

УДК 621.86.

DOI: 10.15276/pidtt.1.60.2019.01

Григоров О. В., Турчин О. В., Аніщенко Г. О., Петренко Н. О.,
Стрижак В. В., Радченко В. С.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут»*

ТОВ «Харківський завод підйомно-транспортного устаткування»

БІЧНІ СИЛИ, ЩО ДІЮТЬ НА КОЛЕСА МОСТОВИХ КРАНІВ, І ДЕЯКІ МЕТОДИ ЇХ ЗНИЖЕННЯ

Анотація. *Значне число мостових кранів мають пошкодження конструкції, що виникають в результаті дії бічних навантажень на ходові колеса, однією з причин виникнення яких є неточності установки коліс і непрямолінійність рейкового шляху. У статті розглядається процес виникнення бічних сил і питання оптимізації цих параметрів, а також переваги використання коліс з чавуну з кулястим графітом на підставі емпіричних даних і окремих конструктивних рішень.*

Ключові слова: *мостові крани, металоконструкція, бічні навантаження на колеса, контактнo-фрикційна взаємодія, чавун з кулястим графітом.*

Вступ

За результатами статистичного аналізу, виконаного Е.М. Кінцевим і Б.М. Розенштейном для мостових кранів [1], найбільше число пошкоджень мають кінцеві балки (див. рис. 1). Звертає на себе увагу підвищена інтенсивність виникнення дефектів в початковий період експлуатації.

Як правило, цим пошкодженням передують поява зносу реборд [2], що побічно свідчить про істотний негативний вплив горизонтальних навантажень, які для мостових кранів мають переважно поперечний напрям. Місця найбільш характерних ушкоджень показані на рис. 2 (за даними [2]). Досить небезпечним є вузол з'єднання головних і кінцевих балок. Особливо, якщо це з'єднання виконано на чистих болтах з порушеннями конструктивних вимог, наприклад, зі збільшеними зазорами [3]. Паспортна група режиму роботи крана визначається з урахуванням спектру вантажів, що піднімаються, що не завжди має пряме відношення до рівня навантаженості горизонтальними силами.

© Григоров О. В., Турчин О. В., Аніщенко Г. О., Петренко Н. О.,
Стрижак В. В., Радченко В. С., 2019

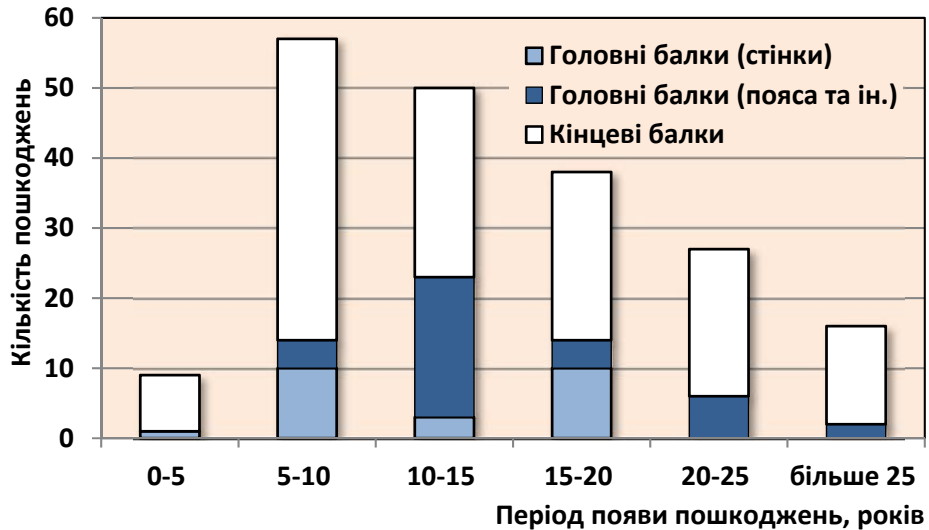


Рисунок 1 – Виникнення дефектів на кранах, що знаходяться в експлуатації

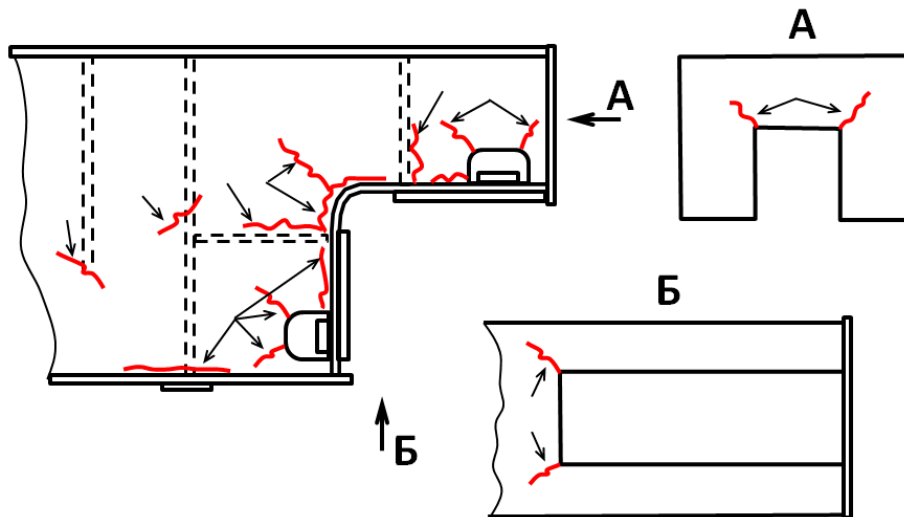


Рисунок 2 – Характерні місця появи тріщин на кінцевих балках (за даними [2])

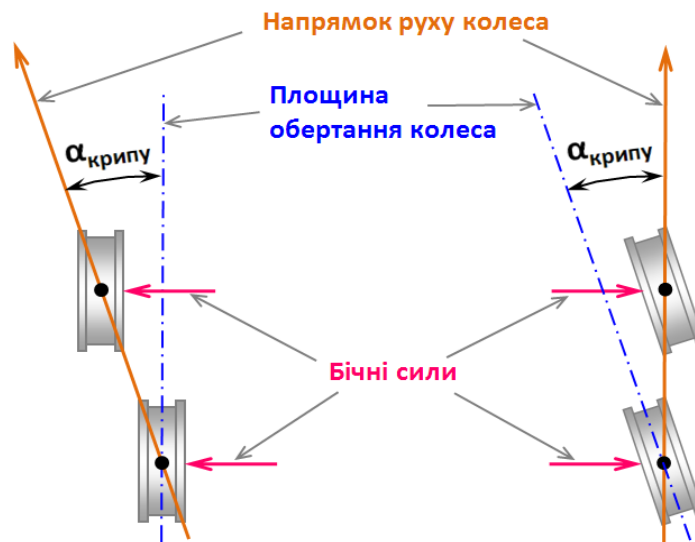
Поява тріщин вказує на змінний характер навантаження вузлів, що пов'язано з торканнями рейок реборд різних коліс, поворотами крана в цілому, деформаціями його несучої конструкції, непостійністю швидкості, змінами положення вантажу та ін.

Викладення основної частини

Для оцінки рівня навантаженості елементів кінцевих балок потрібний розгляд кількох взаємовпливаючих процесів. Найбільш важливим і одночасно найменш дослідженим явищем є виникнення бічних сил при коченні колеса, повернутого на невеликий кут до

площини його обертання (див. рис. 3). Ці сили можуть бути значними, особливо для кранів з жорсткою конструкцією.

Ефект проявляється як поступове зміщення колеса з площини кочення під дією бічної сили (а), або ж як наявність бічних реакцій в підшипниках колеса при його коченні з перекосом в плані (б). При русі крана мають місце обидва випадки. У відомих експериментальних дослідженнях вимірювалася сила реакції при коченні повернутого колеса.



а) Поступове зміщення колеса під дією бічної сили

б) При коченні колеса з перекосом виникає поперечна реакція в буксах

Рисунок 3 – Поперечне пружне ковзання колеса

На жаль, для кранових умов явище вивчено недостатньо, що вносить невизначеність в існуючі розрахункові методики.

Експериментальні дослідження стримуються через об'єктивні причини, пов'язані з необхідністю точних геометричних вимірювань при дії великих сил. Ці питання вирішуються в залізничній галузі з застосуванням досить складного і дорогого обладнання. Кранові колеса працюють при значно більш високих навантаженнях. Відповідно, конструкція стенда повинна бути досить жорсткою і міцною. У разі ж експериментів на діючих кранах є принципові обмеження точності вимірювань як бічних сил, так і поточних кутів перекосу коліс. Не дивно, що наявні на сьогоднішній день дані отримані зі значним розкидом.

Це видно на рис. 4, де наведені експериментальні значення бічної сили зчеплення обода колеса з рейкою, віднесеної до

вертикального навантаження в функції від кута повороту колеса (в проміле), які виміряні в приміщенні для випадку очищених рейок при різних рівнях контактних напруг за Герцем. Відзначимо, що наявність іржі, забруднень або плівки води призводить до зниження сил, тому далі ці випадки не розглядаються.

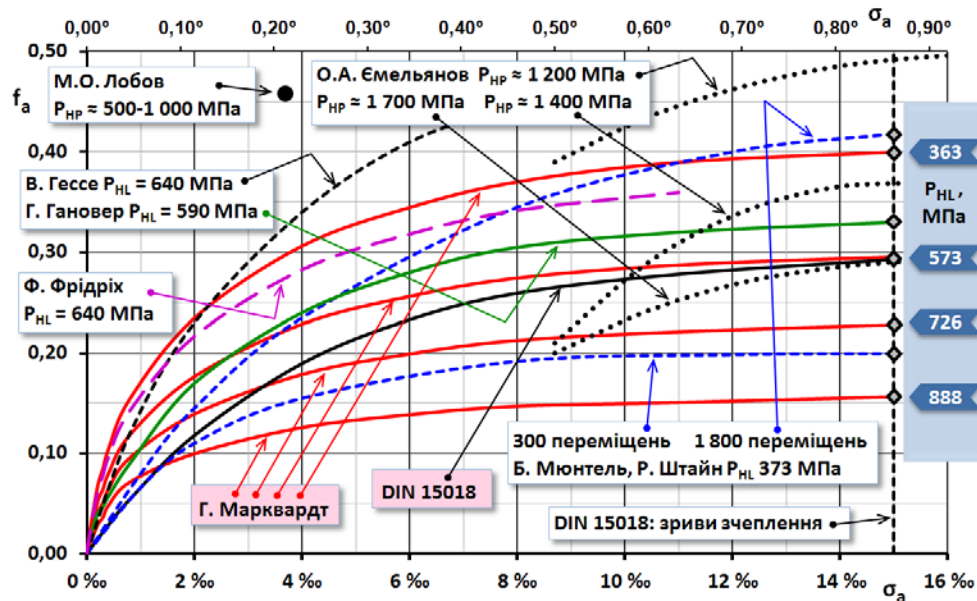


Рисунок 4 – Коефіцієнт поперечного пружного ковзання f_a в залежності від відносного поперечного зсуву колеса σ_a , експериментальні дані

На рисунку також є крива, яка використовується в стандартній розрахунковій методиці, наведеній в DIN 15018, що поширена сьогодні на загальноєвропейські стандарти.

Значний інтерес представляють дані, отримані Г. Марквардтом на стенді з кільцевою рейкою. Можна також відзначити результати О.А. Ємельянова, В.Ф. Задираки, В.П. Шепотько та ін. дослідників з Краматорського Індустріального Інституту – єдині в своєму роді, виміряні при контактних тисках, характерних для кранових коліс. На жаль, в останньому випадку присутні систематичні похибки, що розпізнаються за некоректним нахилом двох графіків в їх лівій частині. Це зайвий раз свідчить про об'єктивні складнощі, пов'язані з точністю вимірювань. Відзначимо також, що дані мають значний розкид, крім того у всьому діапазоні параметрів спостерігаються зриви зчеплення [2], що викликає запитання. На рис. 4 для цих серій експериментів графіки наведені з осередненням, без урахування зривів зчеплення.

Контактно-фрикційні явища є не єдиною причиною бокових навантажень. Для кранів з великими прогонами істотним є вплив поздовжніх зусиль, що діють на протилежні сторони – активних, дисипативних і інерційних. У разі податливої конструкції в плані

відповідні навантаження можуть бути превалюючими.

Вплив окремих негативних ефектів може бути знижено за допомогою практичних заходів. Зокрема, ефективним є змащування бокових поверхонь рейок і/або реборд. Останнім часом набувають поширення системи управління рухом крана, що включають датчики зазорів між ребордами і боковими поверхнями рейок. Інформація, що надходить від датчиків, аналізується мікропроцесором і кран вирівнюється з примусовим запізнюванням тієї чи іншої сторони. Відзначимо також можливість використання конічних приводних коліс при синхронізації їх обертання, що забезпечується системою управління.

Зважаючи на складність проблеми в цілому, зупинимося на важливому окремому аспекті – забезпеченні точності геометрії крана, для чого потрібно рішення ряду конструктивно-технологічних задач.

У зв'язку з цим, зупинимося на характерних заходах, що застосовує фірма Demag, в основі яких лежить серійність і модульність. Так, колеса випускаються в складі блоків або готових кінцевих балок, що виготовляються з необхідним рівнем точності, які мають оброблені установлювальні поверхні (див. рис. 5).

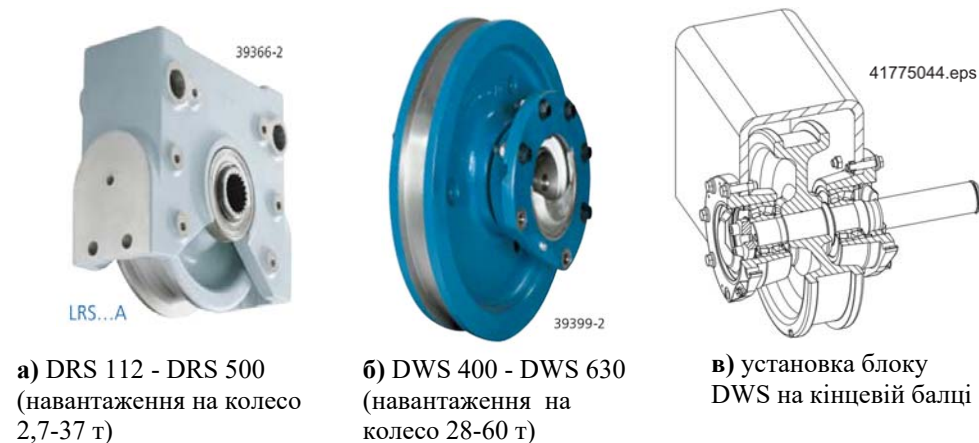


Рисунок 5 – Колісні блоки DRS [4] та DWS [5]

Блоки DWS (б) базуються по стінках кінцевих балок (в). Вузли з кутовими буксами не застосовуються. Далі розглядаються особливості використання тільки блоків DRS (а).

На рис. 6 представлений спосіб кріплення колісного блоку до бічних стінок кінцевої балки на двох горизонтальних осях (1), з набором фігурних пластин (2) для регулювання прогону. В цьому випадку точність положення коліс забезпечується обробкою отворів під осі.

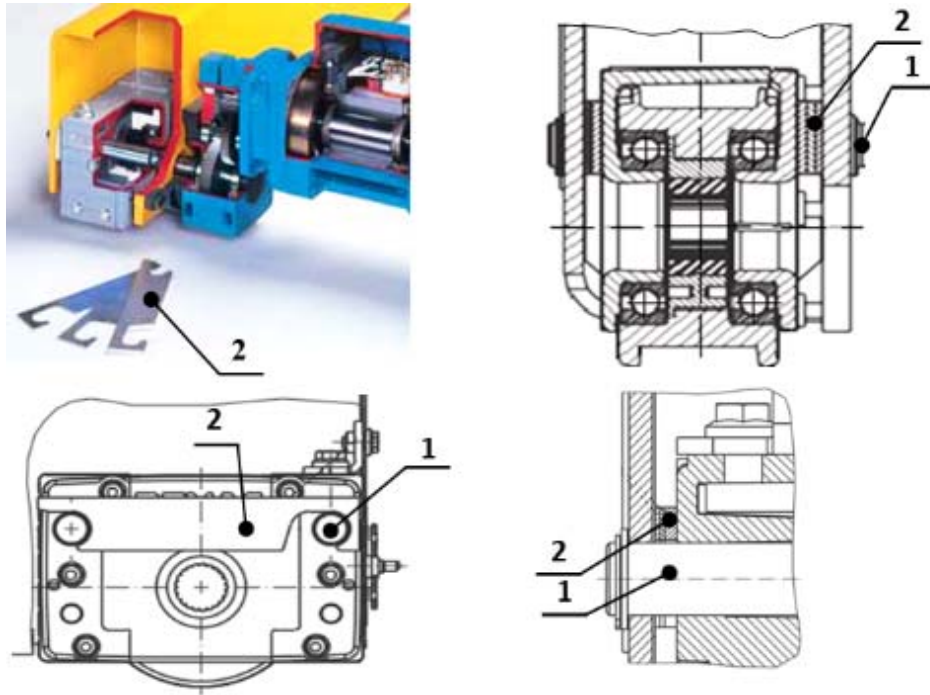


Рисунок 6 – Установка блока DRS на осях: 1 – кріпильні осі; 2 – дистанційні установчі фігурні пластини

Можливі й інші варіанти установлення (див. рис. 7). У разі базування по горизонтальній поверхні для перевірки стану коліс використовується лазерне візування (див. рис. 8), при цьому регулювання положення здійснюється ексцентриковими гвинтами на кінцевій балці.

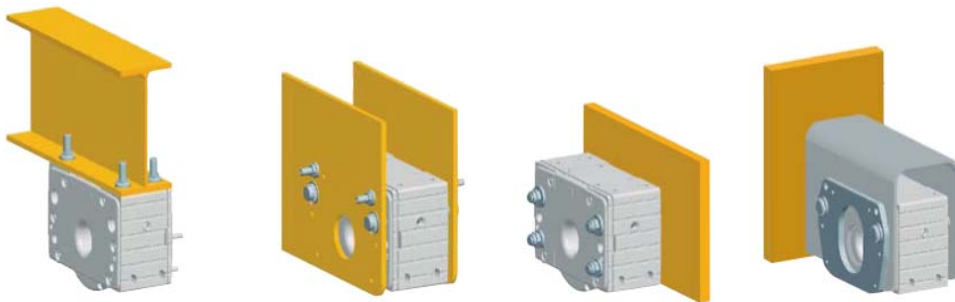


Рисунок 7 – Різні способи установлення колісних блоків DRS

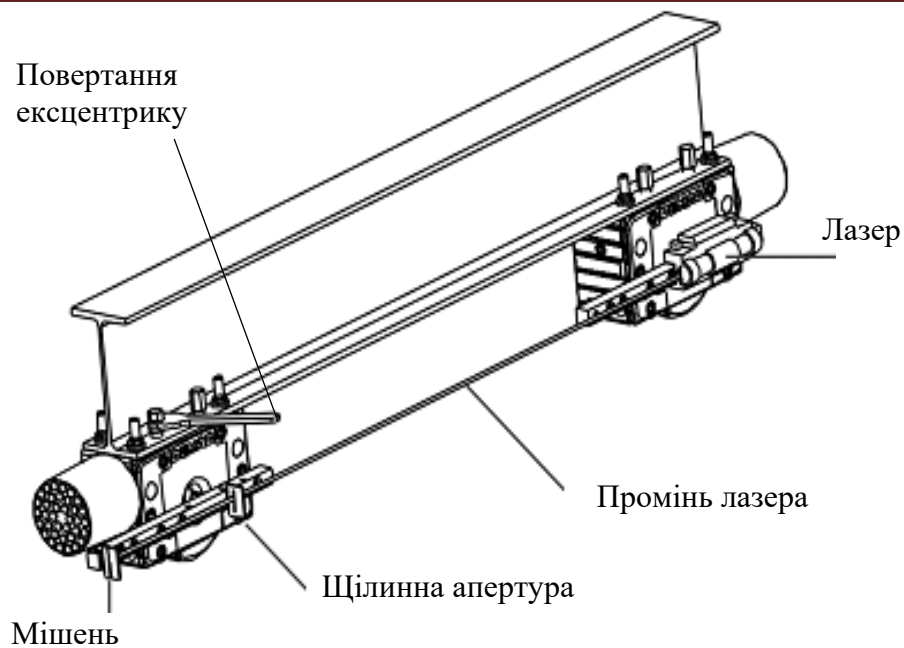


Рисунок 8 – Точне регулювання положення коліс блоку DRS із застосуванням лазера [6]

Кінцеві балки, що випускаються цією фірмою, комплектуються відповідною плитою фланцевого болтового з'єднання, яка приєднується до головної балки заводським зварюванням, а також вкладишами (див. рис. 9), що забезпечує базування при монтажній збірці за механічно обробленими поверхнями.

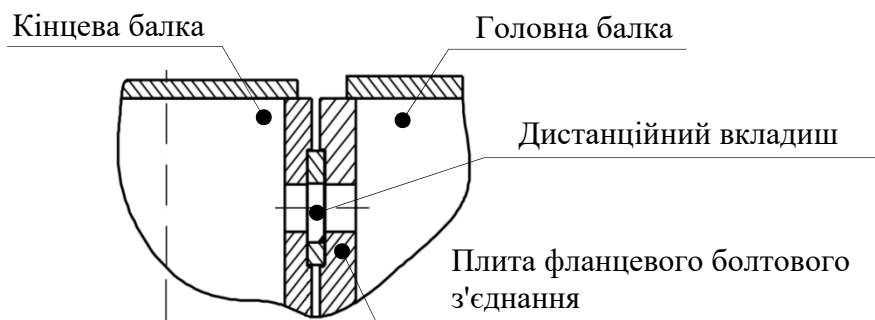


Рисунок 9 – Елементи фланцевого з'єднання кінцевої і головної балки

Для отримання схеми рейкового шляху використовується лазерний випромінювач в комбінації з рухомою кареткою-мішенню, що автоматично переміщується по рейках (див. рис 10).

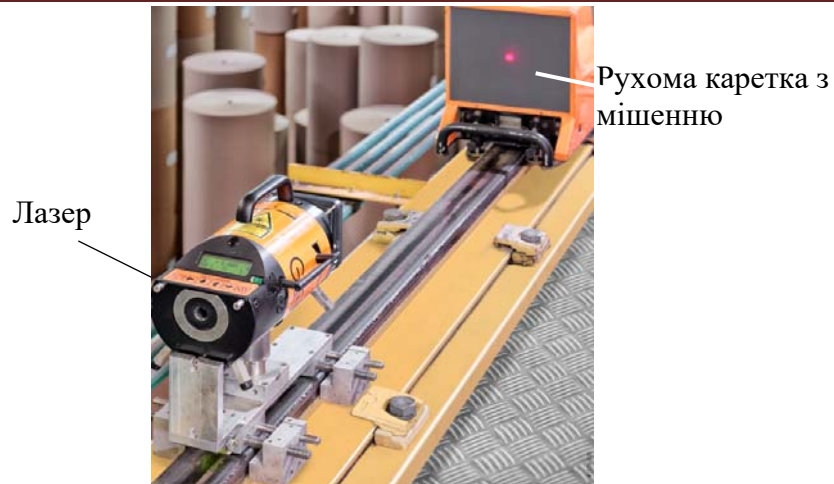


Рисунок 10 – Перевірка геометрії рейкової колії [7]

Підхід в цілому відрізняється зваженістю. Так, рівень точності обмежений розумними межами, щоб уникнути непропорційного зростання вартості виробу. Зокрема, лазерний візор, що використовується для встановки коліс, має точність вимірювань 1,6‰ (ймовірно, мається на увазі сумарний діапазон відхилень, відповідний $\pm 0,8\%$), що відповідає найбільш грубому, 4 класу точності згідно з ISO 12488. Рейки ж рекомендується вирівнювати по 2 класу точності (див. рис. 11 а).

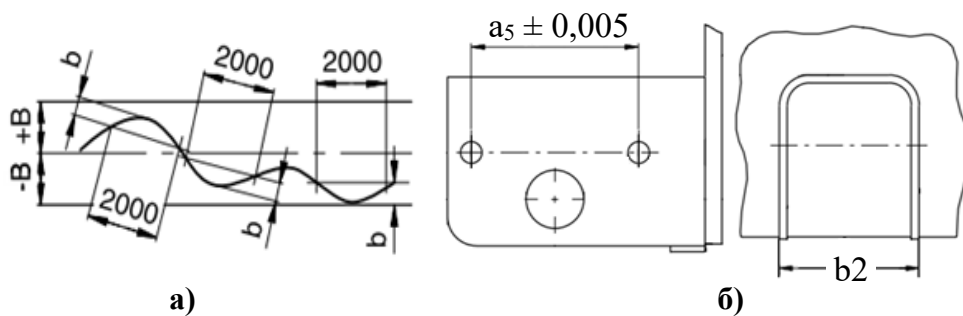


Рисунок 11 – Точність розташування базових поверхонь під установлювальні осі колісного блоку. Допустимі відхилення від прямолінійності осі рейки [6]

У табл. 1 наведені кутові відхилення коліс, розраховані на основі даних каталогу (див. рис. 11). Обчислення проводилися з урахуванням мінімальних баз серійних кінцевих балок. Як видно, найбільший кут між площиною кочення колеса і віссю рейки становить близько 6-7‰ і визначається, переважно, зазорами між ребордами і бічними поверхнями рейок. Установлювальні кути коліс впливають в меншій мірі.

Таблиця 1 – Розрахункові кути повороту коліс в плані щодо осей рейок за складовими (обробка даних каталогу)

Позначення колісного блоку	Відстань між стінками	Мінімальна база серійної кінцевий балки	Найбільший зазор між ребордами і рейкою	Найбільші кути повороту коліс					Сумарне
				Через відхилення положень отворів під пальці	Через неточності лазерного візування	Через непрямолінійності рейок	Через зазор між ребордами і рейками		
DRS	b_2	L_{min}	S_{max}	$2 \cdot 0,05/b_2$	$2 \cdot 0,05/b_2$	$2B/6000/2$	S_{max}/L_{min}	σ_{Σ}	
112	111			$\pm 0,89\%$		$\pm 1,67\%$		$\pm 2,56\%$	
125	111	1 500	5	$\pm 0,80\%$		$\pm 1,67\%$	$\pm 3,33\%$	$\pm 5,80\%$	
160	129	1 500	5	$\pm 0,63\%$		$\pm 1,67\%$	$\pm 3,33\%$	$\pm 5,63\%$	
200	154	2 000	5	$\pm 0,50\%$		$\pm 1,67\%$	$\pm 2,50\%$	$\pm 4,67\%$	
112	111				$\pm 1,60\%$	$\pm 1,67\%$		$\pm 3,27\%$	
125	111	1 500	5		$\pm 1,60\%$	$\pm 1,67\%$	$\pm 3,33\%$	$\pm 6,60\%$	
160	129	1 500	5		$\pm 1,60\%$	$\pm 1,67\%$	$\pm 3,33\%$	$\pm 6,60\%$	
200	154	2 000	5		$\pm 1,60\%$	$\pm 1,67\%$	$\pm 2,50\%$	$\pm 5,77\%$	

При дотриманні необхідної точності геометрії крана і шляху декларується рівень бічного навантаження на колесо не вище 0,2 від вертикальної сили, з посиланням на методику DIN 15018. Ця величина приблизно відповідає точкам графіка на рис. 4 для цього стандарту, що побічно підтверджує коректність обчислень наведених в таблиці 1.

Колеса Demag виготовляються з литого чавуну з кулястим графітом марки GJS-700-2 за класифікацією EN (GGG70 за класифікацією DIN), які мають феритні оболонки навколо включень графіту в базову перлітну структуру. Відзначається підвищена стійкість цього матеріалу до зносу, однак при визначенні навантажень основний інтерес представляє поперечне зчеплення обода колеса з рейкою.

Коефіцієнт поперечного зчеплення для чавуну з кулястим графітом було виміряно Б. Мюнтелем на крані [8]. У цій же серії експериментів вимірювалися також коефіцієнти для сталевих коліс (див. рис. 12). Як видно, для діапазону кутів перекосу коліс 5-15% кочення чавунних коліс супроводжується меншими навантаженнями. Ефект особливо виражений при природнім очищенні контактуючих поверхонь від плівок окислів, якщо кран виконує багаторазові переміщення через відносно короткий проміжок часу. Таким чином, є певне обґрунтування невисоких вимог до точності геометрії крана і шляху.

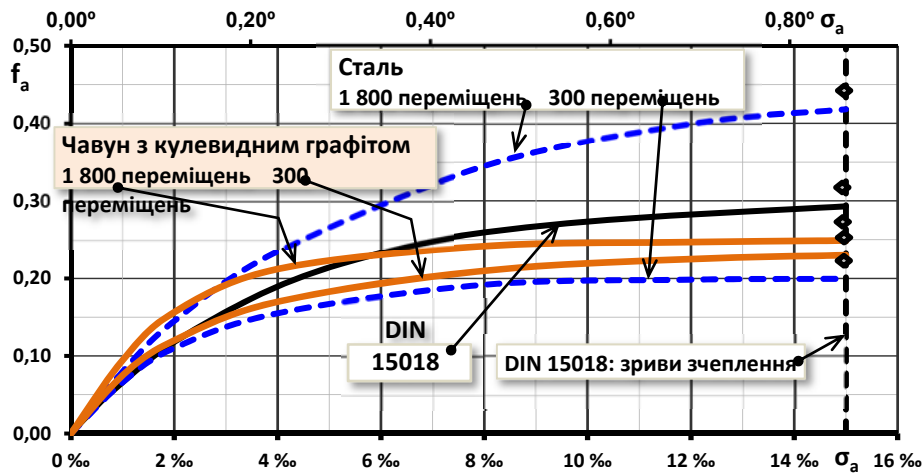


Рисунок 12 – Результати порівняльних випробувань коліс зі сталі і чавуну з кулястим графітом

Як видно, лінії графіків в навіколонульовій зоні збігаються, що відповідає відомим уявленням про те, що при малих кутах повороту коліс поперечне зчеплення в основному визначається пружними властивостями матеріалу, оскільки модулі зсуву високоміцних чавунів з кулястим графітом і сталей близькі. Звертає на себе увагу також те, що при перекосі до 4‰ колеса з чавуну не мають переваги перед сталевими.

Ми не маємо відомості про марку чавуну в випробуваннях Б. Мюнтеля, тому зроблені висновки повинні розглядатися як попередні.

Повертаючись до рис. 4, відзначимо, що частина експериментальних результатів не підтверджує величини бічних навантажень на колеса, розрахованих за методикою, що спочатку була наведена в DIN 15018, а потім поширена на ряд інших стандартів (EN 13001-2, EN 15011, EN 1991-3 та ISO 8686-1) – практично, без змін. Питання вимагає додаткового вивчення.

Висновки

Наявні статистичні дані свідчать про значну пошкодзованість елементів металоконструкції мостових кранів під дією бічних навантажень, що виникають при коченні коліс по рейках з перекосом. Ці сили можуть бути знижені при виконанні ряду конструктивних вимог, перш за все, до точності геометрії крана і рейкового шляху, а також до матеріалу коліс.

Як приклад розглядаються підходи фірми Demag, які є не тільки ефективними, але і помірно витратними. Для серійних мостових кранів середньої вантажопідйомності забезпечується знижений рівень точності установки коліс (4 клас за VDI 3576 або ISO 12488-1) і

середня точність вирівнювання рейкового шляху (2 клас за VDI 3576 або ISO 12488-1).

Для гарантованого забезпечення цих вимог використовуються різні інструменти, заходи і конструктивні рішення. Досить ефективним є застосування коліс з чавуну з кулястим графітом, який має не тільки протизносні властивості, але і знижену силу поперечного зчеплення обода з рейкою при кутах перекосу коліс в діапазоні 5-15%.

Методика визначення бічних навантажень на сьогоднішній день забезпечує недостатньо достовірні результати, тому для їх уточнення потрібні додаткові дослідження.

Список використаної літератури

1. Концевой Е.М. Ремонт крановых металлоконструкций / Е.М. Концевой, Б.М. Розенштейн – М.: Машиностроение, 1979. 205с.
2. Емельянов О.А. Мосты сварные, крановые. Конструкция. Нагруженность. Диагностика. Обеспечение ресурса: Монография / О.А. Емельянов. – Краматорск: ДГМА, 2002. – 334с.
3. Попов В.А. На тернистом пути экспертизы промышленной безопасности / В.А. Попов, В.А. Гудошник. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2016. – 544 с.
4. Каталог Demag Cranes & Components. The Demag wheel range. German : Demag Cranes & Components GmbH, 2010. 20p.
5. Demag Cranes & Components. Demag DWS wheel set. Germany: Demag Cranes & Components GmbH, 2011. 40p.
6. Каталог Demag Cranes & Components. Demag DRS wheel block system. Germany: Demag Cranes & Components GmbH, 2010. 204p.
7. Каталог Demag Cranes & Components. Safety all along the line. Germany: Terex MHPS GmbH, 2016. 8p.
8. Muntel В.С. Querkraft-Schlupf-Funktionen einer realen Brückenkrananlage unter Variation der Parameter. Braunschweig, Techn. Univ., Diss., v. 1987.

LATERAL FORCES ACTING ON WHEELS OF BRIDGE CRANES AND SOME METHODS FOR THEIR DECREASE

Gryhorov O. V.¹, Turchyn O. V.¹, Anishchenko G. O.¹, Petrenko N. O.¹, Strizhak V. V.¹, Radchenko V. S.²

¹ National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

² LLC "Kharkov Lifting & Transportation Equipment Plant"

Abstract. Elements of the steel structures of bridge cranes are exposed to the side loads that arise during the movement. As a result, multiple fatigue damage occurs, the nature of which allows you to judge the complexity of power influences. The determination of the corresponding

loads is possible only with significant errors, which is connected, first of all, with the lack of knowledge of the contact-frictional phenomena taking place when rolling the wheels on the rails with the bias of the plane of rotation relative to the direction of motion. The numerical results of experimental measurements of the coefficient of transverse coupling in the function of skew of crane wheels and pressure on contact pads are given. The data has a significant spread, in addition, they are sensitive to various additional factors that are practically not evaluable, such as surface condition and rolling frequency.

The solution to the problem today is hampered by the objective complexity and high cost of the necessary experiments. In this regard, the most important practical measures that reduce the level of side loads are considered. First of all, it is the applying of known solutions aimed at providing the necessary precision of wheel alignment and straightness of the rail path, as well as the use of laser sights for control measurements. In addition, the question of optimization of the level of accuracy is raised, referring to the practice of the company "Demag", which is important to prevent the disproportionate increase in the value of the product. The advantages of using nodular cast iron wheels are considered. It is assumed that the main benefit from the use of these wheels can be explained by lower values of transverse coupling forces in contact with the rail.

Keywords: bridge cranes, steel structures, lateral loading on wheels, contact-friction interaction, nodular cast iron.