

DOI: 10.34031/2618-7183-2022-5-4-39-49

*Клюев С.В.**, кандидат технических наук, доцент,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
Гарькин И.Н., доцент,
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Россия,
Клюев А.В., кандидат технических наук, доцент,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
Сабитов Л.С., доктор технических наук, профессор,
Казанский государственный энергетический университет, Россия,
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия
*Ответственный автор E-mail: Klyuyev@yandex.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СБОРНЫХ ПОДКРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

Аннотация: цель работы состоит в анализе результатов испытаний сборных подкрановых балок на выносливость при циклических испытаниях на специально разработанном стенде. Приводится методика проведения таких испытаний. Указывается на недопустимость эксплуатации стальных подкрановых конструкций с трещинами и важность исследований направленных на повышения выносливости и долговечности подкрановых балок. Доказывается необходимость разработки новых подкрановых балок (различных профилей) для повышения срока безаварийной эксплуатации промышленных зданий (использующие мостовые грузоподъемные механизмы с тяжелым режимом работы) до 25 лет. Доказывается, что разработанная сборная подкрановая балка обладает повышенными (в сравнении со стандартными) характеристики.

Ключевые слова: подкрановая балка, подкрановые конструкции, метод испытания, строительные конструкции, выносливость, долговечность, циклические нагружения

Введение

Важной задачей в обеспечении промышленной безопасности зданий и сооружений являющимися опасными производственными объектами (эксплуатирующие грузоподъемные механизмы) является повышение выносливости подкрановых конструкций (балок, рельс, тормозных балок и т.д.) [1, 2]. Металлоемкость таких конструкций достигает 30% от всей массы металлического каркаса, долговечность же в десятки раз меньше [3, 4]. В преобладающем большинстве тяжелых производств (цеха черной и цветной металлургии) эксплуатируются подкрановые конструкции в виде сварных балок двутаврового сечения или же в ряде случаев применяется комбинированная система, объединяющая подкрановую балку и подстропильную ферму.

Опыт использования подкрановых балок показывает, что там, где эксплуатируются краны тяжелого и весьма тяжелого режимов работы при круглосуточном их использовании и систематическом перемещении грузов, близких к номинальной грузоподъемности кранов (цеха черной и цветной металлургии) первые усталостные трещины вдоль верхних поясных швов появляются уже на 2-3 год с начала эксплуатации. В соответствии с действующими же нормами, эксплуатация с трещинами металлических конструкций запрещена. Повреждения появляются внезапно без видимых деформаций и имеют тенденцию быстрого роста и через 5-6 лет эти балки требуют полной замены. Причиной появления преждевременных трещин могут служить дефекты изготовления и монтажа конструкций, низкое качество сварки, неточный монтаж, смещение рельса с оси подкрановой балки [5, 6]. Все вышеуказанные факторы приводят к обрушениям строительных конструкций.

Методы и материалы

Для решения задачи повышения долговечности и выносливости подкрановых балок требуется разработать и испытать новые виды профилей для подкрановых балок. Так была разработана составная подкрановая балка двутаврового сечения БК (геометрические характеристики приведены на рис. 1), в качестве крепления уголков к стенкам балки использовались высокопрочные болты М10 (при сборке балки использовался тарировочный ключ с гарантированным натягом), в качестве направляющей был использован рельс квадратного сечения 20*20мм, крепления рельса было выполнено по средства специальных накладок [7, 8].

При изготовлении моделей:

– нарезали заготовки для поясов и стенок четырёх подкрановых балок из стали и уголков ВСт 3 Сп 5 ГОСТ 27772-2015 (толщина – 20 мм);

- к поясам приваривали направляющие квадратного (20x20 мм) сечения из стали Ст 45;
- доработку заготовок и сборка конструкций осуществляли при помощи болтов М 10.

Сварку выполняли полуавтоматом, работающим на постоянном токе в среде углекислого газа с содержанием углекислоты 98%, проволокой СВ-08-2Г2С диаметром 1,6 мм при подаче её со скоростью 453 мм/мин при напряжении 32-35 В (сварку осуществлял в указанном режиме аттестованный сварщик шестого разряда) [2].

