

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СТЕНКЕ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК ПРИ ДВИЖЕНИИ КРАНА

В.Ф. Сабуров, Е.Н. Серебренникова, А.В. Фердер

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Известно, что местные напряжения в верхней зоне стенки (ВЗС) подкрановых балок определяют их усталостную прочность, особенно в балках под краны тяжелого режима работы (7К и 8К). Локальнонапряженное состояние в ВЗС подкрановых балок формируется напряжениями сжатия и изгиба. Напряжения сжатия определяются по известной формуле Б.М. Броуде и хорошо согласуются с экспериментальными результатами, так как зависят только от вертикального давления колеса крана. Напротив, для вычисления местных изгибных напряжений используется изгибающий момент, величина которого имеет значительную неопределенность в используемых расчетных параметрах (эксцентриситет e и боковая сила Q). Этой неопределенностью можно пренебречь при проверке статической прочности ВЗС, но для оценки усталостной прочности необходимо в качестве расчетного параметра применять более определенные величины, поддающиеся экспериментальной проверке. В качестве такой величины рекомендуется использовать угол поворота верхнего пояса балки. Угол поворота учитывает не только отмеченные выше параметры, но и интегрально включает в себя состояние подкрановых путей при движении крана с перекосом, степень износа крановых рельсов и степень его совместной работы с поясом балки, т. е. состояние креплений рельса к поясу балки. Угол поворота пояса балки – это универсальная характеристика для вычисления локальных изгибных напряжений. Однако в настоящее время недостаточно статистических данных по величине этого параметра и этот пробел необходимо восполнять. В статье делается попытка аналитически оценить целесообразность использования угла поворота пояса балки при вычислении локальных напряжений по сравнению с традиционным.

Ключевые слова: крановый рельс, подкрановая балка, локальные изгибные напряжения.

Сложное напряженное состояние верхней зоны стенки (ВЗС) сварных подкрановых балок формируется крановыми нагрузками через подкрановый рельс и верхний пояс балки. Мостовые краны перемещаются по подкрановому пути с некоторым перекосом и колея крана формируется перед движущимся колесом крана (рис. 1).

При этом крановый рельс смещается, и таким образом возникает эксцентриситет вертикальной нагрузки с учетом пятен контакта на подошве

рельса и верхнего пояса. Взаимодействие колеса и рельса – это пример реализации принципа «единства и борьбы противоположностей». Этот принцип всегда проявляется индивидуально, т. е. при изменении направления движения крана и формировании колеи эксцентриситет может менять знак на противоположный.

Рельс всегда стремится к статическому положению на поясе балки, а колесо занимает то пространственное положение по отношению к рельсу,

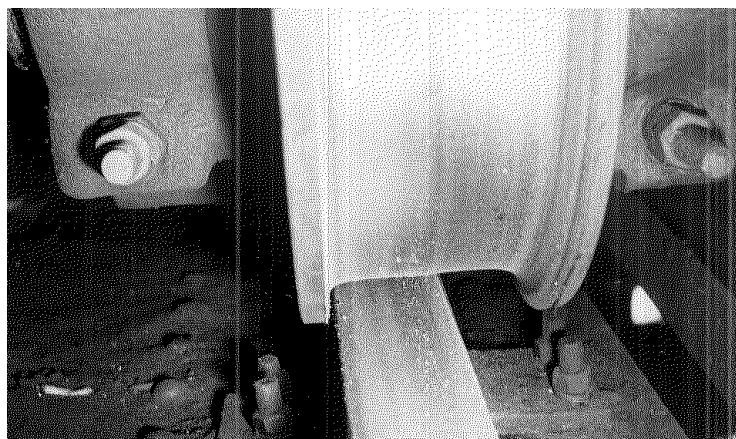


Рис. 1. Взаимодействие реборды колеса крана с крановым рельсом

которое отвечает минимальному сопротивлению движения колеса и крана. Износ рельса и колеса, показанный на рис. 2, характеризует их взаимную приспособляемость на подкрановом пути, и, как правило, износ головки рельса носит несимметричный односторонний характер (рис. 3).

