

УДК 621.87

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВАНТАЖОПІДНІМАЛЬНИХ КРАНІВ МОСТОВОГО ТИПУ

Шевченко С.І.

INCREASE IN OVERALL PERFORMANCE OF LOAD-LIFTING CRANES OF BRIDGE TYPE

Shevchenko S.

У статті розглянуто результати теоретичного розв'язку науково-технічного завдання підвищення ефективності роботи вантажопіднімальних кранів мостового типу шляхом поліпшення їх динамічних характеристик у перехідних процесах. У цьому зв'язку розроблена математична модель процесу гальмування, що дозволяє по заданих параметрах визначати основні вихідні параметри перехідного процесу. З урахуванням багатфакторних досліджень базованих на детермінованому підході до динаміки та математичної теорії планування багатфакторних експериментів отримане рівняння регресії, що дозволяє в заданому інтервалі визначати "якість" перехідного процесу гальмування та раціональні гальмові характеристики мостового крана.

Ключові слова: мостовий кран, раціональні характеристики, динамічні навантаження, процес гальмування, гальмівний момент.

Вступ. За останні роки в Україні загальний парк вантажопіднімальних кранів становить близько 91 тис. одиниць, з яких 40% доводиться на крани мостового типу. Проведений статистичний аналіз стану парку вантажопіднімальних кранів вказує на збільшення кількості кранів, які експлуатуються після досягнення ними встановленого амортизаційного терміну експлуатації. Так, для кранів мостового типу із загальної кількості 35 тис. одиниць 88% відпрацювали амортизаційний термін експлуатації і продовжують експлуатуватися. Ця тенденція пов'язана із задовільним станом їхньої металоконструкції і можливістю продовження терміну експлуатації. Основним елементом мостового крана, що лімітує його довговічність є металоконструкція, в якій завдяки динамічним навантаженням, що виникають в перехідних процесах, накопичуються залишкові деформації і розвиваються втомні тріщини. Зниження динамічних навантажень, що виникають в металоконструкції при перехідних процесах в мостових кранах, дозволить поліпшити умови їхньої експлуа-

тації і більш повно використовувати їхній фактичний ресурс.

Постановка проблеми. Одним із напрямків забезпечення ефективної і безпечної експлуатації вантажопіднімальних кранів є підвищення їх продуктивності і строку служби шляхом покращення динамічних характеристик.

Відомо, що головними причинами, які обмежують строк служби вантажопіднімальних кранів, є залишкові деформації і втомлювальні тріщини, які накопичуються і розвиваються в металоконструкції особливо під час перехідних процесів при роботі їх механізмів [1-3]. Супроводжуються ці процеси різким підвищенням додаткових динамічних навантажень коливального характеру, які необхідно зменшувати до значно меншої величини. Одним з напрямків вирішення цієї задачі є розрахунок раціональних параметрів перехідного процесу [4-5].

У зв'язку з цим, підвищення ефективності роботи вантажопіднімальних кранів мостового типу в зв'язку з поліпшення їх динамічних характеристик є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Класичні роботи дослідження динаміки вантажопіднімальних кранів, оптимізації управління механізмів в перехідних режимах та підвищення ефективності їх роботи, отримали значний розвиток в роботах М.П. Александрова, І.І. Артоболевського, С.М. Борисова, Л.Я. Будікова, Д.П. Волкова, О.І. Вольченка, В.Ф. Гайдамаки, М.М. Гохберга, О.В. Григорова, Ф.К. Іванченка, В.Г. Іноземцева, С.А. Казака, Б.С. Ковальського, М.С. Комарова, М.О. Лобова, В.С. Ловейкіна, А.П. Нестерова, М.М. Рунова, В.Ф. Семенюка, С.Т. Сергєєва, В.М. Федосєєва, А.В. Чічінадзе та ін., а також в роботах зарубіжних дослідників Х. Дресіґа (H. Dresig), Ф. Зедльмайєра (F. Sedlmayer), М. Коса (M. Kos), Ф. Курта (F. Kurth), Х. Терша (H. Tersch), М. Шеффлера (M. Scheffler) та ін. Результати цих досліджень отримали широке застосування в розробці но-

