

Полупан Є.В.

ВПЛИВ ПОКРАЩЕНИХ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВОГО ФРИКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ДИНАМІКУ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ РУСІ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

Стаття присвячена підвищенню ефективності гальмування підйомно-транспортних машин застосуванням нових фрикційних композитних матеріалів на основі вуглець-вуглецю з піровуглецевою матрицею та дослідженню їх динамічних характеристик. При дослідженні впливу триботехнічних характеристик пропонованих матеріалів на динаміку роботи вантажопідйомних машин використовувалися три масові двозв'язкові динамічні моделі крана при пересуванні з вантажем. Застосування цих моделей пояснюється великим розповсюдженням при розрахунках динамічних навантажень і досить високою збіжністю результатів отриманих теоретичним і експериментальними шляхами. Застосування нового фрикційного матеріалу вимагає вивчення впливу основних характеристик фрикційного матеріалу на динамічні параметри руху вантажопідйомної машини. Наявність залежності між температурою в контактній зоні пари тертя, гальмівним моментом, часом, способом охолодження, режимом роботи зумовило вирішення завдання встановлення впливу цих залежностей на динаміку руху вантажопідйомних машин. В результаті проведених раніше досліджень було рекомендовано для застосування новий вуглець-композитний фрикційний матеріал з підвищеною теплопровідністю, теплосмністю та тепловіддачею. Поліпшення теплофізичних характеристик фрикційних матеріалів гальмівних пристроїв порушило питання порівняльного дослідження якісної та кількісної сторони динамічних параметрів процесу гальмування вантажопідйомних машин.

Ключові слова: динамічна модель, гальмування, вантажопідйомна машина, перехідний процес.

Вступ. Вантажопідйомні крани (ВПК) є єдиною динамічною системою, що складається з механізмів, несучої металоконструкції, приводів і будівельної частини будівлі, в якій працює кран. Врахувати все різноманіття елементів крана, що взаємодіють, в динамічному розрахунку дуже складно, а в багатьох випадках у цьому немає необхідності, оскільки не всі фактори однаково впливають на формування динамічних навантажень. При переході від реальної машини до її розрахункової динамічної схеми нехтують тими фізичними чинниками, які у цьому розрахунку мають несуттєве значення.

У випадку при складанні розрахункових динамічних схем ВПК слід враховувати кількість зосереджених мас; розподіл мас за довжиною силового елемента; податливість силових елементів та можливість її зміни у конкретній ситуації; залежність рушійних та гальмівних зусиль приводних двигунів від частоти обертання ротора або якоря; перехідні електромагнітні процеси у приводних електродвигунах або термодинамічні процеси у пневмодвигунах; зміна гальмівних зусиль механічних гальм у часі; зміна наведених мас механізмів тощо. У кожному даному випадку динамічного розрахунку одні фізичні чинники є головними, визначальними, інші – другорядними.

Розрахункова динамічна схема, тобто. модель реальної системи повинна задовольняти двом головним вимогам: по-перше, вона повинна бути певною мірою адекватна реальній системі і, наскільки це можливо, відображати основні фізичні властивості досліджуваної системи; по-друге, вона має бути не дуже складною, щоб вирішення динамічного завдання виявилось не надто трудомістким. Будь-яке ускладнення розрахункової схеми має бути виправдане отриманням точнішого рішення. У той самий час спрощення розрахункової схеми має призводити до спотворення реального фізичного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням енергонавантажності та теплового розрахунку гальмівних пристроїв присвячені роботи: М. П. Александрова, В. Ф. Гайдамаки, І. В. Крагельського, А. В. Чичинадзе, В. Г. Іноземцева, О. І. Вольченка, Д. О. Вольченка, В. М. Федосєєва, Ю. І. Костеріна, В. А. Дем'янюка, Н. А. Ламбаряна, М. Г. Чиковані, С. І. Плясунова, Ф. К. Германчука, А. М. Ромашко, Л. Є. Іванова, Ф. М. Четирбока, Л. М. Пижевича, К. І. Тарасова, Г. С. Гудзя. Створені на основі даних моделей сучасні розрахункові та експериментальні методи дають достатньо повну картину навантажності гальмівних пристроїв.

На підставі фундаментальних досліджень гальмівних пристроїв механізмів і машин, проведених багатьма вченими аж до нашого часу, можна зробити висновок, що вирішення проблеми створення надійної фрикційної пари сучасних високонавантажених гальм механізмів і машин можливе тільки при застосуванні більш теплостійких матеріалів і при одночасній розробці конструкцій гальм, що забезпечують утворення найменших температур нагріву поверхонь тертя.

Мета статті. Метою статті є з'ясування впливу характеру зміни гальмівного моменту у гальмах підйомно-транспортних машин на основні динамічні характеристики підйомно-транспортних машин при нестационарному процесі гальмування.

Основний зміст роботи. На рис. 1 показані принципова схема і динамічна модель мостового крана щодо перехідних періодів пересування, що враховує основні параметри реальної конструкції. Прийнято такі припущення:

- гнучка підвіска вантажу замінена пружним зв'язком з умовною горизонтальною жорсткістю;
- не враховано зазори у приводі;
- сила опору пересування крана прийнята постійною.

При цьому високочастотні коливання приводу практично не позначаються на низькочастотних коливаннях металокопструкції та вантажу [1, 2, 3, 4], тому при визначенні інерційних навантажень металокопструкції та коливань вантажу, що виникають при розгоні та гальмуванні, мостові крани можуть бути представлені тримасовою двозв'язною динамічною моделлю. рис. 2.

Рух мас представленої динамічної моделі згідно з [4] описуватимуться рівняннями:

$$\begin{aligned} m_k \cdot \ddot{x}_k + K_D^z \cdot (\dot{x}_k - \dot{x}_m) + C_M^z \cdot (x_k - x_m) + P_m + P_w &= 0; \\ m_m \cdot \ddot{x}_m - K_D^z \cdot (\dot{x}_k - \dot{x}_m) - C_M^z \cdot (x_k - x_m) + C_K^z \cdot (x_m - x_z) &= 0; \\ m_z \cdot \ddot{x}_z - C_K^z \cdot (x_m - x_z) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

де m_k – приведена до ходових коліс маса частин приводу, що обертаються;

m_m – приведена до середини прольоту маса середніх частин мосту та порожнього візка;

m_z – маса вантажу;

P_m – сила гальмування приведена до обода приводних ходових коліс;

P_w – сила опору пересуванню крана;

C_M^z – коефіцієнт жорсткості металокопструкції крана у горизонтальній площині;

C_K^z – горизонтальна складова натягу вантажних канатів;

K_D^z – коефіцієнт загасання коливань металокопструкції у горизонтальній площині;

x_k, x_m, x_z – шляхи, що проходять відповідними масами від початку координат.

Для визначення впливу триботехнічних характеристик фрикційних матеріалів на зміну параметрів перехідного процесу зупинки вантажопідйомного крана, виразимо експериментально отримані функції зміни гальмівного моменту від температури для найбільш поширеного фрикційного матеріалу ЕМ-2 та пропонуваного вуглець-композитного фрикційного матеріалу УТ-22В наведені на рис. 3 через поліноми третього та четвертого порядку відповідно [5, 6, 7, 8, 9, 10].

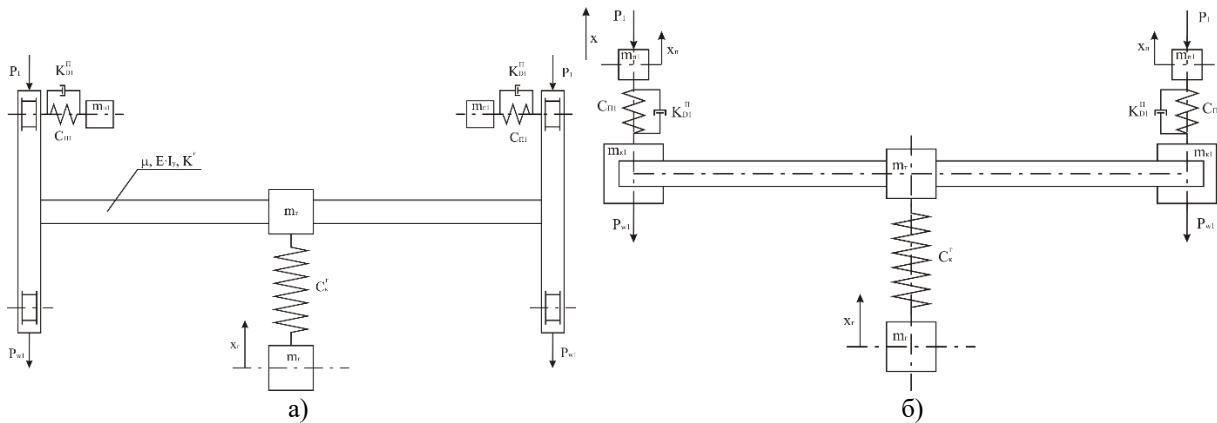


Рисунок 1 – Схеми мостового крана при русі: а) принципова схема, б) динамічна модель.

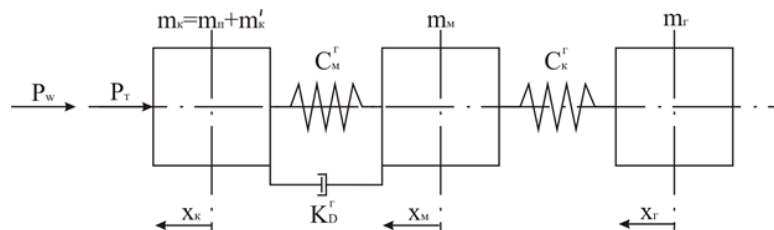


Рисунок 2 – Динамічна модель мостового крана при гальмуванні

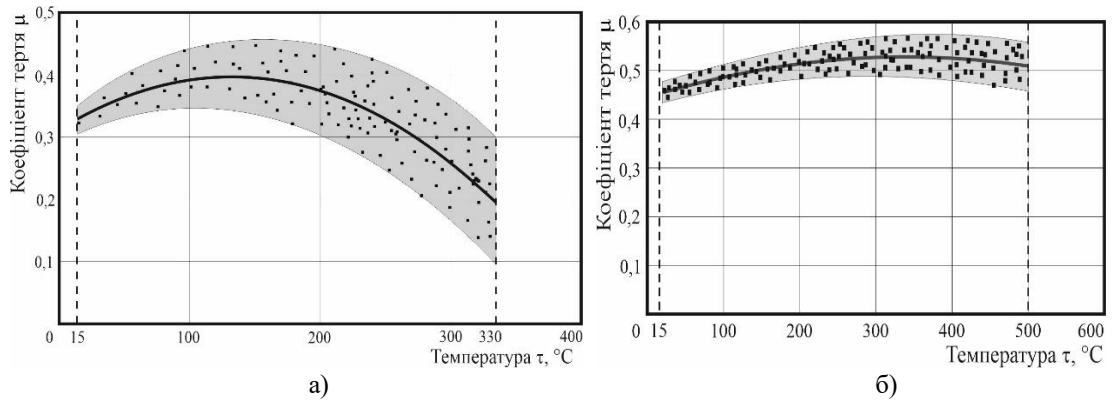


Рисунок 3 – Характер зміни гальмівного моменту в залежності від температури поверхонь тертя для матеріалів: а) EM-2, б) УТ-22В.

Для EM-2

$$M_m = 194.853 + 0.499 \cdot \tau - 0.005457 \cdot \tau^2 + 0.00001001 \cdot \tau^3 \quad (2)$$

Для УТ-22В

$$M_m = 194.007 + 0.059 \cdot \tau - 0.0006294 \cdot \tau^2 + 0.000003863 \cdot \tau^3 - 0.00000006187 \cdot \tau^4 \quad (3)$$

На рис. 4 - 7 представлені графіки зміни параметрів перехідного процесу зупинки вантажопідіймального крана. Розглянуто випадок зупинки мостового крана вантажопідйомністю 15 т і довжиною прольоту 26 м механічним гальмом із початковою швидкістю пересування крана $V_k = 1,33$ м/с, підвішеним на висоті 5 м вантажем масою 15 т.

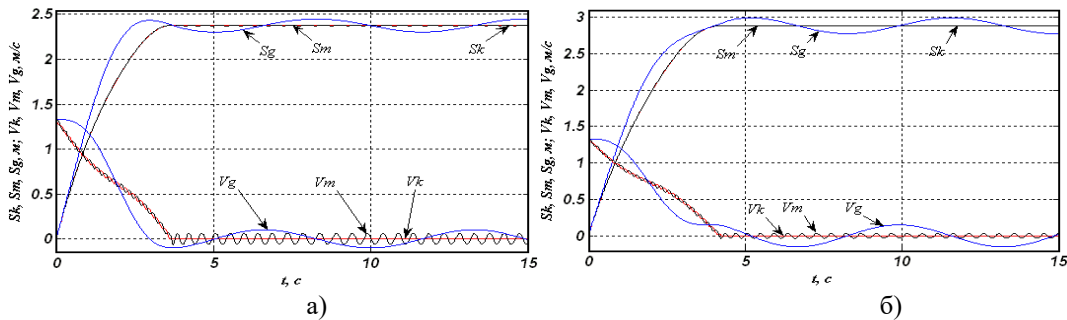


Рисунок 4 – Графіки зміни переміщень і швидкостей при гальмуванні мостового крана з гальмівними азбофрікційними накладками EM-2: а) гальмівний момент 200 Н·м, $\tau=15$ °С, б) гальмівний момент 125 Н·м, $\tau=330$ °С.

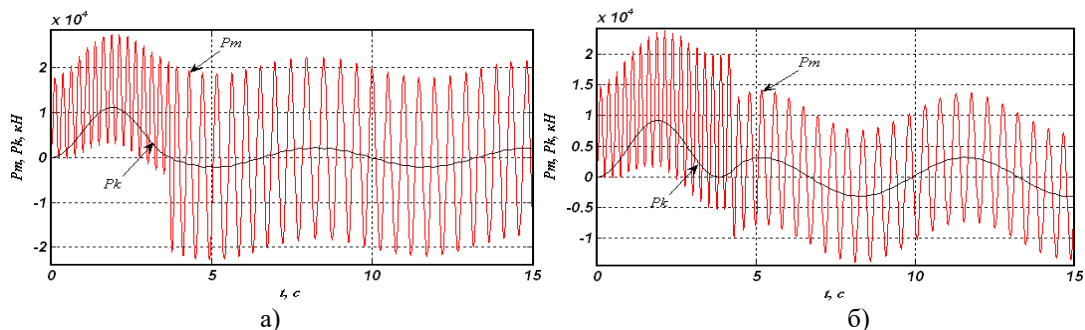


Рисунок 5 – Графіки зміни динамічних навантажень в металоконструкцію і канати при гальмуванні мостового крана з гальмівними азбофрікційними накладками EM-2: а) гальмівний момент 200 Н·м, $\tau=15$ °С, б) гальмівний момент 125 Н·м, $\tau=330$ °С.

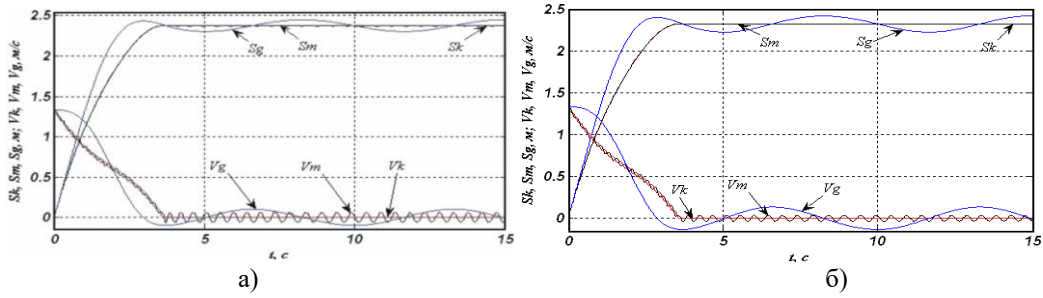


Рисунок 6 – Графіки зміни переміщень та швидкостей при гальмуванні мостового крана з вуглець-композитними гальмівними накладками УТ-22В: а) гальмівний момент 195 Н·м, $\tau=15$ °С, б) гальмівний момент 210 Н·м, $\tau=500$ °С.

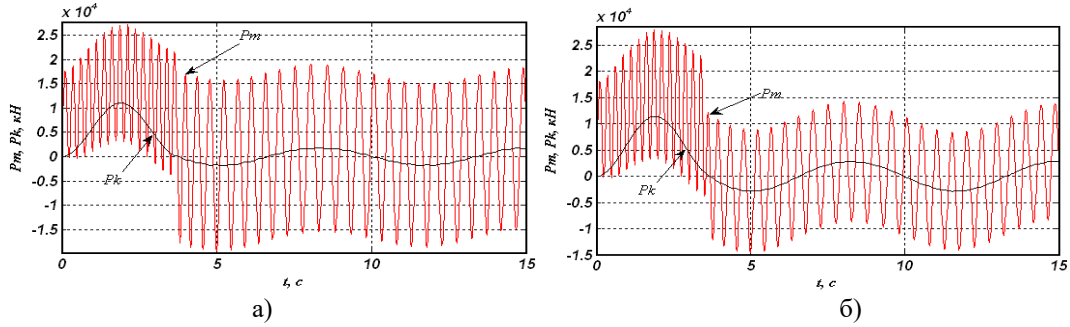


Рисунок 7 – Графіки зміни динамічних навантажень у металоконструкції та канаті при гальмуванні мостового крана з вуглець-композитними гальмівними накладками УТ-22В: а) гальмівний момент 195 Н·м, $\tau=15$ °С, б) гальмівний момент 210 Н·м, $\tau=500$ °С.

На рис. 8 наведено динамічну модель мостового крана при дослідженні перехідних процесів гальмування при спуску вантажу [8], що враховує основні параметри реальної конструкції.

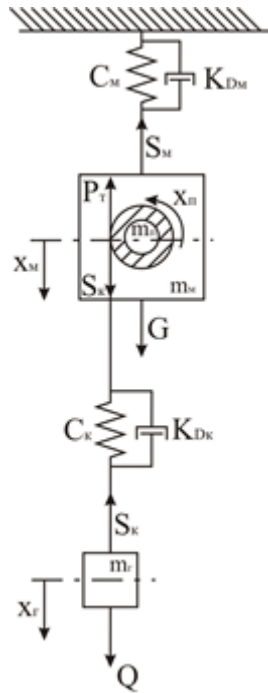


Рисунок 8 – Динамічна модель мостового крана при гальмуванні вантажу, що опускається.

Рух мас згідно з наведеною на рис. 8 моделі описується рівняннями [3]:

$$\begin{aligned}
 \ddot{x}_n \cdot m_n - Q - C_k \cdot (x_n - x_m) - K_{Dk} \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}_m) + P_m &= 0; \\
 \ddot{x}_m \cdot m_m - C_k \cdot (x_n - x_m) - K_{Dk} \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}_m) + C_m \cdot \dot{x}_m + K_{Dm} \cdot \dot{x}_m &= 0 \\
 \ddot{x}_2 \cdot m_2 + \ddot{x}_m \cdot m_2 + C_k \cdot (x_n - x_2) + K_{Dk} \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}_2) &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Де m_n – наведена до канатів маса частин приводу, що обертаються;

m_m – наведена до середини прольоту маса середніх частин мосту та порожнього візка;
 m_z – маса вантажу;
 Q – вага вантажу;
 P_m – сила гальмування наведена до барабана;
 C_k – коефіцієнт жорсткості вантажних канатів;
 K_{Dk} – коефіцієнт загасання коливань вантажних канатів;
 C_m – коефіцієнт жорсткості металоконструкції;
 K_{Dm} – коефіцієнт загасання коливань металоконструкції у вертикальній площині;
 x_n, x_m, x_z – шляхи, що проходять відповідними масами від початку координат.

На рис. 9 - 12 представлені після розрахунку коефіцієнтів системи диференціальних рівнянь графіки зміни параметрів перехідного процесу зупинки вантажу при спуску. Розглянуто випадок зупинки вантажу масою 4 т механічним гальмом механізму підйому крана вантажопідйомністю 5т, прольотом 16,5 м з початковою швидкістю опускання вантажу $V = 0,1$ м/с при довжині канатів 1 м.

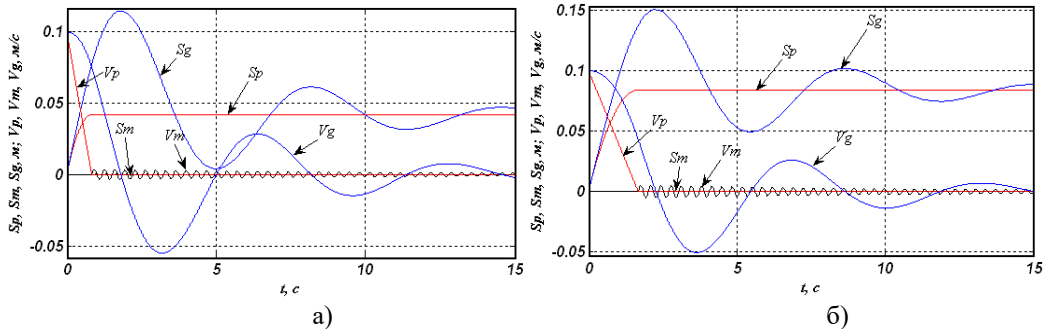


Рисунок 9 – Графіки зміни переміщень і швидкостей при гальмуванні вантажу, що опускається, з азбофрикційними гальмівними накладками ЕМ-2: а) гальмівний момент 200 Н·м, $\tau=15$ °С, б) гальмівний момент 125 Н·м, $\tau=330$ °С.

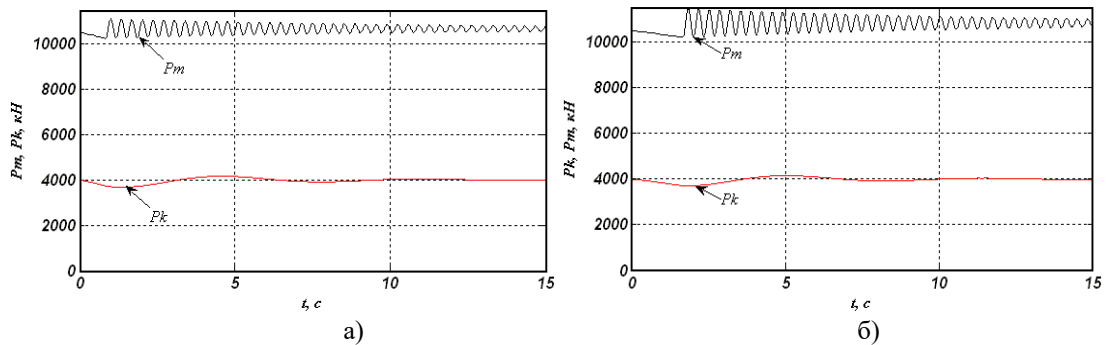


Рисунок 10 – Графіки зміни динамічних навантажень у металоконструкції та канаті при гальмуванні вантажу, що опускається, з азбофрикційними гальмівними накладками ЕМ-2: а) гальмівний момент 200 Н·м, $\tau=15$ °С, б) гальмівний момент 125 Н·м, $\tau=330$ °С.

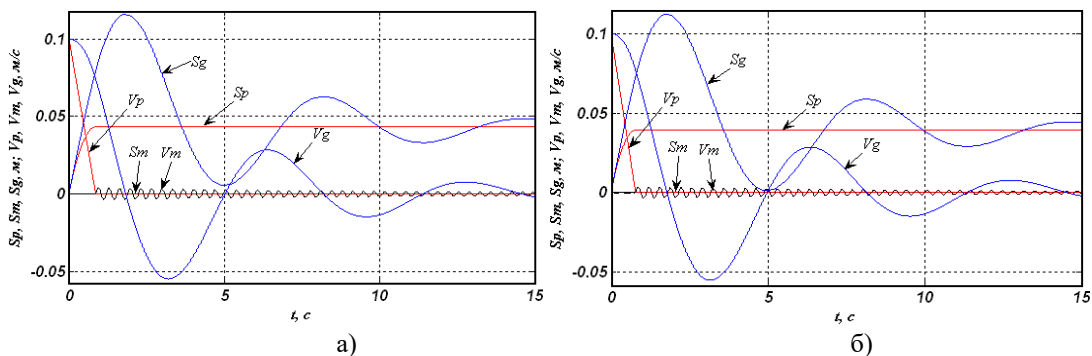


Рисунок 11 – Графіки зміни переміщень і швидкостей при гальмуванні вантажу, що опускається, з вуглець-компонітними гальмівними накладками УТ-22В: а) гальмівний момент 195 Н·м, $\tau=15$ °С, б) гальмівний момент 210 Н·м, $\tau=500$ °С.

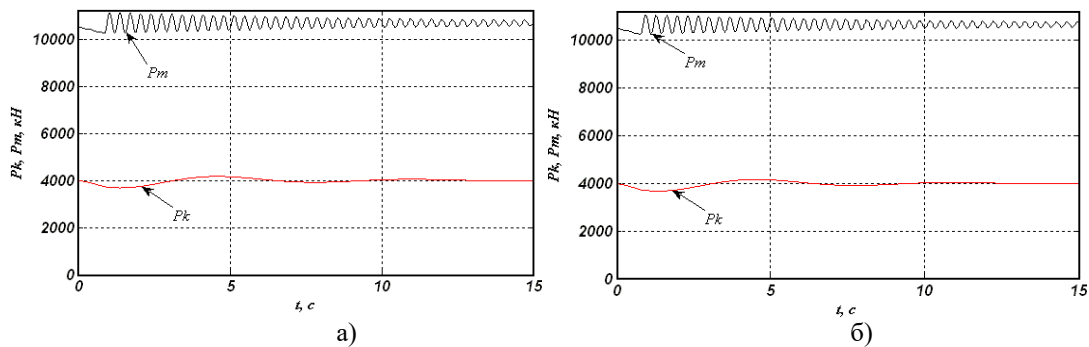


Рисунок 12 – Графіки зміни динамічних навантажень у металоконструкції та канаті при гальмуванні вантажу, що опускається, з вуглець-композитними гальмівними накладками УТ-22В: а) гальмівний момент 195 Н·м, $\tau=15^{\circ}\text{C}$, б) гальмівний момент 210 Н·м, $\tau=500^{\circ}\text{C}$.

Висновки. Аналізуючи наведені на рис. 4 - 12 результати розрахунків можна зробити основні висновки, що при використанні серійного фрикційного матеріалу ЕМ-2 у гальмівних пристроях зупинки крана та вантажу збільшення температури поверхонь тертя призводить до збільшення часу гальмування крана на 15% та вантажу – 41%, до збільшення гальмівного шляху кінцевих балок крана на 17,6% та вантажу – 16%, до зменшення динамічних навантажень крана на 13,1% та 1,7%, до зменшення динамічних навантажень канатів на 17,65% та 0,13%, до зменшення амплітуди розгойдування вантажу на 7,3% та 8,15% відповідно. При використанні в тих же гальмівних пристроях нового вуглець-композитного фрикційного матеріалу УТ-22 призводить до скорочення часу гальмування крана на 4,5% і вантажу - 4,9%, до скорочення гальмівного шляху кінцевих балок на 3,6% і вантажу - 1,4%, збільшення динамічних навантажень крана на 2,9% і 0,09%, збільшення динамічних навантажень канатів на 3,45% і 0,005%, збільшення амплітуди розгойдування вантажу на 9,85% і 3,17% відповідно. Таким чином, виходячи з аналізу наведених результатів можна зробити висновок, що застосування нових вуглець-композитних фрикційних матеріалів підвищує безпеку експлуатації підйомно-транспортної техніки, яка виражається в стабілізації основних показників процесу гальмування вантажопідйомної машини, таких як амплітуда розгойдування, час і шлях гальмування крана та вантажу.

Література

1. Вольченко О.І., Загора Ю.С. Барабанно-колодкові гальмівні пристрої. - Львів: Вища школа. Видавництво при Львів. ун-ті. - 1980. - 191 с.
2. Ловейкін В.С. Аналіз та синтез режимів руху механізмів вантажопідйомних машин. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2012. - 298 с.
3. Толочко О.І., Бажутин Д.В., Палис Ф. Гашение горизонтальных упругих колебаний конструкции мостового крана // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково-виробничого журналу – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 336-339.
4. Макурин А.В., Морозов Д.И. Динамика продольного перемещения мостового крана с учетом упругости элементов конструкции // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – №3(79). – С. 167-169.
5. Будиков Л. Я. Багатопараметричний аналіз динаміки вантажопідйомних кранів мостового типу / СНУ ім. В. Даля. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, вид. 2-е, 2003. – 210 с.
6. Полупан Є. В. Підвищення ефективності гальмування піднімально-транспортних машин застосуванням нових фрикційних матеріалів. Дис. ... кандидата техн. наук: Харків, 2008.-173 с.
7. В. Н. Старченко, Є. В. Полупан. Дослідження теплового стану фрикційних накладок гальмівних пристроїв транспортних машин // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - 2006. - № 7 (101). - С.56-61.
8. Старченко В.М., Гурін В.А., Полупан Є.В., Гурін І.В. Триботехнічні характеристики нових фрикційних матеріалів // Вісник Східноукраїнського університету ім. В. Даля. - 2005. - № 8 [90], ч.1. - С.121-126
9. Старченко В. М., Полупан О. В., Шевченко С. І. Підвищення ефективності гальмування використанням нових вуглець-композитних матеріалів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - 2004. - № 7 (77), частина 1. - С. 137-142.
10. Казак С. А. Динаміка мостових кранів. Вид-во “Машинобудування”, 1968. – 332 с.

References

1. Volchenko O.I., Zamora Yu.S. Barabanno-kolodkovi halmivni prystroi. - Lviv: Vyshcha shkola. Vydavnytstvo pry Lviv. un-ti. - 1980. - 191 s.
2. Loveikin V.S. Analiz ta syntezy rezhymiv rukhu mekhanizmiv vantazhopidomnykh mashyn. Monohrafiia / V.S. Loveikin, Yu.O. Romasevych. – K.: TsP „KOMPRINT”, 2012. - 298 s.
3. Tolochko O.Y., Bazhutyn D.V., Palys F. Hashenyeh horizontalnykh upruhykh kolebanyi konstruktssy mostovoho kрана // Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy. Tematychnyi vypusk «Problemy

- avtomatyzovanoho elektropyvoda. Teoriia y praktyka» naukovo-vyrobnychoho zhurnalu – Kremenchuk: KrNU, 2012. – Vyp. 3/2012 (19). – S. 336-339.
4. Makurn A.V., Morozov D.Y. Dynamyka prodolnoho peremeshchennia mostovoho kрана s uchetom uprughosty elementov konstruksyy // Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy. – 2011. – №3(79). – S. 167-169.
 5. Budykov L. Ya. Bahatoparmetrychnyi analiz dynamiky vantazhopidomnykh kraniv mostovoho typu / SNU im. V. Dalia. – Luhansk: vyd-vo SNU um. V. Dalia, vyd. 2-e, 2003. – 210 s.
 6. Polupan Ye. V. Pidvyshchennia efektyvnosti halmuvannia pidnimalno-transportnykh mashyn zastosuvanniam novykh fryktsiinykh materialiv. Dys. ... kandydata tekhn. nauk: Kharkiv, 2008.-173 s.
 7. V. N. Starchenko, Ye. V. Polupan. Doslidzhennia teplovoho stanu fryktsiinykh nakladok halmivnykh prystroiv transportnykh mashyn // Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. - 2006. - № 7 (101). - S.56-61.
 8. Starchenko V.M., Hurin V.A., Polupan Ye.V., Hurin I.V. Trybotekhnichni kharakterystyky novykh fryktsiinykh materialiv // Visnyk Skhidnoukrainskoho universytetu im. V. Dalia. - 2005. - № 8 [90], ch.1. - S.121-126
 9. Starchenko V. M., Polupan O. V., Shevchenko S. I. Pidvyshchennia efektyvnosti halmuvannia vykorystanniam novykh vuhlets-kompozytsiinykh materialiv // Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. - 2004. - № 7 (77), chastyna 1. - S. 137-142.
 10. Kazak S. A. Dynamika mostovykh kraniv. Vyd-vo “Mashynobuduvannia”, 1968. – 332 s.

The article is devoted to increasing the braking efficiency of lifting and transporting machines using new frictional composite materials based on carbon-carbon with a pyrocarbon matrix and to the study of their dynamic characteristics. When studying the impact of the tribotechnical characteristics of the proposed materials on the dynamics of the work of lifting machines, three mass two-link dynamic models of the crane were used when moving with a load. The use of these models is explained by the large spread in the calculations of dynamic loads and the rather high convergence of the results obtained by theoretical and experimental methods. The use of a new friction material requires studying the impact of the main characteristics of the friction material on the dynamic parameters of the forklift. The existence of a dependence between the temperature in the contact zone of the friction pair, braking torque, time, cooling method, operating mode led to the solution of the task of establishing the influence of these dependencies on the dynamics of the movement of forklift trucks. As a result of earlier studies, a new carbon-composite friction material with increased thermal conductivity, heat capacity, and heat transfer was recommended for use. The improvement of thermophysical characteristics of friction materials of braking devices raised the issue of a comparative study of the qualitative and quantitative aspects of the dynamic parameters of the braking process of forklift trucks.

Key words: dynamic model, braking, truck, transition process.

Полупан Є.В. - канд. техн. наук., Східноукраїнський національний університет, iiscienceii@ukr.net