

## **БЫСТРО СООРУЖАЕМАЯ ПОДКРАНОВАЯ БАЛКА С ВЫСОКИМ ТЕХНИЧЕСКИМ РЕСУРСОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Курткезов Д.Х., Гарькин И.Н.**

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия (440028, Пенза, ул. Германа Титова, 28), e-mail: igor\_garkin@mail.ru*

Рассматривается актуальный вопрос повышения технического ресурса подкрановых балок. Дается обоснования преимуществ двухпролётных неразрезных подкрановых балок в сравнении с разрезными. Отмечается, что прокатные двутавровые подкрановые балки исключают возможность внезапного обрушения даже балок, которые повреждены усталостными трещинами в подрельсовой зоне. Такое положительное свойство приобретено из-за статической неопределимости неразрезной подкрановой конструкции. К другим положительным свойствам также стоит отнести снижение материалоемкости примерно на 30 %, снижение трудоёмкости изготовления в 2 раза, обеспечивается автоматизация трудоёмкого процесса рихтовки по восстановлению проектного положения балок вместе с рельсовыми путями. Использование технических решений описанных в статье при строительстве новых и реконструкции старых зданий и сооружений, предприятий тяжёлой промышленности, может дать значительный экономический эффект.

Ключевые слова: высокий технический ресурс, двухпролётные неразрезные прокатные подкрановые балки, выносливость, подрельсовая зона, локальные колебания.

## **RAPIDLY CONSTRUCT CRANE GIRDERS HIGH OF TECHNICAL EXPLOITATION RESOURCE**

**Nezhdanov K.K., Kuzmishkin A.A., Kurtkeзов D.H., Garkin I.N.**

*Penza State University of Architecture and Construction*

The most important items to increase technical resource crane girders. Justification given advantages of continuous two-span crane beams in comparison with the split. Notes that rolling I-beam crane exclude the possibility of a sudden collapse of even the beams that are damaged fatigue cracks in under-rail zone. Such a positively acquired property because of redundancy of a continuous construction crane. Other positive properties as well, reducing material costs include approximately 30 %, reducing the complexity of manufacturing a factor of 2, provided Automate time-consuming process of straightening the restoration project beams contain with the provisions of the rail tracks. The use of technical solutions described in this article in the construction of new and reconstruction of old buildings, heavy industrial enterprises, can provide significant economic benefits.

Keywords: high technical resource uncut rolling two-span crane girders, endurance, under-rail zone, local variations.

В цехах чёрной и цветной металлургии подкрановые балки являются наиболее ответственными и интенсивно эксплуатирующимися стальными конструкциями, поэтому повышение безопасной эксплуатации подкрановых балок с тяжёлым 8К режимом работы мостовых кранов и снижения трудоёмкости их сооружения – высока. В России минимальный срок их безопасной эксплуатации ограничен 10 годами [13].

Эксплуатация любых стальных конструкций с любыми трещинами запрещена [9], однако этот запрет для подкрановых балок в цехах чёрной металлургии постоянно нарушается. Расчёт подрельсовой зоны на выносливость, производимый на базе 2 млн циклов прокатываний колёс кранов недостаточен [11], [3] [4], так как при интенсивной эксплуатации за 10 лет накапливается не менее 6 млн. (по 2 млн. за ≈3 года).

Исследованиями [2],[3],[5],[6],[8],[9] установлено, что сварные подкрановые балки при качественных поясных швах с К-образной разделкой кромок и швах с полным проваром *не гарантируют* минимальный срок службы 10 лет. Кроме того, трудоёмкость изготовления таких балок велика. Проблема *низкой* выносливости возникла в тридцатых годах XX века при внедрении сварных балок, взамен массивных клёпаных [14],[1].

Массивные клёпаные пояса имели значительные моменты инерции кручения  $J_{\text{Кр}}^{\text{пояс}}$  и изгиба  $J_{\text{X}}^{\text{пояс}}$ , которые являлись макрорегуляторами колебаний локальных сдвигов в подрельсовой зоне балок. Замена массивного клёпаного пояса балки сварным поясом привела к уменьшению в десятки раз моментов инерции кручения  $J_{\text{Кр}}^{\text{пояс}}$  и изгиба  $J_{\text{X}}^{\text{пояс}}$ . Макрорегулятор колебаний локальных напряжений был ликвидирован, а технический ресурс был опасно уменьшен в 2...3 раза [2],[3],[5],[6],[8],[9].