вих стандартів, норм розрахунків, рекомендацій при проектуванні і експлуатації, створенні пристроїв і систем, що сприяють підвищенню ефективності роботи вантажопіднімальних кранів. Проте аналіз експлуатації кранів свідчить про недостатній рівень ефективності роботи автоматичних гальмівних пристроїв в перехідних процесах гальмування [6-7]. Чимала кількість недоліків спостерігається в механізмах, обладнаних гальмівними пристроями нормально закритої конструкції автоматичної дії, широко застосовуваних в механізмах вантажопіднімальних кранів. Одним з напрямів підвищення ефективності роботи вантажопіднімальних кранів та зниження динамічних навантажень при гальмуванні є застосування приладів і гальмівних пристроїв, здатних змінювати гальмівний момент за ступінчастою або плавно-наростаючою характеристикою [6, 8].

Узагальнюючи дослідження багатьох вчених, відзначимо істотний вплив механічних характеристик приводів на динамічні навантаження при гальмуванні вантажопіднімальних кранів. Застосування керованих пускових і гальмівних пристроїв і регульованих приводів в механізмах пересування дозволяє понизити динамічні навантаження, поліпшити техніко-експлуатаційні показники та ефективність роботи кранів. Проте в більшості розглянутих способів зниження динамічних навантажень існують недоліки: істотне збільшення тривалості гальмування і, як наслідок, гальмівного шляху; не враховуються коливання вантажу на початку перехідних режимів, що помітно позначається на ефективності системи; трудність реалізації деяких способів управління приводів унаслідок великих матеріальних витрат; ускладнення конструкції.

Мета статті. Мета роботи полягає в підвищенні ефективності роботи вантажопідіймних кранів мостового типу шляхом поліпшення їх динамічних характеристик в перехідних процесах.

Основний зміст. Процес гальмування мостових кранів характеризується безліччю параметрів, визначаючими з яких є: час гальмування крана t_T , максимальне горизонтальне інерційне навантаження на металоконструкцію P_m^{max} , що характеризує максимальні динамічні навантаження, максимальне навантаження в приводі механізму пересування P_n^{max} , максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана A^{max} . Вказані параметри всебічно і досить повно характеризують перехідний процес і багато в чому визначають техніко-експлуатаційні характеристики мостового крана. Оскільки апріорна інформація дозволяє дати попередню оцінку кожному окремому параметру, то їхню сукупність можна представити за допомогою узагальненого критерію оптимізації, використовуючи узагальнену функцію бажаності Харрінгтона (E.C. Harrington) [9] (рис. 1).

Для найпоширенішого мостового крана вантажопідіймністю 15/3 т з прольотом 26 м, частинні функції бажаностей запишуться у вигляді:

$$d_1 = \exp \left[- \left(\left(\frac{2 \cdot t_T - (t_{max} + t_{min})}{t_{max} - t_{min}} \right) \right)^{1,365} \right]; \quad (1)$$

$$d_2 = \exp \left[- \exp \left(-4,4524 + 0,1235 \cdot P_m^{max} \right) \right]; \quad (2)$$

$$d_3 = \exp \left[- \exp \left(-3,9583 + 0,0898 \cdot P_n^{max} \right) \right]; \quad (3)$$

$$d_4 = \exp \left[- \exp \left(-5,9346 + 9,8813 \cdot A^{max} \right) \right]. \quad (4)$$

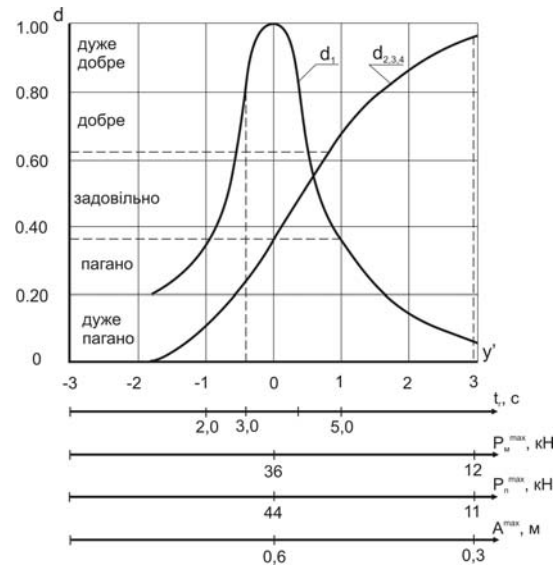


Рис. 1. Графіки функцій бажаності параметрів t_T , P_m^{max} , P_n^{max} , A^{max}

Як варійовані чинники прийнято величину максимального гальмівного моменту \tilde{z}_1 і час його наростання \tilde{z}_2 , оскільки вони значно впливають на механічну характеристику і динамічні навантаження в процесі гальмування механізму пересування крана.

Моделювання процесу гальмування механізму пересування виконувалося на математичній моделі крана:

$$\begin{cases} m_h \cdot \ddot{x}_h + k_D^n \cdot (\dot{x}_h - \dot{x}_k) + C_n \cdot (x_h - x_k) + P_c(z_1, z_2, \dots, z_n) = 0, \\ m_k \cdot \ddot{x}_k - k_D^n \cdot (\dot{x}_h - \dot{x}_k) - C_n \cdot (x_h - x_k) + k_D^c \cdot (\dot{x}_k - \dot{x}_m) + C_m \cdot (x_k - x_m) + P_w = 0, \\ m_m \cdot \ddot{x}_m - k_D^c \cdot (\dot{x}_k - \dot{x}_m) - C_m \cdot (x_k - x_m) + C_k \cdot (x_m - x_g) = 0, \\ m_g \cdot \ddot{x}_g - C_k \cdot (x_m - x_g) = 0, \end{cases}$$

де m_i - приведена до ходових коліс маса частин привода, що обертаються;

m_k - маса моста, приведена до переміщення кінцевих балок; m_m - приведена до середини прольоту маса середніх частин моста і порожнього візка;

m_g - маса вантажу;

P_c - приведена до поступального пересування крана гальмівна сила привода в різних режимах;

P_w - сила статичного опору пересуванню крана;

C_i - приведений до ходових коліс коефіцієнт жорсткості приводу механізму пересування крана;

C_m^z - коефіцієнт жорсткості металокопструкції крана в горизонтальній площині;

C_k^z - горизонтальна складова натягнення вантажних канатів при $(x_m - x_0) = l$ (при цьому горизонтальна складова вважається пропорційною амплітуді відхилення вантажу);

k_D^i - коефіцієнт загасання коливань (демпфування) приводу пересування крана;

k_D^z - коефіцієнт загасання коливань (демпфування) металокопструкції в горизонтальній площині;

$x_n, x_{n_0}, x_{m_0}, x_0$ - переміщення, що проходять відповіді маси від початку координат.

В результаті розв'язання математичної моделі одержано значення $t_T, P_m^{max}, P_n^{max}, A^{max}$, які за допомогою рівнянь (1-4) перетворені в частинні бажаності d_1, d_2, d_3, d_4 . Об'єднання частинних бажаностей в узагальнену бажаність D_i^E виконується за формулою:

$$D_i^E = \sqrt[4]{d_{1i} \cdot d_{2i} \cdot d_{3i} \cdot d_{4i}}$$

В результаті обробки отриманих даних методами регресивного аналізу, отримано рівняння:

$$D = 0,49 + 7,25 \cdot 10^{-3} \cdot M_T - 0,2312 \cdot t_i + 6,89 \cdot 10^{-3} \cdot M_T \cdot t_i - 0,34 \cdot 10^{-5} \cdot M_T^2 - 1,3913 \cdot t_i^2 \quad (5)$$

При перевірці рівняння (5) на адекватність набуте значення коефіцієнта варіації $v=4,98\%$, отже модель адекватна [10].

Рівняння регресії (5) дозволяє досліджувати вплив прийнятих чинників на величину параметрів і характер протікання перехідного процесу і розраховувати для досліджуваного мостового крана значення узагальненого критерію D для будь-яких поєднань M_T і t_n , в цьому інтервалі їхнього варіювання, причому точність розрахунку має той же порядок, що і при розв'язанні системи рівнянь руху, про що свідчить його перевірка на адекватність. Іншою характерною особливістю є можливість за значенням коефіцієнтів при чинниках оцінювати їхній вплив на визначений параметр процесу гальмування (рис. 2).