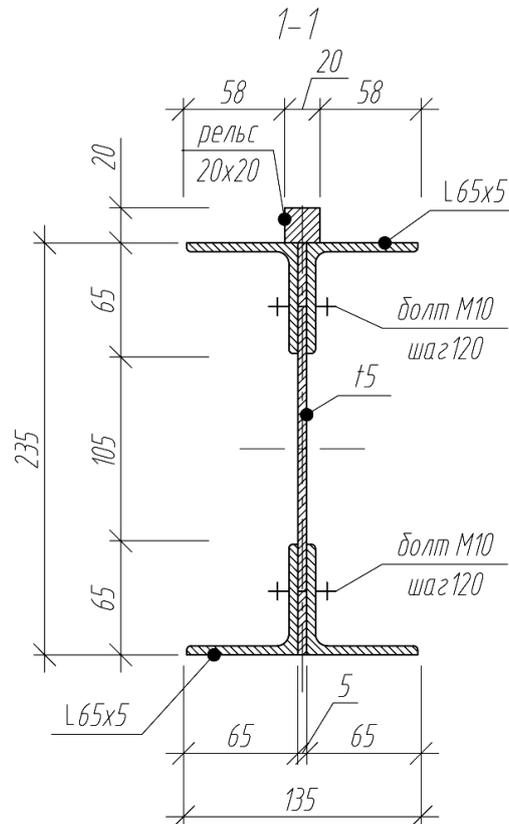


Рис. 1. Профиль испытываемой сборной подкрановой балки БК
Fig. 1. Profile of the tested prefabricated crane beam BK

Результаты и обсуждения

Испытания проводились на специально разработанном стенде [9] в лаборатории кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО ПГУАС (рис. 2, 3), где систематически проводятся исследования выносливости и долговечности подкрановых конструкций (подкрановые балки, крановые рельсы, тормозные балки).