Эти изменения спровоцировали проблему *низкой выносливости* подрельсовой зоны сварных балок и преждевременное появление недопустимых усталостных трещин! По мере накопления циклов нагружений скорость роста каждой усталостной трещины возрастает! Трещины сливаются друг с другом и образуют единую трещину, что приводит к аварийной ситуации и увеличению опасности обрушения однопролётной подкрановой балки вместе с мостовым краном, транспортирующим жидкую сталь.

Техническую ошибку, приводящую к аварийной ситуации, необходимо устранить, трудоёмкость изготовления уменьшить не менее чем в два раза, а технологичность изготовления повысить!

Известно, что цельные прокатные двутавровые и тавровые профили имеют *наивысший технический ресурс*, так как в этом случае эффективные коэффициенты концентрации напряжений *минимальны*  $K = 1$  [12]. Важной особенностью прокатных профилей является значительное уменьшение трудоёмкости изготовления конструкций, поэтому необходимо расширять объём их использования.

Наиболее высокоресурсными из известных соединений являются фрикционные соединения, имеющие *минимальный* эффективный коэффициент концентрации напряжений  $K = 1$  [12]. Они также наиболее технологичны при изготовлении и монтаже конструкций. Кроме того, фрикционные соединения *исключают* сдвиги между соединяемыми деталями. Следовательно, подкрановые балки следует делать цельными – из прокатных двутавровых профилей, тавров, уголков, а соединять их друг с другом высокоресурсными фрикционными шпильками [7], имеющими *наивысший* технический ресурс и *исключающими сдвиги* элементов друг относительно друга.

Для двутавровых прокатных подкрановых балок длительными усталостными испытаниями и статистической обработкой получены линии регрессии и диаграммы пределов выносливости на базе 6 млн циклов прокатываний колёс мостовых кранов [3], [4], [8]. Методика расчёта на выносливость также разработана.

Проблема резкого повышения технического ресурса подкрановых балок при 6 млн циклов прокатываний колёс мостовых кранов и тяжёлом режиме работы 8К *решена* заменой сварных разрезных балок прокатными балками из пары двутавровых профилей, объединённых в единый монолитный замкнутый контур фрикционным соединением.

Применение *двухпролётных* подкрановых балок расширяет объём использования наиболее технологичных прокатных профилей и снижает трудоёмкость их изготовления и монтажа! На преждевременное появление опасных усталостных трещин в сильной степени влияют крутящие моменты от колёс кранов  $M_{кр} = P^{loc} \cdot e + T \cdot h_{рел}$ .

Преимущества *замкнутых коробчатых контуров* сечений балок:

- ✓ Гарантируют аномальное повышение моментов инерции кручения  $J_{кр}^{конт}$  в 350...500 раз, поэтому балки легко воспринимают  $M_{кр}$ .
- ✓ Выносливость *подрельсовой зоны* прокатных двутавровых балок в 1,9...2 раза выше, чем балок со сварными швами [3], [4], [8].
- ✓ *Двухпролётные* же подкрановые балки исключают возможность внезапного обрушения даже балок, которые повреждены усталостными трещинами в подрельсовой зоне. Такое положительное свойство приобретено из-за статической неопределимости неразрезной подкрановой конструкции.
- ✓ *Прокатные* балки из готовых двутавровых профилей снижают трудоёмкость изготовления более чем в 2 раза, так как сварки нет.
- ✓ Снижают материалоемкость на 35 %...36 % также из-за статической неопределимости конструкции.
- ✓ Неразрезность конструкции двухпролётной балки обеспечивает *автоматизацию* трудоёмкого процесса рихтовки по восстановлению проектного положения балок вместе с рельсовыми путями.
- ✓ Мостовой кран с грузом является актуатором, который воздействует на двухпролётные подкрановые балки и создаёт действующие вверх (отрывающие) опорные реакции, которые используем для рихтовки рельсовых путей по высоте и в плане.

Следовательно, двухпролётные прокатные балки с замкнутым коробчатым профилем имеют *неоспоримые* преимущества по сравнению с разрезными сварными балками, и их следует широко использовать.

Снижение материалоемкости на 35 %...36 % двухпролётных балок достигнуто из-за особенности работы их при подвижных воздействиях колёс мостовых кранов и возникновении опорного момента над центральной опорой. Опорный же момент предотвращает внезапное обрушение в экстремальной ситуации при появлении усталостных трещин в подрельсовой зоне.

