

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-11-16

УДК 621.86:658.788.5

**ВПЛИВ ЗАСОБУ ВСТАНОВЛЕННЯ ПІДКРАНОВОЇ РЕЙКИ
НА ЇЇ НАПРУЖЕНИЙ СТАН**©Фідровська Н. М.¹, Перевозник І. А.²*Українська інженерно-педагогічна академія¹**Харківський державний автомобільно-дорожній коледж²***Інформація про авторів:**

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; mot@uipa.edu.ua; доктор технічних наук; професор кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Перевозник Ігор Анатолійович: ORCID: 0000-0002-4278-523X; mot@uipa.edu.ua; викладач циклової комісії бухгалтерського обліку; Харківський державний автомобільно-дорожній коледж; вул. Котельниківська, 3, м. Харків, 61051, Україна.

В статті були розглянуті різні схеми встановлення підкранової рейки і проведені розрахунки з урахуванням умов встановлення рейкової колії на мосту крана та закону розподілення навантаження від дії ходових коліс, які пересуваються по головній балці мостового крану.

При цьому враховувалися характеристики балки, тобто її прогін, жорсткість перерізу та інтенсивність розподілення маси. Доведено, що засіб встановлення рейки на підкранову балку має значний вплив на їх напружений стан.

По результатам розрахунків зроблений висновок про вплив характеристик балки на резонансний режим коливань в головній балці.

Ключові слова: балка, рейка, колесо, прогин, частота коливання, міст, кран, візок, жорсткість.

Фидровская Н.Н., Перевозник И.А. «Влияние способа установки подкранового рельса на ее напряженное состояние».

В статье были рассмотрены разные схемы установки подкрановых рельс и проведены расчеты с учетом условий установки рельсового пути на мосту крана и закона распределения нагрузки от действия ходовых колес, которые передвигаются по главной балке моста мостового крана.

При этом учтены характеристики балки, то есть ее пролет, жесткость сечения та интенсивность распределения массы. Доведено, что способ установки рельс на подкрановую балку имеет значительное влияние на ее напряженное состояние.

По результатам расчетов сделан вывод о влиянии характеристик балки на резонансный режим колебаний в главной балке.

Ключевые слова: балка, рельс, колесо, прогиб, частота колебаний, мост, кран, тележка, жесткость.

Fidrovska N., Perevoznik I. « Influence of way mount under crane rail on her strain state».

On the article consideration different schemes mount under crane rail and follow the calculations with take into consideration conditionally placing of rail on crane bridge and the law distribution of loading from motion wheels which motion on beam of bridge crane.

In this take into consideration characters of beam that is her span, hard of section and intensive distribution of mass in main beam. Prove what way mount of rail on under crane beam have considerable influence on her strain state.

It is made a conclusion about the influence of characteristic of beam on the resonance regime of vibration.

Key words: beam, rail, wheel, bend, frequent of vibration, bridge, crane, cart, hard.

1. Вступ

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.

Питаннями напруженого стану рейок займалися багато видатних вчених, таких як Б.С.Ковальський [1-3], В. М.Іванов [4], В.П.Балашов [5], М.Шеффлер [6,7], Б.М.Брауде [8] та інші.

2. Постановка проблеми

Напружений стан рейки залежить також від метода укладки на балках і на фундаментах (на прокладках, на шпалах або з спиранням 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.

3. Викладення основного матеріалу

Найчастіше рейка спирається по всій довжині на масивний фундамент, і тоді в перерізі рейки, який знаходиться на відстані x_1, x_2 від тиску ходових коліс P_1, P_2 момент згину визначиться за формулою [1]

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

$$\text{де } \phi = e^{-\beta x_i} (\cos \beta x_i - \sin \beta x_i), \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{kB}{4EI}},$$

де B - ширина підшви рейки,

I, E – момент інерції і момент пружності рейки.

k - МОДУЛЬ ОСНОВИ.

Тиск під подошвою рейки

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

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

При розрахунках приймають, що функції φ, ψ швидко затухають і тому можна допустити, що рейка навантажена одним колесом P_1 . Момент згину визначають за формулою

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

На наш погляд, це допущення являється надто грубим, воно виключає пояснення появи динамічних сил в металоконструкції мосту при русі вантажного візка.

Ми проаналізували, як будуть змінюватися значення моменту згину, тиску і напружень згину при врахуванні функції φ на відстані $x = 1$ м. Як бачимо, функції моменту згину, тиску і напружень представляють собою знакозмінні функції, які приводять до динамічних навантажень і передаються на металоконструкцію крана, викликаючи його коливання.

Для зменшення тиску під подошвою рейки він укладається на прокладки $l_n \times B_n$. В роботі [3] проведено дослідження вплив 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.

Приймаємо поправку до модуля k l/t . Тоді отримаємо

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kB_n \cdot l}{4EJ_p \cdot t}} \quad (3)$$

Тиск на основу

$$p = \frac{\beta t}{2B_n l} (P_1 \Psi_1 + P_2 \Psi_2 \dots) \quad (4)$$

Б.М.Брауде [8] пропонував момент згину визначати як сумарний моментів в балці на пружній основі і в балці прольотом із защемленими кінцями

$$M = \frac{P}{4\beta} + \frac{Pe}{8} = \frac{P}{4\beta} \left(1 + \frac{\beta e}{2}\right) \quad (5)$$

Якщо рейку встановити на полюсу шириною B_n , то формули (3), (4) будуть мати вигляд

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kB_n}{EI}} \quad (6)$$

$$p = \frac{\beta}{2B_n} (P_1 \Psi_1 + P_2 \Psi_2) \quad (7)$$

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

$$J = J_p + J_n, \quad (8)$$

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

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

$$M_p = \frac{J_p}{J} M, M_n = \frac{J_n}{J} M \quad (9)$$

Напруження згину в рейці

$$\sigma_p = \frac{M_p}{J_p} e = \frac{M}{J} e \quad (10)$$

Напруження згину в полосі

$$\sigma_n = \frac{M_n}{J_n} \cdot \frac{h}{2} = \frac{Mh}{2J} \quad (11)$$

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

$$\sigma_1 = \frac{6pc^2}{2h^2} = \frac{3pc^2}{h^2}. \quad (12)$$

При шпальному шляху тиск шпали на баласт розподіляється нерівномірно, але при розмірах шпал, які звичайно приймаються, і великій їх кількості, приймають тиск рівномірним. Навантаження на шпали

$$P_h = pBL. \quad (13)$$

Момент згину в шпалі при однорейковому шляху

$$M_h = \frac{P_h L}{8}. \quad (14)$$

При двох рейковому шляху момент посередині шпали

$$M_h = \frac{P_h(c-b)}{2}, \quad (15)$$

Момент під рейкою

$$M_{h1} = \frac{P_h c^2}{2l}. \quad (16)$$

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

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{l_{np} B E_h}{4 h l E I}}, \quad (17)$$

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

$$M = \frac{\alpha(1-\alpha)}{2} [1 + 2(\sqrt{3}-1) \cdot (1-\alpha)] P t. \quad (18)$$

Момент згину в перерізі над опорою

$$M = \frac{\alpha(1-\alpha)}{2} [1 - (\sqrt{3}-1)\alpha] P t. \quad (19)$$

Навантаження шпали змінюється по закону

$$P_h = [1 - (\sqrt{3}-1)\alpha - (2-\sqrt{3})\alpha^3] P. \quad (20)$$

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.

Проведемо розрахунки. Приймаємо: $P_1 = 250$ кН, $P_2 = 220$ кН, рейка марки $P-38$, $B = 114$, $I = 1222$ см⁴, $W = 180$ см³, $E = 210000$ Н/см²; $k = 12$ Н/мм³, $L = 20$ м. Порівняльні розрахунки для різних методів укладки рейкових колій на балках мосту наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні розрахунки для різних методів укладки рейкових колій на балках мосту

Вид опори	M_{\max} , Н·м	σ_{\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

Піднімально-транспортне обладнання має вирішальне значення для організації технологічних процесів по транспортуванню вантажів на різних підприємствах. Піднімально-транспортне обладнання – це розділ машинобудування, який вивчає вантажопідіймальні крани, конвеєри, навантажувачі й іншу розвантажувально-навантажувальну та транспортувальну техніку. Дане обладнання служить для транспортування штучних або насипних вантажів і є частиною, так званої, внутрішньої логістики чи логістики, яка здійснюється всере-

дині підприємства. Навпаки, логістика збуту є частиною, так званої, зовнішньої логістики. Відповідно до загальноприйнятого визначення логістика збуту містить в собі задачі планування, контроль і всі процеси, що впливають на потік товарів та інформації між виробничими підприємствами та споживачами [2].

Відповідно до визначення, що розміщено на сайті Технічного університету Хемніца [3] піднімально-транспортне обладнання служить для переміщення робочих об'єктів і людей за допомогою технічних засобів в будь-якому напрямку та на обмежених відстанях. Піднімально-транспортне обладнання грає центральну роль на підприємствах, коли мова йде про потік матеріалу. В технологічному ланцюзі всіх процесів для виробництва, переробки та розподілення товарів воно забезпечує випуск, транспортування всередині підприємства, зберігання та остаточну доставку товарів кінцевому споживачеві.

Висновки

Проведені дослідження дали змогу оцінити вплив методу укладки рейкових колій на балках мосту на їх напружений стан. Як бачимо, найменші напруження будуть при встановлені рейок на коробчастих балках, а найменша поперечна сила буде при шпальному шляху на бетонних шпалах.

Список використаних джерел:

1. Ковальский Б. С. Грузоподъемные краны. Передвижение кранов / Б. С. Ковальский. – Харьков : ХВКИУ, 1963. – 216с.
2. Ковальский Б. С. Вопросы передвижения мостовых кранов / Б. С. Ковальский. – Луганск : ВГУ, 1998. – 39с.
3. Ковальский Б. С. Механическое оборудование. Элементы грузоподъемных устройств / Б. С. Ковальский. – Харьков : ХВКИУ, 1971. – 340 с.
4. Иванов В. Н. О перекосе крановых ходовых колес и способе устранения его в условиях эксплуатации крана / В. Н. Иванов // Подъемно-транспортное оборудование. – 1980. – № 11. – С. 10-13.
5. Балашов В. П. Экспериментальное исследование поперечных сил при движении литейного крана г/п 100т с безредборными колесами / В. П. Балашов // Труды ВНИИПТМАШ. – 1962. – № 5. – С. 44-46.
6. Шеффлер М. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин / М. Шеффлер, Г. Пайер, Ф. Курт – М. : Машиностроение, 1980. – 256 с.
7. Scheffler M. Grundladen der Fordertech nik / M. Scheffler, G. Pajer, F. Kurth. – Berlin, 1973. – 403 s.
8. Брауде В. И. Системные методы расчеты грузоподъемных машин. / В. И. Брауде, М. С. Тер-Мхитаров. – Л. : Машиностроение, 1985. – 232с.

References

1. Kovalskij, BS 1963, *Gruzopodemnye kranj. Peredvizhenie kranov*, Harkovskoe vysshee voennoe komandno-inzhenerne uchilishhe, Harkov.
2. Kovalskij, BS 1998, *Voprosy peredvizhenija mostovyh kranov*, Luganskij gosudarstvennyj universitet, Lugansk.
3. Kovalskij, BS 1971, *Mehanicheskoe oborudovanie. Jelementy gruzopodemnyh ustrojstv*, Harkovskoe vysshee voennoe komandno-inzhenerne uchilishhe, Harkov.
4. Ivanov, VN 1980, 'O perekose kranovyh hodovyh koles i sposobe ustraneniya ego v uslovijah jekspluatacii kрана', *Podemno-transportnoe oborudovanie*, no. 11, pp. 10-13.
5. Balashov, VP 1962, 'Jeksperimentalnoe issledovanie poperechnyh sil pri dvizhenii litejnogo kрана g/p 100t s bezredbordnymi kolesami', *Trudy VNIIPTMASH*, no. 5, pp. 44-46.
6. Sheffler, M, Pajer, G & Kurt, F 1980, *Osnovy rascheta i konstruirovaniya podemno-transportnyh mashin*, Mashinostroenie, Moskva.
7. Scheffler, M, Pajer, G & Kurth, F 1973, *Grundladen der Fordertech nik*, Berlin.
8. Braude, VI & Ter-Mhitarov, MS 1985, *Sistemnye metody raschety gruzopodemnyh mashin*, Mashinostroenie, Leningrad.

Стаття надійшла до редакції 17 жовтня 2018 р.