В результаті проведених досліджень одержано раціональні значення величини гальмівного моменту M_T і часу його наростання t_n з урахуванням основних параметрів перехідного процесу гальмування: часу гальмування t_T ; максимального горизонтального інерційного навантаження на металокопструкцію P_m^{max} ; максимального навантаження в приводі механізму пересування P_n^{max} ; максимальної амплітуди відхилення вантажу після зупинки крана A^{max} . Так, в результаті моделювання отримано значення критерію оптимізації $D=0,924$, якому відповідають регулювання гальма на гальмівний момент $M_T=125$ Н·м і час його наростання $t_n=0,18$ с. При цьому основні параметри перехідного процесу гальмування: час гальмування $t_T=3,72$ с; величина максимального горизонтального інерційного навантаження на металокопструкцію $P_m^{max}=16,21$ кН; величина максимального навантаження в приводі механізму пересування $P_n^{max}=13,46$ кН; максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана $A^{max}=0,36$ м.

лього інерційного навантаження на металокопструкцію $P_m^{max}=16,21$ кН; величина максимального навантаження в приводі механізму пересування $P_n^{max}=13,46$ кН; максимальна амплітуда відхилення вантажу від вертикалі після зупинки крана $A^{max}=0,36$ м.

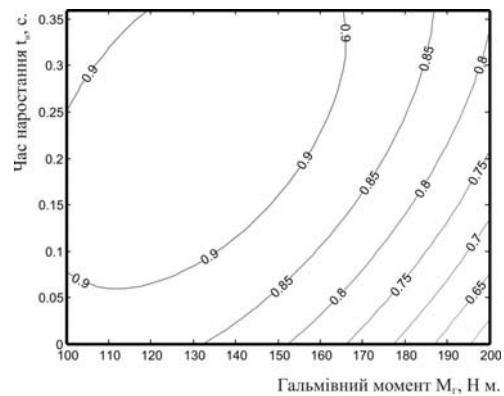
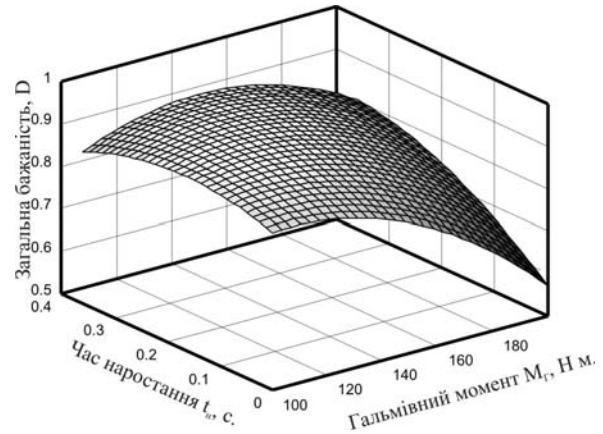


Рис. 2. Графічне зображення функції бажаності D

Висновок. Таким чином, отримане рівняння регресії (5) з урахуванням багатофакторних досліджень і розрахунку динаміки мостових кранів, що базуються на детермінованому підході до динаміки і математичної теорії планування багатофакторних експериментів, дозволяє в заданому інтервалі визначати "якість" перехідного процесу і раціональні гальмівні характеристики механізмів мостового крана.

Література

1. Dresig H., Vulfson J.I. Dynamik der Mechanismen. – Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1989. – 370 p.
2. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
3. Dresig, H.; Holzweißig, F.: Maschinendynamik. 12. aktualisierte Auflage, Springer-Verlag Berlin – Heidelberg, Nov. 2016, ISBN 978-3-662-52712-2; ISBN 978-3-662-52713-9 (eBook)
4. Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. – 210 с.
5. Dresig, H.; Fidlin, A.: Schwingungen mechanischer Antriebssysteme (Modellbildung, Berechnung, Analyse, Synthese). Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 3. überarbeitete

- und erweiterte Auflage, Okt. 2014. ISBN 978-3-642-24116-1 ; ISBN 978-3-642-24117-8 (eBook)
6. Гайдамака В.Ф. Работа грузоподъемных машин при бесступенчатом торможении. – Харьков: Вища школа, 1988. – 141 с.
 7. Старченко В.Н., Шевченко С.И., Кобзева Л.И., Мушкаев Я.В., Игнатьев О.Л. Повышение эффективности работы мостового крана в процессе торможения // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля №5(123) 2008. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – С. 112-117.
 8. Шевченко С.И. Снижение динамических нагрузок кранов мостового типа путем применения тормозных устройств с самоусилением // Науково-технічний та виробничий журнал "Підйомно-транспортна техніка" №4 2008. – Дніпропетровськ: Вид-во ДІПТ, 2008. – С. 38-46.
 9. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
 10. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. 2-е изд., пер. И доп. Учебное пособие для магистров – М.: Юрайт, 2015. – 395 с.

References

1. Dresig H., Vulfson J.I. Dynamik der Mechanismen. – Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1989. – 370 p.
2. Lobov N. A. Dynamics of load-lifting cranes. – M.: Mechanical engineering, 1987. – 160 p.
3. Dresig, H.; Holzweißig, F.: Maschinendynamik. 12. aktualisierte Auflage, Springer- Verlag Berlin – Heidelberg, Nov. 2016, ISBN 978-3-662-52712-2; ISBN 978-3-662-52713-9 (eBook)
4. Boutiques L.Ya. Multiple parameter analysis of dynamics of load-lifting cranes of bridge type. – Luhansk: Look-in the EUGU, 1997. – 210 p.
5. Dresig, H.; Fidlin, A.: Schwingungen mechanischer Antriebssysteme (Modellbildung, Berechnung, Analyse, Synthese). Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Okt. 2014. ISBN 978-3-642-24116-1 ; ISBN 978-3-642-24117-8 (eBook)
6. Gaydamaka V. F. Operation of load-lifting machines at stepless braking. – Kharkiv: Vishcha school, 1988. – 141p.
7. Starchenko V. N., Shevchenko S. I., Kobzeva L. I., Mushkayev Ya. V., Ignatyev O. L. Increase in overall performance of the bridge crane in the course of braking//Vesnik Of Volodymyr Dal East Ukrainian National University No. 5(123) 2008. – Luhansk: Look-in the EUNU of. V. Dahl, 2008. – P. 112-117.
8. Shevchenko S. I. Decrease in dynamic loadings of cranes of bridge type by use of brake mechanisms with self-strengthening//Naukovo-tekhn_chny that the virobnychy

- magazine "Podyomno-transportna of a Tekhnik" No. 4 2008. – Dnepropetrovsk: Look-in DІПТ, 2008. – P. 38-46.
9. Adler YU. P., Markova E. V., Granovsky Yu. V. Planning of an experiment by search of optimum conditions. Prod. the 2nd. – M.: Science, 1976. – 279 p.
 10. Sidnyaev N. I. Theory of planning of an experiment and analysis of statistical data. 2nd prod., lane. And additional. The manual for masters – M.: Yurait, 2015. – 395 p.

Шевченко С.И. Повышение эффективности работы грузоподъемных кранов мостового типа.

В статье рассмотрены результаты теоретического решения научно-технической задачи повышение эффективности работы грузоподъемных кранов мостового типа путём улучшения их динамических характеристик в переходных процессах. В этой связи разработана математическая модель процесса торможения, позволяющая по заданным параметрам определять основные выходные параметры переходного процесса.

С учетом многофакторных исследований базирующихся на детерминированном подходе к динамике и математической теории планирования многофакторных экспериментов получено уравнение регрессии, позволяющее в заданном интервале определять "качество" переходного процесса торможения и рациональные тормозные характеристики мостового крана.

Ключевые слова: мостовой кран, рациональные характеристики, динамические нагрузки, процесс торможения, тормозной момент.

Shevchenko S. Increase in overall performance of load-lifting cranes of bridge type.

In article results of the theoretical solution of a scientific and technical task increase in overall performance of load-lifting cranes of bridge type by improvement of their dynamic characteristics in transition processes are considered. In this regard the mathematical model of process of braking allowing to determine the key output parameters of transition process by the set parameters is developed.

Taking into account the multiple-factor researches which are based on the determined approach to dynamics and the mathematical theory of planning of multiple-factor experiments the regression equation allowing in the set interval is received to define "quality" of transition process of braking and rational brake characteristics of the bridge crane.

Keywords: the bridge crane, rational characteristics, dynamic loadings, process of braking, the brake moment.

Шевченко С.І. – к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 30.03.2017