В статье [8] выполнено сравнение однопролётной разрезной и двухпролётной двутавровой в сечении балки для восьмиколёсных, колодцевых кранов по ГОСТ 12612-79 грузоподъёмностью  $Q = 16/20$  т [7] с тяжёлым режимом работы 8К. Масса крана  $G = 195$  т. Захват груза жёсткий клещами. Габарит этого крана  $B_{2кр} = 10,24$  м. Формула колёс с одной стороны колодцевого крана:  $0,8+5,7+0,8 = 7,3$  м. Расстояние между колёс сцепки из двух кранов  $\Delta = 10,24-7,3=2,94$  м. Нормативные силы воздействий колёс кранов  $\downarrow P_H = 4000$  гН; Сталь балки – малоуглеродистая по ГОСТ 27772-88, С255, ВСт3 сп5-1 [11].

Кран работает непрерывно. Он транспортирует слитки, загружает их в нагревательные колодцы, а горячие слитки подаёт на ролганги прокатных станов. Жёсткий захват груза клещами приводит к максимальной динамике локальных воздействий колёс кранов. В отдельных случаях фактические нагрузки могут вдвое превысить значения, рассчитанные без учёта погрешностей изготовления. В настоящее время в Актуализированной редакции «Нагрузки и воздействия» СНиП 2.01.07-85\* коэффициент локальных динамических воздействий колёс кранов  $K_{дин}^{loc}$  обосновано увеличен: от  $K_{дин}^{loc} = 1,6$  до 1,8!

В однопролётной разрезной балке  $\ell = 12$  м (два крана  $Q = 16/20$  т) максимальный изгибающий момент возникает в пролёте  $M_{max} = 4746239,6$  гНсм (136 %) [8]. В двухпролётной балке с пролётами  $\ell + \ell = 12 + 12 = 24$  м. Максимальный изгибающий момент в двухпролётной балке  $M_{max} = 3491022$  гНсм (100 %).

Покажем как, используя новую двухпролётную, с замкнутым коробчатым профилем подкрановую балку и новый прямоугольный профиль рельса (см. таб. 1,2), управлять выносливостью статически неопределимой балки и повышать ресурс её эксплуатации.

Таблица 1. Толстостенные двутавровые рельсы, эквивалентные стандартным фигурным рельсам по ГОСТ 4121-62\*

Тип рельса	Площ. $A$ , см <sup>2</sup>	$J_x$ , см <sup>4</sup>	Толщ. $t$ , см	$b$ , см	$h$ , см	$J_{кр}$ , см <sup>4</sup>
КР max	246,14	13576,4	5,6	16,5	22	2033,7
КР 140	195,53	7427,23	5	15,371	18,364	1176,5
КР 120	150,44	4923,79	4,4	13,0	17,0	485,4
КР100	113,32	2864,73	3,8	13,45	14,906	404,4
КР80	81,13	1547,4	3,2	9,419	12,9144	150,5

КР 70	67,3	1081,09	2,8	8,9657	11,7044	126,4
-------	------	---------	-----	--------	---------	-------

Таблица 2. Прямоугольные рельсы, равноценные по площади сечения и моменту инерции  $J_x$  толстостенным двутавровым рельсам

Тип рельса	Площ. $A$ , $\text{см}^2$	$J_x$ , $\text{см}^4$	$t$ , см	$h$ , см	$n$	$J_{кр}$ , $\text{см}^4$	Увелич., раз
КР max	246,14	13463,31	9,607	25,62	2,(6)	4084,34	2,01
КР 140	195,53	7427,23	9,158	21,35	2,7466	3293,91	2,8
КР120	150,44	4923,79	7,59	19,82	2,61	1585,66	3,267
КР100	113,32	2864,73	6,506	17,417	2,667	859,61	3,92
КР80	81,13	1547,4	5,363	15,129	2,821	400,71	2,66
КР70	67,3	1081,09	4,847	13,884	2,864	268,3	2,12

