

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-35-05>
УДК 621. 87

¹ **І.А.ПЕРЕВОЗНИК**, аспірант кафедри будівельних і дорожніх машин
e-mail: igorperevoznik1970@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2933-6873>
¹ Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого 25, м. Харків, 61002

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ПРИ ПЕРЕСУВАННІ ХОДОВИХ КОЛІС МОСТОВИХ КРАНІВ

Різні умови роботи і конструктивні особливості окремих вантажопідйомних машин і кранових шляхів викликають великі різновиди механізмів пересування кранів і кранових візків. Опір пересування крана або візка утворюється при коченні коліс по рейкам і в підшипниках коліс. При експлуатації крана ходові колеса знаходяться під дією різних навантажень - ваги вантажу, власної ваги крану, тиску повітря, сили інерції і навантажень, які виникають при перекосах кранів на підкранових шляхах, при дефектах підкранових шляхів і ходової частини крану.

Розміри рейок повинні відповідати навантаженням і розмірам ходових коліс і забезпечуються розрахунком їх на згин і на місцевий стиск під колесом. В процесі роботи крана навантаження ходових коліс змінюються іноді у широких межах. Від конструктивної форми балки в значній мірі залежить її довговічність, надійність, простота виготовлення і обслуговування. Придання конструкції замкнутого профілю дає максимальне збільшення крутильної жорсткості.

Перекося крана, який рухається являється наслідком таких причин як проковзування або пробуксовка ведучих коліс крана на рейках, різниця діаметрів ведучих коліс, неправильна установка коліс, дефекти кранових шляхів. Ударні навантаження, які виникають при русі ходових коліс бувають у двох випадках: при наїзді кранів на кінцеві упори і при проходженні стиків рейкового шляху і місцевих нерівностей. Для зменшення ударних навантажень сучасні вантажопідйомні крани і вантажні візки при їх підході до кінцевих упорів мають буфери, які дозволяють розширити робочий хід крана і підвищити надійність і безпеку роботи крана.

Вибір типу ходової рейки пов'язаний з величиною навантаження ходових коліс і з конструктивними особливостями механізму пересування – конічні ходові колеса можуть пересуватись тільки по випуклій рейці, циліндричні – і по випуклим і по плоским рейкам.

Знос елементів підкранового шляху приводить до відмов металевих конструкцій підкранових балок, що викликає значні економічні втрати. Перехід в кранових конструкціях від клепаних підкранових балок, які мали дискретні поясні з'єднання з визначеною рухливістю до зварних балок з жорсткою системою поясних зв'язків без конструктивної компенсації рухливості привели до значного зменшення довговічності зварних балок. Місцевий напружений стан стінки у зварних підкранових балках, який визначає міцність від втоми в цій зоні, може бути врегульований тільки за допомогою кранової рейки. Але робота підкранового шляху належним чином не досліджена і до теперішнього часу.

Можливі деформації як самих ходових коліс так і рейкових колій залежать в значній мірі від висоти і характеру стику рейок, форми рейки і швидкості руху ходових коліс.

В статті було проведено більш уточнене визначення тих навантажень, які виникають в підрейкових балках, біли відкинуті деякі припущення і отримані нові розрахункові формули. Крім того, проведений аналіз впливу способу установки рейок на величину силових факторів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: навантаження, колесо ходове, балка, шпала, механізм пересування, момент згину, пружність.

Як цитувати: І.А.Перевозник .(2025). Визначення навантажень, які виникають при пересуванні ходових коліс мостових кранів. *Машинобудування*. 2025 Вип 35 С. 46-53.

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-35-05>



Вступ

Підвищення вимог до безпеки виробничих процесів, а також до надійності і економічності металоконструкцій мостових кранів пов'язане з технічних переобладнанням підприємств. Найбільш гостро ця проблема стоїть на підприємствах чорної і кольорової металургії і важкого машинобудування. У цехах із режимом роботи кранів 7К і 8К тріщини від втоми можуть з'являтися на протязі 5...10 років. При пересуванні кранів по рейковому шляху виникає ряд динамічних процесів, які суттєво впливають на довговічність і самого ходового колеса і підкранового рейкового шляху. До таких процесів зокрема відносяться пружні коливання елементів трансмісії механізмів пересування і металоконструкції крана, які виникають при його пуску і гальмування. Проблеми механіки, які пов'язані із

взаємодією кранової системи з рейковим шляхом, в повній мірі проявляються в тих випадках., коли пересування крана являється не періодичним, а циклічним повторюваним процесом всього циклу роботи крана.

При пересуванні ходових коліс по рейковим коліям при проходженні місцевих нерівномірностей, таких як стики, наплавки від зварювання, вибоїни і т.інш. виникають ударні навантаження. Особливо це стосується мостових кранів, які мають жорстку ходову частину. Найбільше число ушкоджень металоконструкцій мостових кранів має місце в кінцевих балках у місцях закріплення ходових коліс. Головною причиною цього являється високий рівень динамічних ударних навантажень, які діють на кранові колеса і відповідно, на кінцеві балки при проходженні краном стиків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Динамічні моделі мостового крану розглянуті в роботах [1, 2]. Автори відмічають значні лінійні коливання моделі, а також вібрації вантажу і тролей під час руху крана. Був зроблений висновок про зміну навантаження під час руху крана. В роботі не були розглянуті динамічні навантаження в металоконструкції крана при пересуванні

В роботі [3] розглянуте питання оптимізації пересування вантажного візка мостового крану на задану відстань, що дає можливість зменшити математичні коливання вантажу на канатному підвісі.

Результати експериментальних досліджень появи бокових сил в мостовому крані, які змінюються в процесі руху наведені в роботі [4]. Було встановлено, що експериментальні значення бокових сил менші, ніж визначені теоретично. Було б доцільним розглянути колеса не тільки з циліндричним профілем, але і з конічним, яке забезпечить менші бокові сили.

Також рух кранів та сили, що виникають в горизонтальній площині від нерівностей рейкових колій, досліджувалися в роботах [5-7].

В роботі [8] було розглянуто динамічні моделі мостового крану. Автори визначали лінійні коливання моделі, яка дає опис вібрації вантажу і тролей під час руху крану і оцінили сили тертя в системі.

Була дана оцінка впливу змінності навантаження на протязі дії сил опору при пересуванні крану.

В роботі [9] отримане рішення, яке дозволяє визначити динамічні сили, які виникають в металоконструкції крана під час проходження ходового колеса через стик рейки з урахуванням висоти стиків і геометричних параметрів колеса. В роботі [10] розглянуто прогин рейки підкранової колії та отримані рішення, які дозволяють визначити прогин підкранової рейки та коефіцієнт динамічності при проходженні колеса через стик рейок. В статті [11] відмічається, що отримані авторотами дані підтверджують дослідження багатьох учених, що крива крипу, що застосовується сьогодні в розрахунках, вимагає уточнення. З огляду на велике значення цієї залежності для розв'язання теоретичних і практичних задач взаємодії рухомого складу і колії, треба провести додаткові дослідження і ретельно перевірити отримані дані.

Особливий інтерес викликають дослідження методом акустичної емісії динамічних процесів взаємодії колеса з

рейкою, а також уточнення взаємозв'язку коефіцієнта тертя з проковзуванням.

Постановка проблеми

В сучасних дослідженнях руху кранів мостового типу не враховують схеми установки рейок на підрейкових балках, незважаючи на те, що саме вони мають дуже великий вплив на довговічність як кранових коліс так і кранових рейок.

При цьому розподілення навантаження на балки мають дуже велике значення, тому що довговічність металоконструкції всього мостового крану визначається саме рівнем навантаження підрейкових балок.

Великий вплив на довговічність металоконструкції крана має і форма балки.

Ці питання і до теперішнього часу не мають повного вирішення.

Метою даного дослідження є встановлення залежності між типом встановлення рейки на підрейкову балку і тими навантаженнями, які виникають при пересуванні ходових коліс механізмів пересування крана і вантажних візків. Було встановлено на прикладі конкретних значень розмірів і навантажень значення моментів згину, розподіленого навантаження і величини напруження, які виникають при пересуванні ходових коліс в рейках.

Викладення основного матеріалу

Навантаження ходових коліс викликає згин і кручення кранових рейок. В інженерній практиці обмежуються розрахунком рейок на згин в вертикальній площині та на місцевий стиск. Неповноту врахування напруженого стану компенсують зниженням допустимих напружень або відповідним збільшенням розрахункових навантажень. Міцність і зносостійкість рейок визначається напругами в місцях передачі навантаження від коліс на рейку і напругами, які виникають при згині і крученні під дією нормальних, подовжніх і поперечних навантажень.

Напружений стан рейки залежить також від метода укладки на балках і на фундаментах (на прокладках, на шпалах або з спираанням підшви по всій довжині).

Рейки вантажного візка мостового крана, як правило, встановлюються безпосередньо на поясний лист прогонної балки. При проведенні розрахунків міцності такої балки треба враховувати ефективний коефіцієнт концентрації напружень, які виникають в місцях закріплення рейок і накладення зварювальних швів. Для того, щоб цьому запобігти, доцільно виключити кріплення рейок між діафрагмами. Це можливо досягнути, якщо провести укладку рейки на прошарки над діафрагмами. При цьому ми не тільки звільняємо від місцевих

напружень верхній пояс, але і запобігаємо його ушкодженню при рихтовці рейок.

Якщо рейка спирається по всій довжині на масивний фундамент, то в перерізі рейки, який знаходиться на відстані x_1, x_2 від тиску ходових коліс P_1, P_2 (рис.1) момент згину визначиться за формулою

$$M = \frac{1}{4\phi} (P_1\phi_1 + P_2\phi_2 + \dots) \quad (1)$$

де

$$\phi = e^{-\beta x_i} (\cos \beta x_i - \sin \beta x_i)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kB}{4EI}} \quad (2)$$

де B – ширина підшви рейки, I, E – момент інерції і момент пружності рейки, k – модуль основи.

Тиск під підшовою рейки

$$P = \frac{\beta}{2B} (P_1\Psi_1 + P_2\Psi_2 + \dots) \quad (3)$$

де

$$\Psi = e^{-\beta x_i} (\cos \beta x_i + \sin \beta x_i)$$

$$M = \frac{P}{4\beta}, \text{ а тиск } p = \frac{\beta P}{2B},$$

На наш погляд, це допущення являється надто грубим, воно виключає пояснення появи динамічних сил в металоконструкції мосту при русі вантажного візка. Для зменшення тиску під підшвою рейки він укладається на прокладки $l_n \times B_n$ (рис.2). Проведемо дослідження впливу укладки рейок на прошарках, які встановлені над діафрагмами, на величину тиску і напружень згину на нижній поверхні пояса балки. Експерименти, які були проведені на моделях з органічного скла і сталі 09Г2 показали, що частина поясу працює як балка на пружній основі. Застосування прошарок дозволило зменшити тиск в 1,3 - 1,6 рази, що задовільно співпадає з розрахунковими даними.

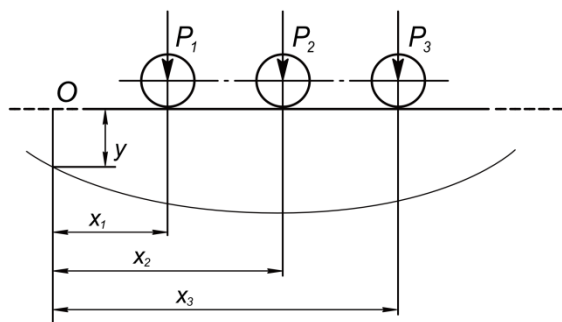


Рис. 1 – Розрахункова схема

Fig. 1 – Calculation scheme

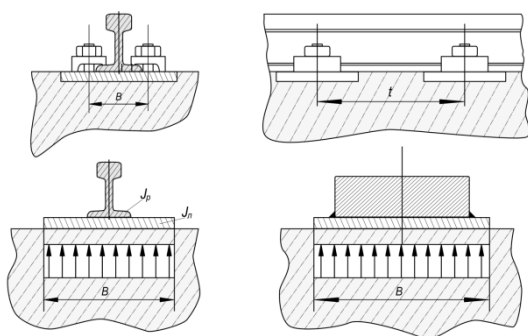


Рис. 2 – Рейка на підкладному листі

Fig. 2 – Rail on a backing sheet

Приймаємо поправку до модуля k l/t . Тоді отримаємо

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kB_n}{4EJ_p} \cdot \frac{l}{t}}$$

Тиск на основу

$$p = \frac{\beta t}{2B_n l} (P_1 \Psi_1 + P_2 \Psi_2 \dots)$$

Б.М.Брауде пропонував момент згину визначати як сумарний моментів в балці на пружній основі і в балці прольотом із защемленими кінцями

$$M = \frac{P}{4\beta} + \frac{Pe}{8} = \frac{P}{4\beta} \left(1 + \frac{\beta e}{2}\right)$$

Якщо рейку встановити на полосу шириною B_n то формули (2), (3) будуть мати вигляд

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kB_n}{EI}},$$

$$p = \frac{\beta}{2B_n} (P_1 \Psi_1 + P_2 \Psi_2)$$

Крім цього, момент інерції в цьому випадку визначається по формулі:

$$J = J_p + J_n$$

де J_p, J_n - моменти інерції відповідно для рейки і полоси.

Момент згину можна розподілити між рейкою і половою пропорційно їх жорсткостям згину

$$M_p = \frac{J_p}{J} M, M_n = \frac{J_n}{J} M$$

Напруження згину в рейці

$$\sigma_p = \frac{M_p}{J_p} e = \frac{M}{J} e$$

Напруження згину в полосі

$$\sigma_n = \frac{M_n}{J_n} \cdot \frac{h}{2} = \frac{Mh}{2J}$$

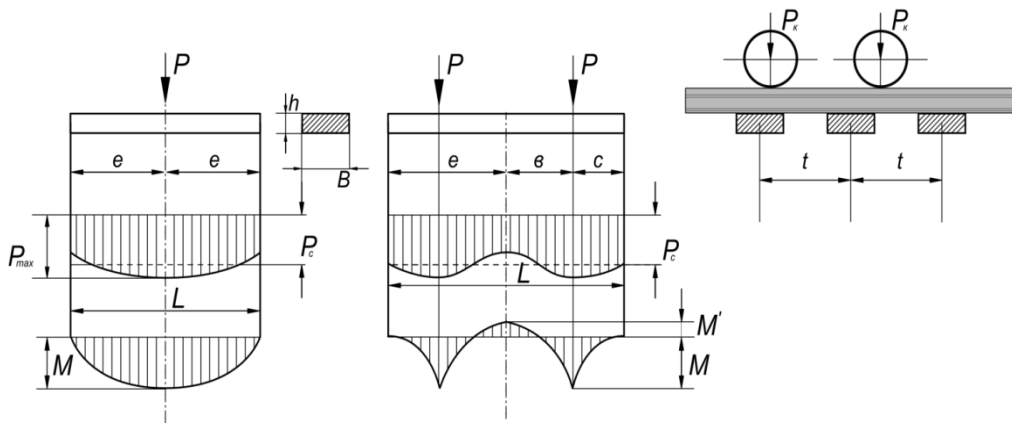
Полоса згинається в поперечному напрямку моментом $M = \frac{pc^2}{2}$, який викликає напруження

$$\sigma_1 = \frac{6pc^2}{2h^2} = \frac{3pc^2}{h^2}$$

При шпальному шляху на баласті

(рис.3) тиск шпали на баласт розподіляється нерівномірно, але при розмірах шпал, які звичайно приймаються, і великій їх кількості, приймають тиск рівномірним. Навантаження на шпали $P_h = pBL$.

Момент згину в шпалі при одnoreйковому шляху $M_h = \frac{P_h L}{8}$.



а) одnoreйковий шлях, б) двореіковий шлях

Рис.3 – Розрахункова схема

Fig. 3 – Calculation scheme

При двох рейковому шляху момент посередині шпали $M_h = \frac{P_h(c-b)}{2}$.

Момент під рейкою $M_{h1} = \frac{P_h c^2}{2l}$.

Якщо рейка вкладається на короткі шпали на бетонних або металевих балках динаміка руху зменшується. В цьому випадку модуль основи потрібно визначати не властивостями баласту, а пружними властивостями дерев'яних шпал. При цьому

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{l_{np} B E_h}{4 h l E l}}$$

де E_h - модуль пружності шпали при поперечному тиску; l_{np} - приведена довжина шпали.

При металевих шпалах рейку можна розглядати як багато опорну балку. При відстані колеса $x = \alpha t$ від опори момент згину в рейці в перерізі під колесом

$$M = \frac{\alpha(1-\alpha)}{2} [1 + 2(\sqrt{3}-1) \cdot (1-\alpha)] Pt$$

Момент згину в перерізі над опорою

$$M = \frac{\alpha(1-\alpha)}{2} [1 - (\sqrt{3}-1)\alpha] pt$$

Навантаження шпали змінюється по закону

$$P_h = [1 - (\sqrt{3}-1)\alpha - (2-\sqrt{3})\alpha^3] P$$

При двоколiсному візку з базою а змінення функції а/т момент згину в рейці і навантаження шпал видно на рис. 4.

Якщо рейка спирається на пояс двотаврової балки то податливість рейки приведе до згину рейки і поясу.

У випадку, коли рейки опираються на балки коробчастого перерізу діафрагми, які приварені до верхнього поясу, можна розглядати як нерухомі опори.

Порівняльні розрахунки для різних методів укладки рейкових колій на балках мосту наведені у таблиці 1.

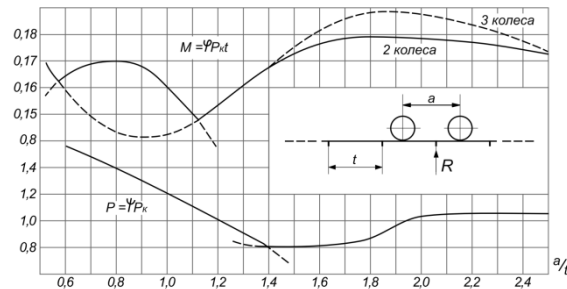


Рис.4. Навантаження у рейках на шпалах

Fig.4. Load in rails on sleepers

Таблиця 1.

Порівняльні розрахунки для різних методів укладки рейкових колій на балках мосту

Table 1.

Comparative calculations for different methods of laying rail tracks on bridge girders

Вид опори	$M_{\max}$, Н·м	$\sigma_{\max}$, МПа	$P_{\max}$, МПа
Фундамент	18380	102	3,7
Смуга	10208,5	51,77	2,1
Прокладка	20534,5	114	3,15
Шпальний шлях на баласті	10625	59,2	2,0
Шпальний шлях на бетонних шпалах	2091	5	0,038
Шпальний шлях на металевих шпалах	6210	14,75	0,33
Двотаврова балка	2083	2,05	1,07
Коробчата балка	3156	1,12	0,707

Висновки

Згідно з розрахунковими даними, які представлені у таблиці 1, можна зробити висновок, що максимальні моменти згину виникають при встановленні рейки на прокладку, а мінімальні – на двотаврову балку. Максимальні напруження виникають також при встановленні рейок на прокладку, а мінімальні – при застосуванні коробчатої балки. Максимальні поперечні зусилля виникають при встановленні рейок на

фундамент, а мінімальні при використуванні шпального шляху на бетонних плитах.

Крім цього, як бачимо форма балки також має значний вплив на напруження. Так заміна двотаврової балки на коробчасту збільшує на 50% моменти згину, але зменшую майже вдвічі максимальні напруження і поперечне зусилля.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

Список використаної літератури

1. Haniszewski T. Modeling the dynamics of cargo lifting process by overhead crane for dynamic overload factor estimation. *Journal of vibroengineering*. 2017. Vol. 19, Iss. 1, pp. 75–86. DOI <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17310>.
2. Слепужніков Е. Д. Визначення динамічних навантажень при пересуванні вантажного візка мостового крана. *Машинобудування*. 2015. № 16. С. 34–37.
3. Romacevych Y., Loveikin V., Stekhno O. CLOSED-LOOP OPTIMAL CONTROL OF A SYSTEM „TROLLEY - PAYLOAD”. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 81, Iss. 2, pp. 5–12.

4. On wheel rolling along the rail regime with longitudinal load / Franchuk V. P., Ziborov K. A., Krivda V. V., Fedoriachenko S. O. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2017. № 3, pp. 62–67.
 5. Markine V., Mashal A., Ren M. Effect of wheel-rail interface parameters on contact stability in explicit finite element analysis. *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*. 2018. Vol. 232 (6), pp. 1879-1894. DOI: 10.1177/0954409718754941.
 6. Josef Musilek. Dynamical Model for Determination of Horizontal Forces on Crane Runway during Motion of the Crane. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 603 052076.
 7. Josef Musilek. Horizontal Forces on Crane Runway Caused by Skewing of the Crane. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. (471 052001).
 8. Zelic A., Zuber N., Sostakov R. Experimental determination of lateral forces caused by bridge crane skewing during travelling. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2018. Vol. 20, No.1, pp. 90–99. <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2018.1.12>.
 9. Фідоровська Н. М., Перевозник І. А. Динамічні зусилля, які виникають при проходженні ходовим колесом через стик коліс. *Машинобудування*. Харків : УПА, 2017. Вип. 20. С.67-70.
 10. Фідоровська Н. М., Перевозник І. А. Ударні навантаження при пересуванні мостових кранів. *Машинобудування*. Харків, 2018. Вип. 21. С. 43-45.
 11. Шапран Е., Тасанг Е. Дослідження взаємодії колеса з рейкою методом акустичної емісії. *Машинознавство*. 2006. № 5 (107). С. 42-46.
- Стаття надійшла для редакції 12.05.2025

Стаття рекомендована до друку 13.06.2025

¹ **I.A. PEREVOZNYK**, graduate student of the Department of Construction and Road Machinery
e-mail: igorperveznyk1970@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2933-6873>

¹Kharkiv National Automobile and Highway University
Yaroslava Mudrogo str. 25,61002, Kharkiv, Ukraine

DETERMINATION OF LOADS ARISING DURING MOVEMENT OF TRAVELING WHEELS OF BRIDGE CRANES

Different working conditions and design features of individual lifting machines and crane paths cause a wide variety of mechanisms for moving cranes and crane trolleys. The movement resistance of the crane or trolley is formed when the wheels roll on the rails and in the wheel bearings.

During the operation of the crane, the running wheels are under the influence of various loads - the weight of the cargo, the crane's own weight, air pressure, the force of inertia and loads that occur when the cranes are skewed on the under-crane paths, when there are defects in the under-crane paths and the crane's undercarriage.

The dimensions of the rails must correspond to the loads and dimensions of the running wheels and are ensured by calculating them for bending and for local compression under the wheel. During the operation of the crane, the load on the running wheels sometimes varies widely. Its durability, reliability, ease of manufacture and maintenance largely depends on the structural form of the beam. The design of the closed profile gives the maximum increase in torsional stiffness. Tilting of a moving crane is the result of such reasons as slipping or slipping of the crane's drive wheels on the rails, differences in the diameters of the drive wheels, incorrect installation of the wheels, and defects in the crane paths. Impact loads that occur during the movement of the running wheels occur in two cases: when the cranes hit the end stops and when passing the joints of the rail path and local irregularities. In order to reduce shock loads, modern cranes and cargo trolleys have buffers when they approach the end stops, which allow to extend the working stroke of the crane. Impact loads that occur during the movement of the running wheels occur in two cases: when the cranes hit the end stops and when passing the joints of the rail path and local irregularities. In order to reduce shock loads, modern cranes and cargo trolleys have buffers when they approach the end stops, which allow to extend the working stroke of the crane and increase the reliability and safety of crane operation. The choice of the type of running rail is related to the amount of load on the running wheels and the design features of the movement mechanism - conical running wheels can move only on a convex rail, cylindrical wheels - on both convex and flat rails. The wear and tear of the elements of the under-crane path leads to the failure of the metal structures of the under-crane beams, which causes significant economic losses. The transition in crane structures from riveted under-crane beams, which had discrete belt connections with defined mobility to welded beams with a rigid system of belt connections without structural compensation of mobility, led to a significant decrease in the durability of welded beams.

The local stress state of the wall in the welded crane girders, which determines the fatigue strength in this zone, can only be adjusted using the crane rail. But the operation of the under-crane path has not been properly investigated until now. Possible deformations of both the running wheels themselves and the rail tracks depend to a large extent on the height and nature of the rail joint, the shape of the rail and the speed of the running wheels. In the article, a more precise definition of the loads that occur in the under-rail beams was carried out, some assumptions were rejected and new calculation formulas were obtained. In addition, an analysis of the influence of the method of installing rails on the value of force factors was carried out.

KEY WORDS: load, running wheel, beam, sleeper, movement mechanism, bending moment, elasticity.

In cites: I.A. Perevoznyk (2025). Determination of loads arising during movement of traveling wheels of bridge cranes. *Engineering*, (35), 46-53. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-35-05> (in Ukraine)

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication.

References

1. Haniszewski, T 2017, 'Modeling the dynamics of cargo lifting process by overhead crane for dynamic overload factor estimation', *Journal of vibroengineering*, Vol. 19, Iss. 1, pp. 75–86. DOI <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17310>.
2. Slepuzhnikov, ED 2015, 'Vyznachennia dynamichnykh navantazhen pry peresuvanni vantazhnoho vizka mostovoho krana' [Determination of dynamic loads when moving a cargo trolley of an overhead crane.], *Mashynobuduvannia*, № 16, Pp. 34–37. (in Ukraine)
3. Romacevych, Y, Loveikin, V & Stekhno, O 2019, 'CLOSED-LOOP OPTIMAL CONTROL OF A SYSTEM „TROLLEY - PAYLOAD”', *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, Vol. 81, Iss. 2, pp. 5–12. (in Ukraine)
4. Franchuk, VP, Ziborov, KA, Krivda, VV & Fedoriachenko, SO 2017, 'On wheel rolling along the rail regime with longitudinal load', *Naukovyi Visnyk NHU*, № 3, pp. 62–67. (in Ukraine)
5. Markine, V, Mashal, A & Ren, M 2018, 'Effect of wheelail terface parameters on contact stability in explicit finite element analysis', *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*, Vol. 232 (6), pp. 1879-1894. DOI: 10.1177/0954409718754941.
6. Musilek, J 2019, 'Dynamical Model for Determination of Horizontal Forces on Crane Runway during Motion of the Crane', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin*, (603 052076
7. Musilek, J 2019, 'Horizontal Forces on Crane Runway Caused by Skewing of the Crane', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin*, (471 052001).
8. Zelic, A, Zuber, N & Sostakov, R 2018, 'Experimental determination of lateral forces caused by bridge crane skewing during travelling', *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, Vol. 20, No.1, pp. 90–99, DOI: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2018.1.12>.
9. Fidrovska, NM & Perevoznyk, IA 2017. 'Dynamichni zusyllia, yaki vynykaiut pry prokhodzhenni khodovym kolesom cherez styk kolis' [Dynamic forces that arise when the running wheel passes through a drain.], *Mashynobuduvannia*, Iss. 20, Pp. 67-70. (in Ukraine)
10. Fidrovska, NM & Perevoznyk, IA 2018, 'Udarni navantazhennia pry peresuvanni mostovykh kraniv' [Shock loads when moving overhead cranes], *Mashynobuduvannia*, Iss. 21, Pp. 43-45. (in Ukraine)
11. Shapran, E & Tسانh, E 2006, 'Doslidzhennia vzaємодii kola z reikoiu metodom akustychnoi emisii' [Research on the interaction of the wheel with the rail using the acoustic emission method.], *Mashynoznavstvo*, no 5 (107), Pp. 42-46. (in Ukraine)

The article was received by the editors 05/12/2025

The article is recommended for printing 06/13/2025