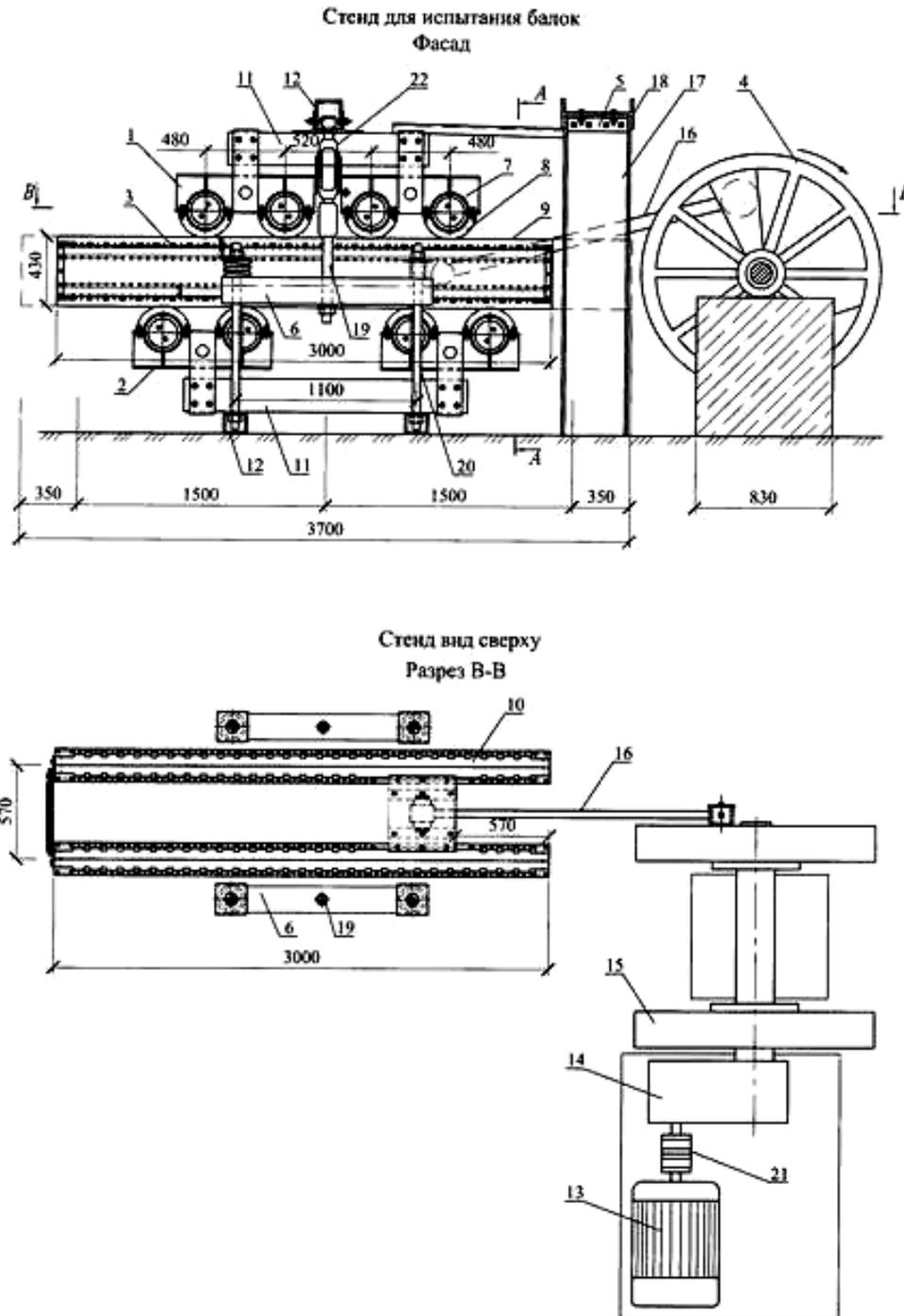


Рис. 2. Стенд для испытания подкрановых балок на выносливость

1 – верхний мостовой кран, 2 – нижний мостовой кран, 3 – блок балок, 4 – механизм привода, 5 – рама, 6 – устройство для зажатия амортизирующих балок, 7 – балансиры, 8 – колёса, 9 – рельс, 10 – амортизирующая подкрановая балка, 11 – рама крана, 12 – поперечная балка крана, 13 – электродвигатель, 14 – редуктор, 15 – маховик, 16 – шатун, 17 – анкерная П-рама, 18 – горизонтальная балка П-рамы, 19 – анкерная тяга, соединяющая верхний кран с устройством нагружения, 20 – тяга устройства нагружения, 21 – зубчатая муфта, 22 – динамометр ($Q=50\text{т}$) [10,12, 20].

Fig. 2. Stand for testing crane beams for endurance

1 – upper overhead crane, 2 – lower overhead crane, 3 – block of beams, 4 – drive mechanism, 5 – frame, 6 – device for clamping shock-absorbing beams, 7 – balancers, 8 – wheels, 9 – rail, 10 – shock-absorbing crane beam, 11 – crane frame, 12 – crane transverse beam, 13 – electric motor, 14 – gearbox, 15 – flywheel, 16 – connecting rod, 17 – anchor P-frame, 18 – horizontal beam P-frame, 19 – anchor rod connecting top crane with a loading device, 20 – thrust of the loading device, 21 – gear coupling, 22 – dynamometer ($Q=50\text{t}$)



Рис. 3. Стенд для испытаний на выносливость подкрановых балок
Fig. 3. Endurance test stand for crane beams.

При эксплуатации подкрановых конструкции циклические воздействия в общем случае представляет собой асимметричный цикл (рис. 4.1; 4.2); τ_m – среднее напряжение; $A_\tau=0,5$ динамическая амплитудная составляющая напряжений при симметричном цикле τ_{-1} .

На стенде имитируются циклические воздействия восьмиколёсных мостовых кранов. Одновременно испытывается на выносливость блок из четырёх неразрезных двухпролётных балок; пара верхних балок связана с парой нижних балок посредством цилиндрических шарниров; все сборные балки в блоке установлены под углом $\approx 3^\circ$, чем обеспечивается имитация горизонтальных тормозных сил [10..13]. Стенд имеет высокую производительность, т.к. имеет возможность работать автономно, без участия обслуживающего персонала (имеется необходимая защитная автоматика).

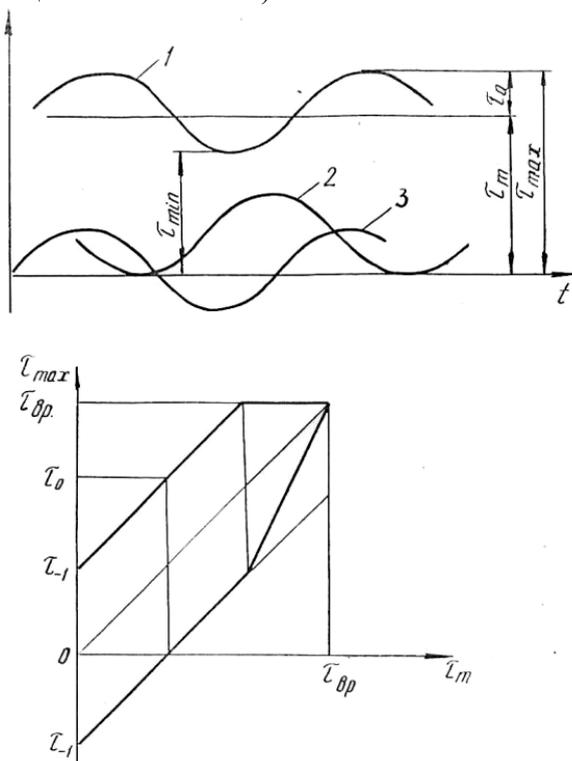


Рис. 4. Циклическое изменение напряжений сдвига
Fig. 4. Cyclic variation of shear stresses