Расчётные силы, которые передаются на балку от колёс кранов через рельс. Нормативные тормозные силы при тяжёлом  $8K$  режиме работы:  $T_n = 0,2P_n = 0,2 \times 4000 = 800$  ГН. Примечание: было  $T_n = 0,1P_n$  в два раза меньше. Действие массы конструкций и ремонтных грузов учтены увеличением силы  $P$  на 3...4 %. Расчёт произведён по нормам [3]. Расчётное сопротивление С255: изгиб:  $R_y = 230$ ; срез  $R_{cp} = 0,58 R_y = 133,4$  МПа.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Проблема низкой выносливости подрельсовой зоны сварных балок *решена* выполнением двухпролётных подкрановых балок из пары прокатных профилей с замкнутым коробчатым профилем, что обеспечило высокую выносливость при 6 млн циклов прокатываний колёс кранов!
2. Объединение пары прокатных двутавровых профилей в коробчатую, двухпролётную подкрановую балку снизило трудоёмкость изготовления более чем в 2 раза, а материалоемкость на 33 %...36 %.
3. Стандартный крановый рельс Кр 140 (фигурный профиль) заменён равноценным по площади сечения и моменту инерции  $J_x$  *прямоугольным* рельсом Кр 21,35×9,16, обладающим увеличенным моментом инерции кручения рельса в  $3293,91/1176,5 = 2,8$  раза.
4. Прямоугольный рельс гарантирует значительное, пропорциональное моменту инерции рельса при кручении повышение выносливости подрельсовой зоны двухпролётной прокатной подкрановой балки, при 6 млн циклов прокатываний колёс кранов.
5. Неподвижное *фрикционное* соединение рельса с верхним поясом балки исключило сдвиги рельса, обеспечило слитную работу *прямоугольного рельса* с двухпролётной прокатной подкрановой балкой. Это в свою очередь экстремально увеличило выносливость.

Реализация изложенных выше технических решений на практике поможет: существенно снизить эксплуатационные издержки промышленных предприятий (особенно тяжё-

лого машиностроения и чёрной металлургии), повысить безопасность и надёжность подкрановых конструкций в цехах и свести к минимуму затраты на реконструкцию и техническое перевооружение действующих производств. Эти меры положительно скажутся на развитии как отдельно взятого региона, так и всего народного хозяйства РФ.

### Список литературы

1. Евграфов Г.К. Мосты на железных дорогах. Т.П. Государственное транспортное железнодорожное издательство. – М.,1947. – 564 с.
2. Камбаров, В.И. Влияние технологических факторов на характеристики крановых нагрузок, ресурс и долговечность сварных подкрановых балок в цехах металлургического производства [Текст]: дис... канд. техн. наук / В.И. Камбаров. – М.: МИСИ, 1988. – 236 с.
3. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчёта [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук / К.К. Нежданов. – Пенза, 1992. – 349 с.
4. Нежданов К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчёта [Текст]: моногр./ К.К. Нежданов. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 288с. (Лауреат конкурса на медали и дипломы РААСН строительных наук 2011 г. 16.02.2012 г.)
5. Нежданов К.К. Новые эффективные профили [Текст] / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, С.Г. Рубликов // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2005. – № 5. – С. 79-84.
6. Нежданов К.К. Способ рихтовки неразрезных подкрановых балок [Текст] / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 99-102.
7. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Артюшин Д.В. Способ проката горячекатаной арматуры периодического профиля. RU 2467075 С2, МПК С21D8/08. Оpubл.: 20.11.2012 Бюл. №32.
8. Нежданов К.К., Лаштанкин А.А., Курткеев Д.Х. Решение проблемы обеспечения достаточной выносливости и ресурса интенсивно эксплуатирующихся подкрановых балок // Строительная механика и расчёт сооружений. – М., 2013. – № 5. – С.41...47.
9. Правила производства и приёмки работ. Металлические конструкции [Текст]: СНиП Ш-18-75. – М., 1976. – 161 с.
10. Сабуров, В.Ф. Закономерности усталостных повреждений и разработка метода расчётной оценки долговечности подкрановых путей производственных зданий [Текст]: дис... д-ра техн. наук / В.Ф. Сабуров. – Челябинск, 2002. – 388 с.
11. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.,1990. – 96 с.

12. Справочник по кранам: В 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчёта кранов, их приводов и металлических конструкций/ В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; Под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с. Т.2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов [Текст] / М.П. Александров, М.М. Гохберг.
13. Техническая эксплуатация стальных конструкций производственных зданий ОРД 0000089 [Текст]. – М.: МИНЧЕРМЕТ, 1989. – Вводится в действие с 3.08.1989. – 98 с.
14. Хомутильников, Н.И. Металлические конструкции промышленных зданий [Текст] / Н.И. Хомутильников, К.Д. Морозов. – Л.; М.: Госстройиздат, 1933. – 536 с.

**Рецензенты:**

Ласьков Н.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза.

Логанина В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Управление качеством и технологии строительного производства», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза.