах [1-6]. Оскільки вони є основною ланкою технологічних процесів, тому від їх надійної та безперервної роботи залежить продуктивність портових виробничих ліній.

Проте, сьогодні понад 88% кранів річкових і морських портів України відпрацювали нормативний ресурс і продовжують працювати [1-3,5-7].

Відомо, що при експлуатації кранів 90% ходових коліс виходом з ладу и замінюється новими через інтенсивний знос реборд, а 60-70% підкранових рейок через знос їхніх бічних граней. Значний рідше проводиться заміна коліс при виході з ладу підшипників і ще рідше - в силу руйнування від утомленості металу бігової доріжки колеса [3,8,9].

Слід зазначити, що понаднормова та тривала робота портових кранів у режимі інтенсивного циклічного навантаження призводить до передчасного виходу ходових коліс внаслідок зносу [1,5] та утворення втомних дефектів, що призведе до виходу з ладу вузлів та аварій [2,3,6,7]. Як показує досвід експлуатації, ходові колеса мають є найбільш зношуваними елементами механізмів переміщення. Так, строк їх експлуатації складає від кількох місяців до 2-3 років [1,8]. Це пов'язано з тим, що заміна коліс більш дешева у порівнянні з заміною підкранового шляху.

Оскільки ресурс є основним показником довговічності деталей та вузлів, тому підвищення встановлення ресурсу коліс є актуальною задачею, що дозволить зменшити витрати на ремонт та експлуатацію кранів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень складних технічних систем показує, що:

- 1) надійність механізмів мостових кранів, що експлуатується понад 30 років у морському порту, до кінця не вивчена [1,2,4,5-7];
- 2) напруження впливають неоднозначно на механічні характеристики матеріалів [5-7];
- 3) вихід їх з ладу ходових коліс зумовлений переважно зношуванням їх поверхонь [8], руйнування та зношування реборд [9,10];
- 4) в реальних умовах експлуатації при огляді ходових коліс спостерігається одночасно декілька з пошкоджень (знос реборд, знос поверхонь катання та ін) [1,8,9,10];
- 5) характер пошкоджень коліс залежить від умов експлуатації [1,8,9,10].

Метою дослідження є визначення ресурсу ходових коліс механізмів мостових кранів з понаднормовими термінами експлуатації.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для досліджень було обрано 4 ідентичні мостові крани, вантажопідйомністю 10 тон, які працюють у крюковому режимі у морських портах.

Для аналізу використано інформацію яка міститься у відповідних журналах технічного обслуговування та ремонту відповідних кранів з 2018 по 2021 роки.

Розбіжність часу заміни робочих коліс, які були виготовлені зі сталі 65Г методом литва, механізмів переміщення кранів не перевищувала 1 місяць.

Механізми кранів обстежували візуально та вимірювали знос коліс через 3 місяці протягом 4 років роботи. Аналіз отриманих даних показав, що найбільш зношуваними є реборди привідних колесі, знос поверхонь кочення значно менше у порівнянні з ребордами. Слід відмітити, що процес зношування коліс відбувається в зоні зіткнення колеса з рейкою.

Результати вимірів зносу зведені у табл.1.

Аналіз отриманих (дивись табл.1) вказує на те, що залежність зносу від часу роботи є нелінійною.

Для подальших розрахунків результатів вимірювань зносу усереднювали.

Таблиця 1

Результати вимірювань середніх значення зносу h коліс для мостових кранів

Час роботи t , год.	Знос колеса h у мм																усер. знач.
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12	№13	№14	№15	№16	
1200	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,10
2400	2,5	2,4	2,6	2,5	2,4	2,3	2,5	2,4	2,6	2,5	2,4	2,3	2,6	2,5	2,4	2,3	2,45
3600	3,9	3,7	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,85	3,85	3,95	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,91
4800	5,3	5,2	5,3	5,1	5,3	5,0	5,3	5,2	5,2	5,1	5,3	5,1	5,3	5,1	5,3	5,1	5,20
6000	6,5	6,4	6,7	6,5	6,8	6,7	6,5	6,4	6,7	6,5	6,7	6,7	6,7	6,5	6,8	6,5	6,60
7200	8,5	8,4	8,6	8,5	8,7	8,6	8,5	8,4	8,6	8,5	8,6	8,5	8,6	8,5	8,7	8,6	8,55
8400	10,8	10,7	11,0	10,9	11,1	11,0	10,8	10,7	11,0	11,0	10,8	11,0	10,9	10,9	11,1	11,0	10,92
9600	12,8	12,7	13,0	12,9	12,6	12,9	12,8	12,7	13,0	12,9	12,6	12,8	13,0	12,9	12,6	12,9	12,82
10800	15,7	15,6	15,9	15,7	15,8	15,6	15,7	15,6	15,9	15,7	15,8	15,6	15,9	15,7	15,7	15,6	15,72
12000	18,8	18,7	18,6	18,9	18,6	18,5	18,8	18,7	18,5	18,6	18,6	18,8	18,7	18,8	18,7	18,6	18,68
13200	21,9	21,8	21,9	21,7	21,7	21,8	21,9	21,8	21,9	21,7	21,8	21,8	21,9	21,7	21,7	21,8	21,80
14400	23,5	23,5	24,0	22,9	23,5	23,6	23,5	23,5	24,0	22,9	23,5	23,6	24,0	22,9	23,5	23,6	23,50

Оскільки, знос кранових коліс було виміряно через відомі проміжки часу, тому використовуємо кореляційний аналіз та вважаємо залежність зносу від часу у вигляді функції [11,12]:

$$h = Ct^m, \quad (1)$$

де h – знос реборд кранових коліс, мм;

t – період (час) роботи, год;

C – постійна матеріалу коліс;

m – показник ступеня.

Для визначення постійних C и m залежності (1) складемо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} Y_i &= \lg h_1, \lg h_2, \lg h_3, \dots, \lg h_n \\ X_i &= \lg t_1, \lg t_2, \lg t_3, \dots, \lg t_n \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

Після чого, розраховуємо середні значення X_{cp} та Y_{cp}

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3)$$

$$Y_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}, \quad (4)$$

де n – кількість досліджень.

визначаємо допоміжні величини для визначення параметрів функції:

$$S_x = \sum_{i=1}^n X_i^2 - nX_{cp}^2, \quad (5)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - nY_{cp}^2, \quad (6)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - nX_{cp} Y_{cp}. \quad (7)$$

Тоді, параметрів функції C и m :

$$m = \frac{S_{xy}}{S_x}, \quad (8)$$

$$a = Y_{cp} - mX_{cp}, \quad (9)$$

$$C = 10^a, \quad (10)$$

Коефіцієнт кореляції K_{xy} :

$$K_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x S_y}}. \quad (11)$$

За запропонованим алгоритмом у MS Excel визначені: параметрів функції $C = 0,00015$ та $m = 1,24$ коефіцієнт кореляції $K_{xy} = 0,98$. Т.т, залежність зносу коліс:

$$h = 0,00015 \cdot t^{1,24}, \quad (12)$$

Розраховані та виміряні значення зносу коліс наведені на рис.1.

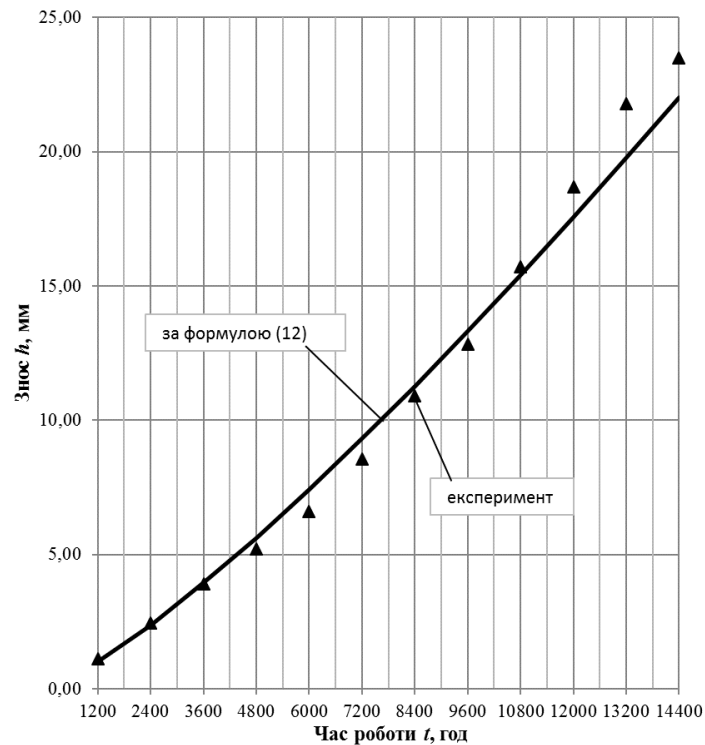


Рисунок 1 – Залежність зносу коліс від часу роботи крана

Отримані значення коефіцієнту кореляції вказують на те, що між зносом та часом роботи існує достатньо щільний зв'язок. Середнє значення похибки за запропонованою моделлю не перевищує 6,1%, що є цілком прийнятним для інженерних розрахунків.

Граничний знос визначається її шириною - 25 мм.

Для визначення ресурсу роботи колеса визначимо знос коліс за залежністю (12) протягом 19200 год роботи, т.т. 4 років роботи, як зазначено виробником. Результати розрахунку наведені на рис.2.

Оскільки, ресурс коліс, складає 16200 годин, значно менше закладеного виробником у 19200 год, то можна зробити висновок про недостатню їх надійність. Т.т. ресурс кранових коліс не перевищує 3,3...3,4 років роботи.

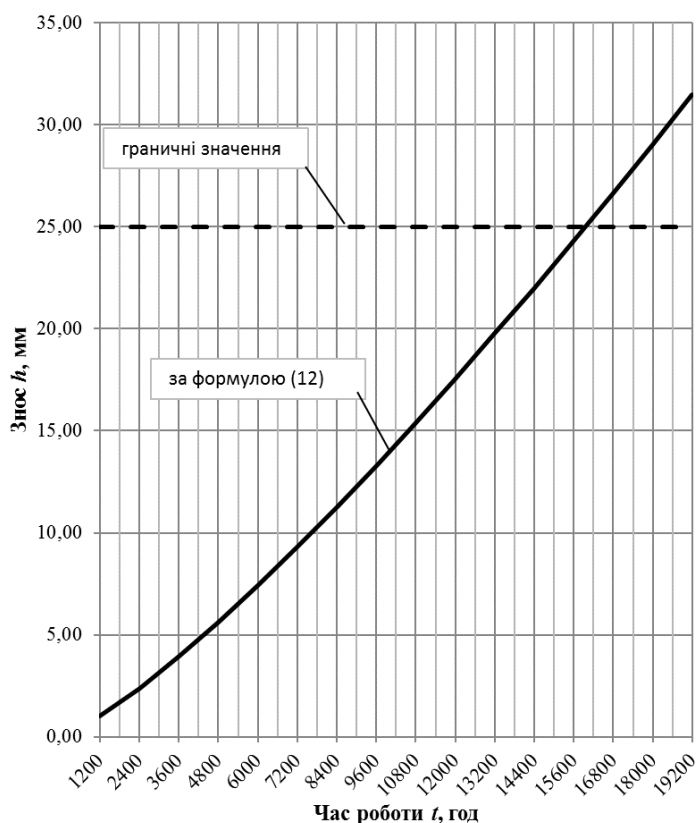


Рисунок 2 – Розрахункова залежність зносу колеса від часу роботи крана

Висновки. За результатами досліджень розраховані параметри модель зносу від часу у вигляді ступеневої функції.

Отримані значення коефіцієнту кореляції вказують на те, що між зносом та часом роботи існує достатньо щільний зв'язок. Середнє значення похибки за запропонованою моделлю не перевищує 6,1%, що є цілком прийнятним для інженерних розрахунків.

Встановлено, що ресурс кранових коліс не перевищує 3,3...3,4 років роботи, що менше 4 років зазначеного виробником.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини: Навч. посібник. - Харків: НТУ «ХПІ», 2005. — 304 с.
2. Стрельбіцький В. В., Яременко В. О. Аналіз дефектів мостового крана вантажопідйомністю 10 тон // The V International Science Conference «Trends in science and practice of today. October 19 – 22, 2021, Ankara, Turkey. – 2021. – С. 453-454 .
3. Стрельбіцький В.В. Експериментальне дослідження впливу напручування на тріщиностійкість сталей мостових кранів/ В.В. Стрельбіцький // Вісник

Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 4. – С. 138–142.

4. Qin, Li & Zhang, Bin & Li, Xinren & Huang, Zheng-qiu.. The Application Research on Safety performance Evaluation of Portal Crane based on Reliability Evaluation and risk Assessment. E3S Web of Conferences. Volume 257. - 2021. - pp.1-4.

5. Стрельбіцький В.В. Дослідження впливу напрацювання на довговічність механізму пересування мостового крана // The XXIV International Science Conference «About the problems of practice, science and ways to solve them», May 04 – 07, 2021, Milan, Italy. – С. 363-364.

6. Стрельбіцький В.В. Дослідження впливу механізму пересування на ресурс металоконструкції мостових кранів морських портів / В.В. Стрельбіцький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2022. – № 3. – С. 249-253.

7. Стрельбіцький В.В. Експериментальне дослідження впливу напрацювання та асиметрії циклу на тріщиностійкість сталей порталних кранів / В.В. Стрельбіцький, О.О. Немчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 1. – С. 245–248.

8. Слепужніков Є.Д. Механізми пересування мостових кранів: монографія / Є.Д.Слепужніков, Н.М. Фідровська, І.С. Варченко. –Харків: НУЦЗУ, 2019. – 124 с.

9. Цибульський В.А. Оптимізація властивостей матеріалів ходових коліс мостових кранів з метою підвищення їх довговічності // Дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / Цибульський Вадим Анатолійович; Харківський автомобільно-дорожній інститут – Харків,1996. – 197 с.

10. Алейников В.А. Способ повышения износостойкости реборд крановых колес / В.А. Алейников, Л.П. Кондратьев // Подъемно-транспортная техника и склады. – 1992. – №2. – С. 25-27.

11. Горват А.А., Молнар О.О., Мінькович В.В. Методи обробки експериментальних даних з використанням MS Excel: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ “Говерла”, 2019. – 160 с.

12. Надійність машин: Практикум. / О.С. Гринченко, В.Г. Кухтов, О.І. Алфьоров, В.Б. Савченко, Є.І. Калінін, В.І. Іванов, Г.П. Юр’єва; За ред. О.С. Гринченка, В.Г. Кухтова. – Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2018. – 140 с.

REFERENCES

1. Hryhorov O.V., Petrenko N.O. Vantazhopidiomni mashyny: Navch. posibnyk. — Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. — 304 s.

2. Strelbitskyi V.V., Yaremennko V.O. Analiz defektiv mostovoho kрана

vantazhopidiomnistiu 10 ton // The V International Science Conference «Trends in science and practice of today. October 19 – 22, 2021, Ankara, Turkey. – 2021. – S. 453-454 .

3. Strelbitskyi V.V. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia na trishchynostiikist stalei mostovykh kraniv/ V.V. Strelbitskyi // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2020. – № 4. – S. 138–142.4. Qin, Li & Zhang, Bin & Li, Xinren & Huang, Zheng-qiu.. The Application Research on Safety performance Evaluation of Portal Crane based on Reliability Evaluation and risk Assessment. E3S Web of Conferences. Volume 257. - 2021. - pp.1-4.

5. Strelbitskyi V.V. Doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia na dovhovichnist mekhanizmu peresuvannia mostovoho krana // The XXIV International Science Conference «About the problems of practice, science and ways to solve them», May 04 – 07, 2021, Milan, Italy. – S. 363-364.

6. Strelbitskyi V.V. Doslidzhennia vplyvu mekhanizmu peresuvannia na resurs metalokonstruktsii mostovykh kraniv morskykh portiv / V.V. Strelbitskyi // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2022. – № 3. – S. 249-253.

7. Strelbitskyi V.V. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia ta asymetrii tsyклу na trishchynostiikist stalei portalnykh kraniv / V.V. Strelbitskyi, O.O. Nemchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2020. – № 1. – S. 245–248.

8. Slepuzhnikov Ye.D. Mekhanizmy peresuvannia mostovykh kraniv: monohrafiia / Ye.D.Slepuzhnikov, N.M. Fidrovskaya, I.S. Varchenko.– Kharkiv:NUTsZU,2019. – 124 s.

9. Tsybul'skyi V.A. Optyimizatsiia vlastyvostei materialiv khodovykh kolis mostovykh kraniv z metoiu pidvyshchennia yikh dovhovichnosti // Dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.01 / Tsybul'skyi Vadym Anatoliiovych ; Kharkivskiy avtomobilno-dorozhniy instytut – Kharkiv,1996. – 197 s.

10. Aleinykov V.A. Sposob povыsheniya yznosostoikosty rebord kranovykh koles / V.A. Aleinykov, L.P. Kondratev // Подъемно-транспортная техника уклады. – 1992. – №2. – S. 25-27.

11. Horvat A.A., Molnar O.O., Minkovych V.V. Metody obrobky eksperymentalnykh danykh z vykorystanniam MS Excel: Navchalnyi posibnyk. Uzhhorod: Vydavnytstvo UzhNU “Hoverla”, 2019. – 160 s.

12. Nadiinist mashyn: Praktykum. / O.S. Hrynchenko, V.H. Kukhtov, O.I. Alforov, V.B. Savchenko, Ye.I. Kalinin, V.I. Ivanov, H.P. Yurieva; Za red. O.S. Hrynchenka, V.H. Kukhtova. – Kh.: TOV «Planeta-print», 2018. – 140 s.

Received 22.11.2022.

Accepted 24.11.2022.

Modeling of operational reliability of running wheels of overhead cranes of seaports

Overhead cranes are widely in operation in sea and river ports for cargo transshipment in open and closed storage areas. Since they are the main link in technological processes, the productivity of Port production lines depends on their reliable and continuous operation. It is known that during the operation of cranes, 90% of the running wheels fail and are replaced with new ones due to intensive wear of the edges, and 60-70% of crane rails due to wear of their side faces. Since the service life is the main indicator of the durability of parts and assemblies, therefore, increasing the installation of wheel life is an urgent task, which will reduce the cost of repair and operation of cranes. As the experience of operation shows, running wheels have the most worn elements of movement mechanisms. Thus, their service life ranges from several months to 2-3 years. This is due to the fact that replacing the wheels is cheaper compared to replacing the crane track.

Since the service life is the main indicator of the durability of parts and assemblies, therefore, increasing the installation of wheel life is an urgent task, which will reduce the cost of repair and operation of cranes.

Analysis of studies of complex technical systems shows that the reliability of overhead crane mechanisms operated for more than 30 years in the Seaport is not fully understood, the nature of wheel damage depends on the operating conditions.

For research, 4 identical overhead cranes with a lifting capacity of 10 tons were selected, which operate in Hook mode in seaports. Crane wheels are made of 65g steel by casting. Crane mechanisms were visually examined and wheel wear was measured after 3 months during 4 years of operation. Based on the research results, the parameters of the Wear model from time to time in the form of a step function are calculated. The obtained values of the correlation coefficient indicate that there is a fairly tight relationship between wear and operating time. The average error value for the proposed model does not exceed 6.1%, which is quite acceptable for engineering calculations. It is established that the service life of Crane wheels does not exceed 3.3...3.4 years of operation, which is less than 4 years specified by the manufacturer.

Стрельбіцький Віктор Васильович – доцент, кандидат технічних наук, кафедра Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання, Одеський національний морський університет.

Бовнегра Любов Віталіївна - доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедри інформаційних технологій проєктування та дизайну, Національний університет «Одеська політехніка».

Павлишко Аандрій Володимирович - доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проєктування та дизайну, Національний університет «Одеська політехніка».

Strelbitskyi Viktor Vasylovych – PhD, associated professor, Hoisting and transport machines and engineering of port technological equipment, Odessa National Maritime University.

Bovnegra Liubov Vitaliivna - PhD, associated professor, Head of Department of Design Information Technologies and Design, Odessa Polytechnic National University.

Pavlyshko Andrii Volodymirovich - PhD, associated professor, Odessa Polytechnic National University.