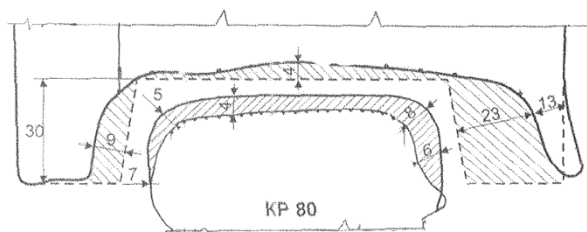


Рис. 2. Пример износа кранового рельса и колеса крана

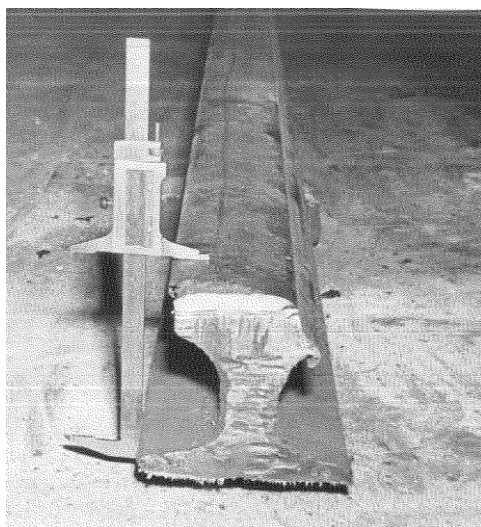


Рис. 3. Крановый рельс с односторонним износом головки

Боковой износ головки занимает почти 30 % в общей статистике повреждений рельса [1]. Износ рельса приводит к уменьшению его геометрических характеристик на изгиб (I_x) и кручение (I_d), а это в свою очередь увеличивает местные напряжения сжатия ($\sigma_{loc,y}$) и изгиба ($\sigma_{f,y}$) в ВЗС. Причем износ рельса больше влияет на величину $\sigma_{f,y}$, так как момент инерции рельса на кручение входит в расчетную формулу без снижения, в то время как момент инерции на изгиб входит в степени 0,3, т. е. (I_x)^{0,3}. Отечественные нормы проектирования [2] не учитывают факт физического износа крановых рельсов при эксплуатации и уменьшения их служебных геометрических характеристик. Европейские нормы [3], напротив, при расчете прочности подкрановых конструкций рекомендуют учитывать физический износ крановых рельсов и приводят предельные нормативы износа для крановых рельсов различного типа.

Крановый рельс в подкрановом пути представляет собой бесконечно длинную балку на уп-

ругом основании, нагруженную локальными вертикальными и горизонтальными силами. Локальный изгибающий (крутящий) момент, перпендикулярный продольной оси балки, формируется действием этих сил и рекомендуется определять по формуле [2]:

$$M_t = \gamma_f \gamma_{f1} F_n e + 0,75 Q_t h_r, \quad (1)$$

где e – эксцентриситет приложения вертикальной нагрузки от колеса крана относительно вертикальной оси стенки балки и условно принимаемый равным $0,2 b_r$, где b_r – ширина подошвы рельса; Q_t – боковая сила, вызываемая перекосом мостовых кранов при движении и непараллельностью крановых путей. Величина боковой силы условно принимается равной $Q_t = 0,2 F_n$.

Преобразуем формулу (1), используя значения входящих в неё параметров для проверки статической и усталостной прочности ВЗС для балки с краном режима работы 7К:

– при расчете на статическую прочность

$$M_t = F_n h_r (0,384 + 0,15); \quad (1a)$$

– при расчете на усталостную прочность

$$M_t = F_n h_r (0,192 + 0,09). \quad (1б)$$

Из формул (1a) и (1б) видно, какое влияние на величину изгибающего момента оказывает боковая сила (второе слагаемое).

Формула (1) может быть использована только при проверке статической прочности ВЗС, так как оба слагаемых имеют параметры с некоторой неопределенностью по величине (e и Q_t), что нерационально, на наш взгляд, для оценки усталостной прочности ВЗС по формуле (173) [2].

В этом случае более достоверные результаты при проверке на выносливость ВЗС может дать использование угла поворота верхнего пояса балки для вычисления местных локальных напряжений $\sigma_{f,y}$ при поперечном изгибе стенки. Угол поворота интегрально включает в себя и состояние подкрановых путей при движении крана с перекосом, и степень износа крановых рельсов, и состояние креплений рельса к поясу балки, и величину вертикального давления колес крана, и эксцентриситет его приложения. Т. е. угол поворота пояса балки – это интегральная характеристика локального крутящего момента.

Местные напряжения изгиба $\sigma_{f,y}$ в стенке балки, соответствующие максимальному углу поворота полки, могут быть вычислены по формуле [4]:

$$\sigma_{f,y} = \frac{2 E t_w}{(1-\mu^2) h_w} \theta_0 = 2,2 \frac{E t_w}{h_w} \theta_0, \quad (2)$$

где t_w и h_w – толщина и высота стенки балки; θ_0 – угол поворота пояса балки.

Экспериментальные исследования В.И. Камбарова [5] в цехах тяжелого режима работы на сварных подкрановых балках показали, что среднестатистическое значение угла поворота пояса в середине панели d изменяется в широком диапазоне $\theta = 0,001 \dots 0,007$ рад. Корреляционная зависи-

мость угла поворота полки от отношения F/I с коэффициентом корреляции $\gamma = 0,92$ имеет вид:

$$\theta = 0,1875 (F/I_f) - 0,00255 \text{ (рад)}. \quad (3)$$

В формуле (3) F – среднее давление от колес кранов, перемещающихся по балке; I_f – суммарный момент инерции рельса и пояса на кручение.

Высокая степень корреляции зависимости (3) свидетельствует о том, что поворот полки происходит в основном за счет давления колеса крана F при эксцентриситете e , равном расстоянию от оси балки до центра тяжести пятна контакта подошвы рельса с поясом. Только незначительная его часть реализуется за счет боковой силы Q_t . Это подтверждает высказанную гипотезу о механизме формирования колеи подкранового пути.

Для выяснения механизма формирования угла поворота пояса балки θ при движении колеса крана с учетом её геометрических размеров и типа рельса рассмотрим крановый рельс как бесконечно длинную балку на упругом основании, нагруженную в середине панели d локальным крутящим моментом M_t (рис. 4), перпендикулярным к продольной оси балки. В качестве упругого основания принимаем стенку балки, упругие свойства которой характеризует коэффициент податливости при поперечном изгибе (кручении) k_t . Считаем, что при кручении отрыва подошвы рельса от пояса балки не происходит благодаря работе креплений рельса. Из этой предпосылки следует, что угол поворота рельса совпадает с углом поворота пояса балки.

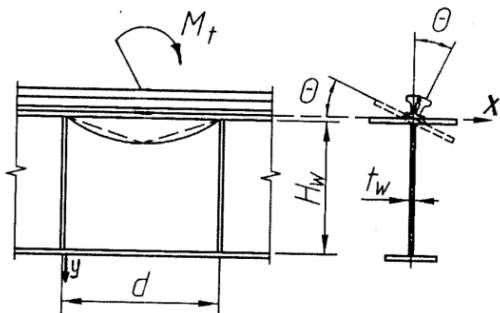


Рис. 4. Расчетная схема ВЗС и рельса на кручение

Согласно [6], дифференциальное уравнение кручения балки на упругом основании имеет вид:

$$EI_\varphi \theta^{IV}(x) - GI_d \theta''(x) = m(x), \quad (4)$$

где EI_φ и GI_d – жесткость рельса соответственно при стесненном и свободном кручении; $\theta(x)$ – угол поворота рельса; $m(x)$ – реактивный момент упругого основания, который можно представить в виде

$$m(x) = -k_t \theta(x) \quad (5)$$

Подставив (5) в (4) и выполнив некоторые преобразования, получим дифференциальное уравнение в виде

$$\theta^{IV}(x) - 2r^2 \theta''(x) + s^4 \theta(x) = 0, \quad (6)$$

где $r^2 = GI_d / EI_\varphi$; $s^4 = k_t / EI_\varphi$. (7)

Решение уравнения (6) будем искать в виде

$$\theta(x) = e^{\alpha x}, \quad (8)$$

где α – неизвестный множитель, который необходимо определить.