Цель испытаний – изучить напряжённое состояние разработанной и изготовленной составной подкрановой балки [14]. Для реализации этой цели были поставлены и успешно решены следующие задачи:

- разработаны и изготовлены крупномасштабные модели подкрановых балок (длиной по 3 м);
- проведены динамические испытания сборных подкрановых балок (при неразрезной схеме эксплуатации);
- исследовано локальное НДС в разработанной подкрановой балке.

Каждое из колёс крана, прокатываясь по рельсу генерирует опасные локальные напряжения силами R^{loc} и T^{loc} , передающиеся на находящуюся под рельсом подкрановую балку.

Для измерения напряжений и деформаций в испытываемых конструкциях использовались тензорезисторы сопротивлением 101,7 Ом, базой 5 мм и коэффициентом усиления $S = 1,98$. Для снятия показаний применялся ЦТК-1 с автоматическим стопозиционным переключателем АП-3. Исходя из полученных деформаций, определялись напряжения в интересующих точках конструкций. Данная аппаратура использовалась при всех испытаниях на выносливость, проводимых ранее в данной лаборатории [20].

По полученным данным были построены линии влияния напряжений в исследуемых зонах стенки испытываемой конструкции (рис. 5-10) [15, 16].

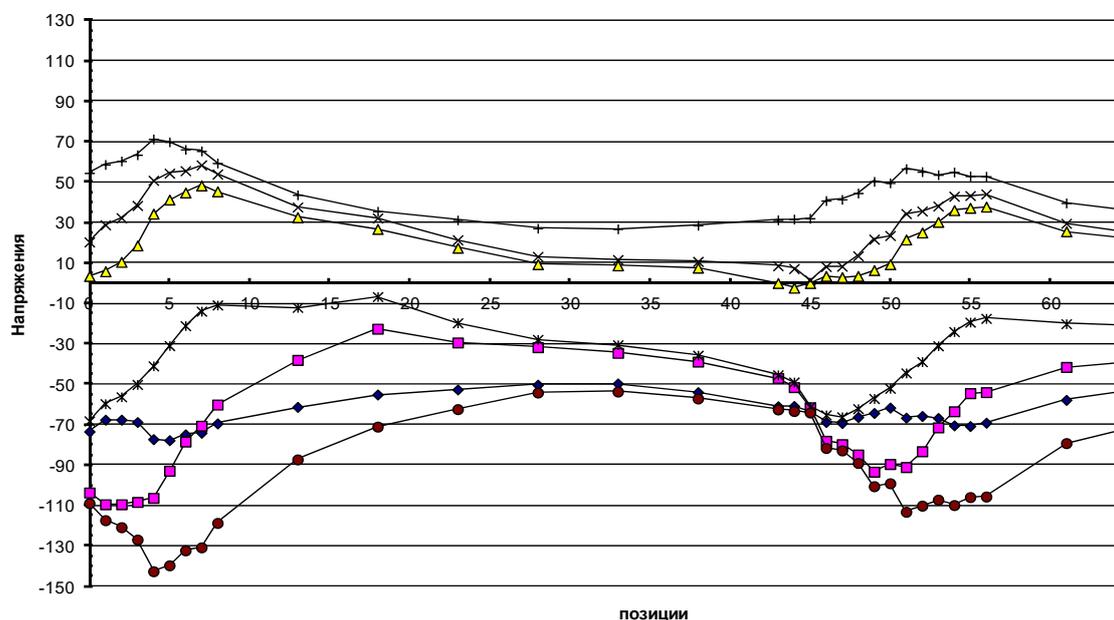


Рис. 5. Линии влияния напряжений (тензодатчик №1)
Fig. 5. Lines of influence of stresses (load cell No. 1)