При заданной функции угла поворота (8) дифференциальное уравнение (6) примет вид:

$$\alpha^4 e^{\alpha x} - 2r^2 \alpha^2 e^{\alpha x} + s^4 e^{\alpha x} = 0. \quad (9)$$

Сократив на общий множитель $e^{\alpha x}$ уравнение (9), получим характеристическое уравнение для определения множителя α :

$$\alpha^4 - 2r^2 \alpha^2 + s^4 = 0. \quad (10)$$

Корни биквадратного уравнения (10) вычисляются по формулам (11) и зависят от соотношения параметров s и r :

$$\alpha_{1..4} = \pm \sqrt{r^2 \pm \sqrt{r^4 \pm s^4}}. \quad (11)$$

Выполним анализ фактических соотношений между параметрами s и r . Из выражений (7) следует, что параметра r^2 определяется отношением геометрических характеристик крановых рельсов при кручении. Приняв во внимание, что $G = E / 2(1 + \mu)$ и коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$, получим:

$$r^2 = I_d / 4I_\varphi (1 + \mu) = 0,192 I_d / I_\varphi. \quad (12)$$

Воспользовавшись значениями I_d и I_φ из [7], определим параметр r для крановых рельсов, используемых в подкрановых путях (табл. 1).

Таблица 1
Значения параметра r для крановых рельсов

Рельс	КР70	КР80	КР100	КР120	КР140
$I_d, \text{см}^4$	253	387	765	1310	2130
$I_\varphi, \text{см}^6$	14100	26400	76400	191000	384000
I_d / I_φ	0,018	0,015	0,010	0,007	0,006
$r, \text{см}^{-1}$	0,059	0,053	0,044	0,036	0,033

Параметр s^4 (см. (7)) зависит от коэффициента податливости упругого основания при кручении k_t . Используя (5), выразим k_t в виде:

$$k_t = -m(x) / \theta(x). \quad (13)$$

Угол поворота пояса балки $\theta(x)$, согласно [4], при действии сосредоточенного крутящего момента M_t , приложенного в середине панели балки, равен:

$$\theta(x) = \frac{M_t}{2p} \left[X - \frac{e^{\gamma(x-0,5d)} - e^{-\gamma(x+0,5d)}}{\gamma(1+e^{-\gamma d})} \right], \quad (14)$$

где $\gamma = (p/q)^{0,5}$;

$$p = \frac{4D_w h_w}{15} + 2(1 - \mu) D_f b_f + G I_d; \quad (15)$$

$$q = \frac{D_w h_w^3}{105} + \frac{D_f b_f^3}{12} + E I_\varphi \quad (16)$$

В формулах (15)–(16) $D_w = \frac{E t_w^3}{12(1 - \mu^2)}$ и $D_f = \frac{E t_f^3}{12(1 - \mu^2)}$ – цилиндрическая жесткость стенки и полки соответственно; h_w – высота стенки балки; t_w – толщина стенки; b_f – ширина верхней полки; t_f – толщина верхней полки; d – длина панели.

Расчеты по формулам (14)–(16) типовых подкрановых балок показали, что доля стенки балки в восприятии локального крутящего момента составляет от 0,8 до 7,2 % крутильной жесткости верхней зоны балки, т. е. стенка практически не сопротивляется повороту пояса в середине панели. Локальный крутящий момент воспринимается исключительно за счет крутильной жесткости кранового рельса и пояса, доля которого составляет всего 6–15 %, т. е. в формировании угла поворота пояса основную роль играет крановый рельс и его крепления к поясу.

Реактивный момент $m_{(x)}$ распределяется по длине панели балки d по криволинейной эпюре, совпадающей с законом изменения местных изгибных напряжений. Для упрощения расчетов принимаем вместо криволинейной эпюры изменения $m_{(x)}$ треугольную эпюру (см. рис. 4). Эта предпосылка дает возможность записать, что $0,5 \cdot m_{(x)} \cdot d = M_r$, откуда

$$m_{(x)} = 2 M_r / d. \quad (17)$$

Подставив значения (14) и (17) в (13), получим выражение для вычисления коэффициента упругой податливости стенки подкрановой балки при местном кручении:

$$k_t = \frac{4p}{d} \left[\frac{\gamma(1+e^{-\gamma d})}{x \cdot \gamma(1+e^{-\gamma d}) - (e^{-\gamma(x+0,5d)})} \right]. \quad (18)$$

Из (18) следует, что при $x = 0$ и $x = d$ $k_t \rightarrow \infty$, а при $x = 0,5d$ (середина панели) коэффициент податливости при кручении имеет минимальное значение.

$$k_t = \frac{4p}{d} \left[\frac{\gamma(1+e^{-\gamma d})}{0,5d \cdot \gamma(1+e^{-\gamma d}) - (1-e^{-\gamma d})} \right] \approx \frac{8p}{d^2}. \quad (19)$$

Это подтверждается расчетом подкрановых балок разного поперечного сечения с длиной панели $d = 1,5$ м и рельсом КР 70. Результаты расчета представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Зависимости, представленные на рис. 5, показывают, что максимальный угол поворота пояса и наибольшие изгибные напряжения будут в середине панели d .

Таблица 2

К расчету коэффициента k_t для подкрановых балок

№ балки на рис. 5	Характеристики балок						
	$D_w \cdot 10^4$, кН · см	$D_f \cdot 10^4$, кН · см	$G I_d \cdot 10^4$, кН · см ²	$E I_\phi \cdot 10^4$, кН · см ⁴	$p \cdot 10^4$, кН · см ²	$q \cdot 10^4$, кН · см ⁴	γ , см ⁻¹
1	0,0961	0,515	КР 70	КР 70	230,2	32023,0	0,085
2	0,188	1,095			266,0	36756,0	0,085
3	0,324	1,054	199,5	28905,0	304,8	41194,0	0,081
4	0,515	2,595			365,3	58969,0	0,079

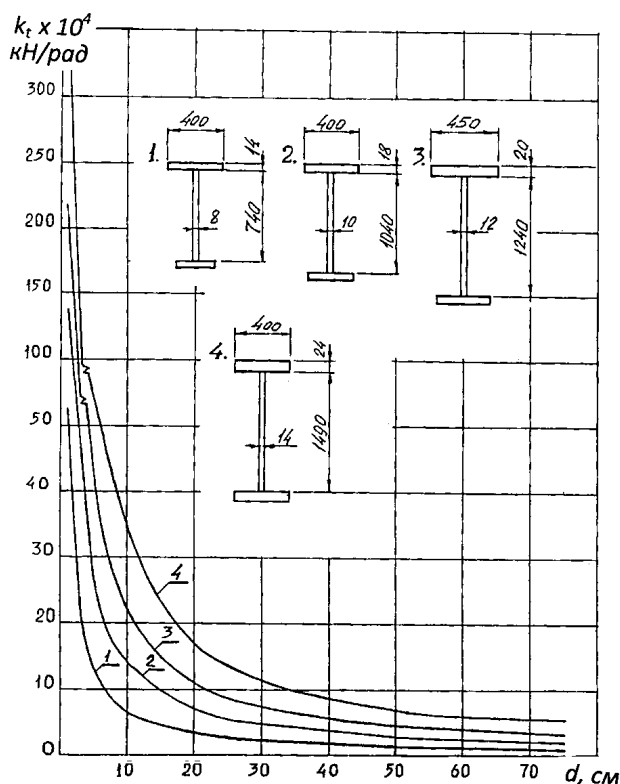


Рис. 5. Изменение коэффициента податливости стенки балки при действии местного крутящего момента

На рис. 6 представлена зависимость коэффициента $k_{t, \min}$, т. е. в середине панели d от её длины. Из рис. 6 следует, что с увеличением длины панели стенки d коэффициент податливости стенки на кручение уменьшается. Поэтому учитывать в расчетах жесткостные характеристики стенки балки рационально только при расстоянии между ребрами жесткости не более 2 метров.

С учетом выражения (19) параметр s^4 примет вид:

$$s^4 = \frac{8 \cdot p}{d^2 \cdot EI \varphi} \quad (20)$$

Расчеты по формуле (20) сварных подкрановых балок пролетом 6 и 12 м под краны грузоподъемностью не более 500 кН показали, что параметр s изменяется диапазоне $s = 0,041 \dots 0,047$. В практических расчетах можно использовать среднее значение $s = 0,044$.

Для большинства сварных подкрановых балок, эксплуатируемых с крановыми рельсами КР 70 – КР 100, $r > s$, что позволит вычислить корни биквадратного уравнения (7):

$$\begin{cases} \alpha_1 = \sqrt{r^2 + \sqrt{r^4 - s^4}}; \alpha_2 = -\sqrt{r^2 + \sqrt{r^4 - s^4}} \\ \alpha_3 = \sqrt{r^2 - \sqrt{r^4 - s^4}}; \alpha_4 = -\sqrt{r^2 - \sqrt{r^4 - s^4}} \end{cases} \quad (21)$$

Зная корни характеристического уравнения, можно записать решение однородного дифференциального уравнения (8) в виде:

$$\theta(x) = C_1 \cdot e^{\alpha_1 x} + C_2 \cdot e^{-\alpha_2 x} + C_3 \cdot e^{\alpha_3 x} + C_4 \cdot e^{-\alpha_4 x}, \quad (22)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий:

$$\text{при } x = 0 \theta(x) = 0; x \rightarrow \infty \theta(x) = 0. \quad (23)$$

Следовательно, постоянные интегрирования C_2 и C_4 в выражении (22) обращаются в нуль благодаря множителю $e^{-\alpha x}$, а два других слагаемых обращаются в нуль лишь при $C_1 = C_3 = 0$. Постоянные интегрирования C_2 и C_4 найдем из граничных условий (а).

$$C_2 = \frac{M_t}{2EI\varphi \cdot \alpha_1 [\alpha_3^2 - \alpha_1^2]}, C_4 = \frac{M_t}{2EI\varphi \cdot \alpha_3 [\alpha_3^2 - \alpha_1^2]} \quad (24)$$

Подставив (24) в (22), получим выражения для вычисления угла поворота $\theta(x)$.

Угол поворота:

$$\theta(x) = \frac{M_t}{2EI\varphi [\alpha_3^2 - \alpha_1^2]} \left(\frac{e^{-\alpha_1 x}}{\alpha_1} - \frac{e^{-\alpha_3 x}}{\alpha_3} \right) \quad (25)$$

С использованием выражения (25) вычислены значения угла поворота рельса КР80 и верхнего пояса балок пролетом 6 и 12 м при действии сосредоточенного момента $M_t = 10$ кН·м. Из эпюр, представленных на рис. 7, следует, что угол поворота распределяется на расстояние большее, чем длина панели, т. е. рельс за счет неразрезности передает часть локального крутящего момента на соседние панели стенки.

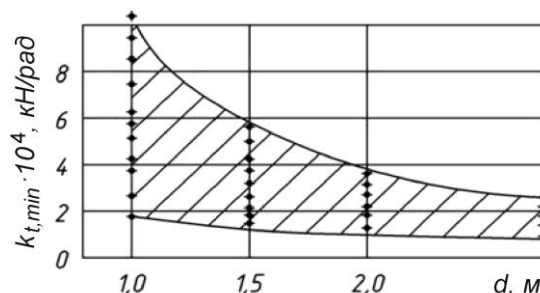


Рис. 6. Зависимость минимального значения коэффициента k_t от длины панели d

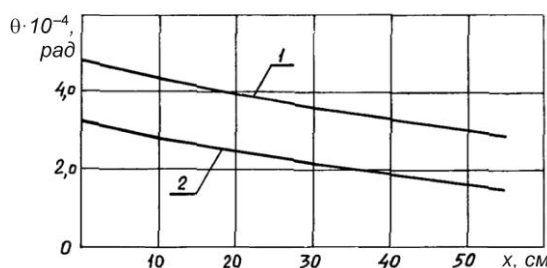


Рис. 7. Распределение угла поворота θ по длине панели d рельса КР 80 при действии $M_t = 10$ кН·м: 1 – рельс на балке $l = 6$ м ($k_t = 9,7 \cdot 10^4$ кН/рад); 2 – рельс на балке $l = 12$ м ($k_t = 21,2 \cdot 10^4$ кН/рад)

Заключение

Учет совместной работы рельса и пояса подкрановой балки позволяет приблизить расчетную модель к фактической работе рельса в подкрановых путях производственных зданий. Расчеты показали, что величина локальных напряжений от кручения ВЗС с использованием угла поворота пояса меньше, чем по методике СП в 2,0–2,8 раза. Это вызвано тем, что экспериментальные углы поворота пояса действительно отражают фактическую нагруженность ВЗС балок и отмеченные выше факторы, а в расчетной модели принята совместная работа рельса и пояса. Однако реализовать такую расчетную модель в производстве невозможно из-за отсутствия как креплений рельсов, так и рельсов с нужной геометрией подошвы. Стандартные крепления прижимными планками не отвечают условиям эксплуатации при режимах работы кранов 7К и 8К.

Кардинально решить вопрос об усталостной прочности ВЗС сварных подкрановых балок можно только при использовании под подошвой рельса низко модульных прокладок [8–10] или применяя сварные балки с верхним поясом из широкополочных тавров [11].

Литература

1. Сабуров, В.Ф. Закономерности износа и особенности напряженного состояния крановых рельсов подкрановых путей промзданий / В.Ф. Сабуров // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее. Материалы

VIII Украинской научно-технической конференции. – Киев, 2005. – Т. 1. – С. 624–630.

2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М.: ОАО «ЦПП», 2017. – 171 с.

3. Руководство для проектировщиков к ЕВРОКОДУ 3. EN 1993-6: 2009 «Проектирование стальных конструкций. Часть 6. Подкрановые пути», 2010. – 65 с.

4. Митюгов Е.А. Кручение верхнего пояса подкрановых балок / Е.А. Митюгов // Металлические конструкции: сб. трудов МИСИ им. В.В. Куйбышева. – М., 1970. – № 85. – С. 60–67.

5. Камбаров, В.И. Влияние технологических факторов на характеристики крановых нагрузок, ресурс и долговечность сварных подкрановых балок в цехах металлургического производства: автореф. ... канд. техн. наук. – М., 1988.

6. Власов, В.З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В.З. Власов, Н.Н. Леонтьев. – М.: Физматгиз, 1960. – 490 с.

7. Митюгов, Е.А. К определению моментов инерции кручения крановых рельсов / Е.А. Митю-

гов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1968. – № 5. – С. 46–47.

8. Кудишин, Ю.И. Распределение сосредоточенной нагрузки в стенке подкрановой балки при неровностях на контактных поверхностях рельса и верхнего пояса балки / Ю.И. Кудишин // Материалы по металлическим конструкциям. – 1967. – Вып. 12. – М.: ЦНИИПСК. – С. 123–129.

9. Сабуров, В.Ф. Обоснование технических условий на подкрановые пути с низкомодульными прокладками / В.Ф. Сабуров, К.А. Шишов // Металлические конструкции: сб. научн. трудов. – Челябинск: ЧПИ, 1977. – № 198. – С. 12–23.

10. Steinhardt, O. Zür örtlichen Stegbeanspruchung zentrisch belasteten Kranbahnträger bei Veroendung elastisch gebetteter Kranschienen / O. Steinhardt, U. Schulz // Der Bauingenieur. – 1969. – № 44, Heft 8.

11. Чалков, Г.В. Напряжения в стенках подкрановых балок повышенного ресурса при местном кручении верхнего пояса: дис. ... канд. техн. наук / Г.В. Чалков. – Новосибирск, 2012.

Сабуров Валерий Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), saburovfv@susu.ru

Серебренникова Елена Николаевна, магистрант кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), serebrennikovaen@susu.ru

Фердер Анна Владимировна, магистрант кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ferderav@susu.ru

Поступила в редакцию 30 марта 2022 г.

DOI: 10.14529/build220202

ON THE SPECIFICS OF THE FORMATION OF STRESS-STRAIN STATE OF THE WALL OF CRANE BEAMS DURING CRANE MOVEMENT

V.F. Saburov, saburovfv@susu.ru

E.N. Serebrennikova, serebrennikovaen@susu.ru

A.V. Ferder, ferderav@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

It is known that local stresses in the upper wall zone of crane beams determine their fatigue strength, especially in beams for heavy-duty cranes (7 K and 8 K). The local stress state in the upper wall zone of crane beams is formed by compressive and bending stresses. Compressive stresses are determined by the well-known formula of B.M. Broude and correlate well with experimental results since they depend only on the vertical pressure of the crane wheel. On the contrary, to determine local bending stresses, a bending moment is used, the value of which has a significant uncertainty in the used design parameters (eccentricity e and lateral force Q_l). This uncertainty can be neglected when checking static strength of the upper wall zone, but to assess the fatigue strength, it is necessary to use more specific values that can be experimentally verified as a design parameter. It is recommended to use the angle of rotation of the upper chord of the beam as such a value. The angle of rotation takes into account not only the above-mentioned parameters, but also integrally includes the

and the degree of its joint work with the beam chord, i.e., the condition of the rail fastenings to the beam chord. The angle of rotation of the beam chord is a universal characteristic for determining local bending stresses. However, at present, there is not enough statistical data on the value of this parameter, and this gap needs to be filled. In this article, an attempt is made to analytically evaluate the feasibility of using the angle of rotation of the beam chord when determining local stresses in comparison with the traditional one.

Keywords: crane rail, crane beam, local bending stresses.

References

1. Saburov V.F. [Patterns of Wear and Features of the Stress State of Crane Rails of Crane Runways of Industrial Buildings]. *Metallicheskiye konstruksii: vzglyad v proshloye i budushcheye. Materialy VIII Ukrainской nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Metal Structures: a Look into the Past and the Future. Materials of the VIII Ukrainian Scientific and Technical Conference]. Kiyev, 2005, vol. 1, pp. 624–630. (in Russ.).
2. SP16.13330.2017. *Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-23-81** [Set of Rules 16.13330.2017. Steel Structures]. Moscow, Ministry of Construction of Russia Publ., 2011. 171 p.
3. [Guidelines for Designers to EUROCODE 3. EN 1993-6: 2009 "Design of steel structures. Part 6. Crane tracks"], 2010. 65 p.
4. Mityugov E.A. [Torsion of the Upper Chord of Crane Beams]. *Metallicheskiye konstruksii. Sb. trudov MISI im. V.V. Kuybysheva* [Metal Constructions. Proceedings of MISI named after V.V. Kuibyshev]. Moscow, 1970, no. 85, pp. 60–67. (in Russ.)
5. Kambarov V.I. *Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na kharakteristiki kranovykh nagruzok, resurs i dolgovechnosti svarykh podkranovykh balok v tsekhakh metallurgicheskogo proizvodstva. Avtoref. cand. diss.* [The Influence of Technological Factors on the Characteristics of Crane Loads, the Resource and Durability of Welded Crane Beams in the Shops of Metallurgical Production. Abstract of cand. sci. diss.]. Moscow, 1988. 15 p.
6. Vlasov V.Z., Leont'yev N.N. *Balki, plity i obolochki na uprugom osnovanii* [Beams, Plates and Shells on an Elastic Foundation]. Moscow, Fizmatgikh Publ., 1960. 490 p.
7. Mityugov E.A. [To the Determination of the Moments of Inertia of Torsion of Crane Rails]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Calculation of Structures], 1968, no. 5, pp. 46–47. (in Russ.).
8. Kudishin Yu.I. [Distribution of a Concentrated Load in the Wall of a Crane Beam with Irregularities on the Contact Surfaces of the Rail and the Upper Chord of the Beam]. *Materialy po metallicheskim konstruksiyam* [Materials for Metal Structures]. Moscow, TsNIIPSK Publ., 1967, iss.12, pp. 123–129. (in Russ.).
9. Saburov V.F., Shishov K.A. [Substantiation of Technical Conditions for Crane Runways with Low-Modulus Gaskets]. *Metallicheskiye konstruksii. Sb. nauchn. trudov* [Metal Constructions: Collected Papers]. Chelyabinsk, Chelyabinsk Polytechnical Inst. Publ., 1977, no. 198, pp. 12–23. (in Russ.).
10. Steinhart O., Schulz U. [Zür örtlichen Stegbeanspruchung Zentrisch Belasteten Kranbahnträger bei Veroendung Elastisch Gebetteter Kranschinen]. *Der Bauingenieur*, 1969, iss. 8, no. 44.
11. Chalkov G.V. *Napryazheniya v stenkakh podkranovykh balok povyshennogo resursa pri mestnom kruchenii verkhnego poyasa. Diss. kand. tekhn. nauk* [Stresses in the Walls of Crane Beams of Increased Resource During Local Torsion of the Upper Chord. Diss. sci. diss.]. Novosibirsk, 2012. 184 p.

Received 30 March 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сабуров, В.Ф. О некоторых особенностях формирования напряженно-деформированного состояния в стенке подкрановых балок при движении крана / В.Ф. Сабуров, Е.Н. Серебренникова, А.В. Фердер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 14–20. DOI: 10.14529/build220202

FOR CITATION

Saburov V.F., Serebrennikova E.N., Ferder A.V. On the Specifics of the Formation of Stress-Strain State of the Wall of Crane Beams During Crane Movement. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022, vol. 22, no. 2, pp. 14–20. (in Russ.). DOI: 10.14529/build220202