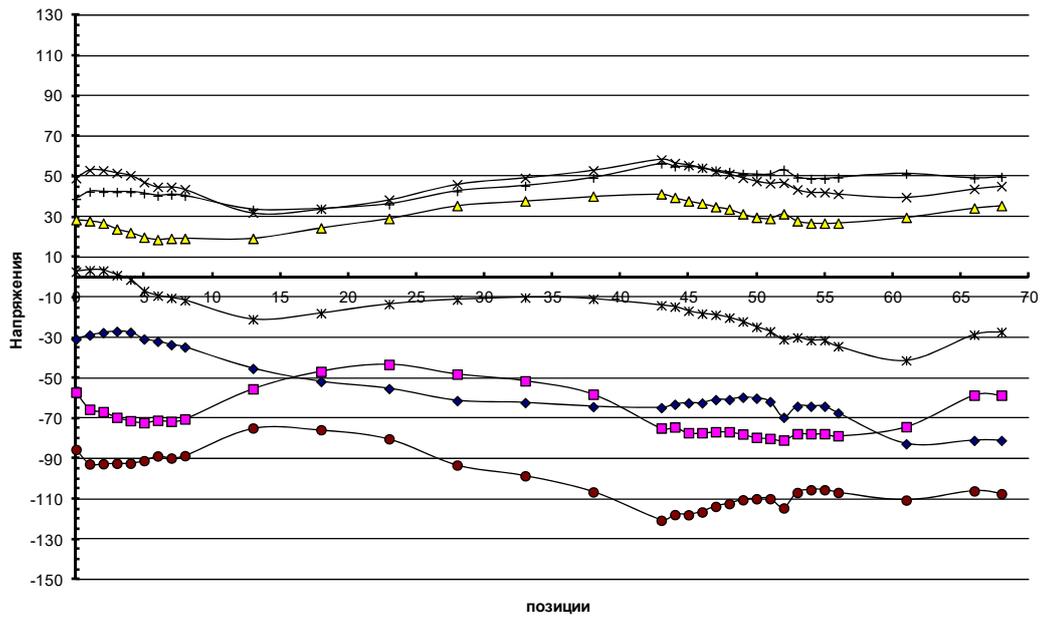


Рис. 6. Линии влияния напряжений (тензодатчик №2)
Fig. 6. Lines of influence of stresses (load cell No. 2)

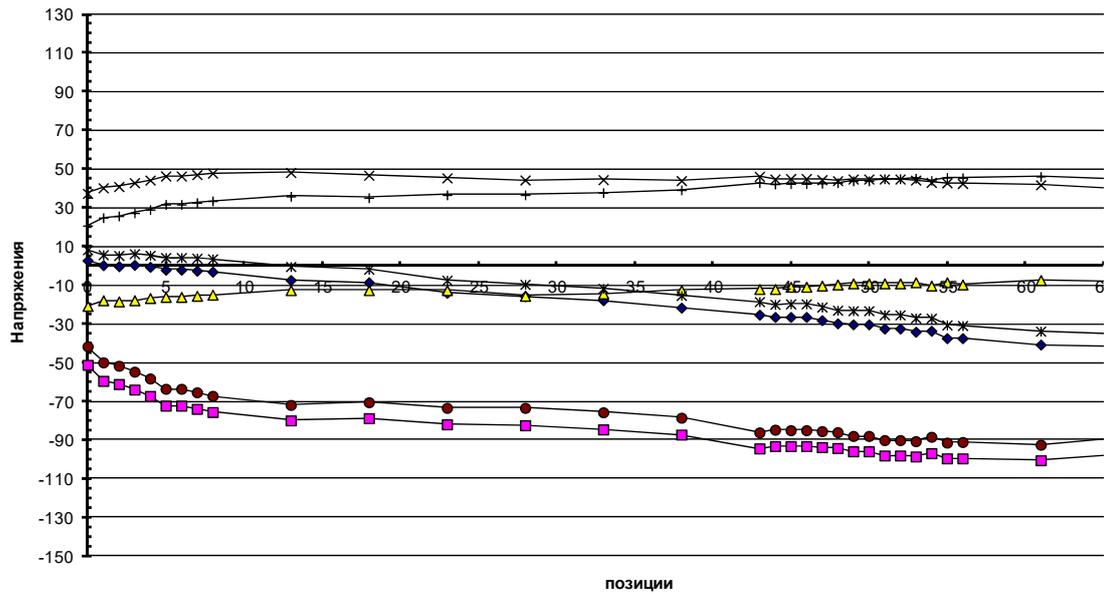


Рис. 7. Линии влияния напряжений (тензодатчик №3)
Fig. 7. Lines of influence of stresses (load cell No. 3)

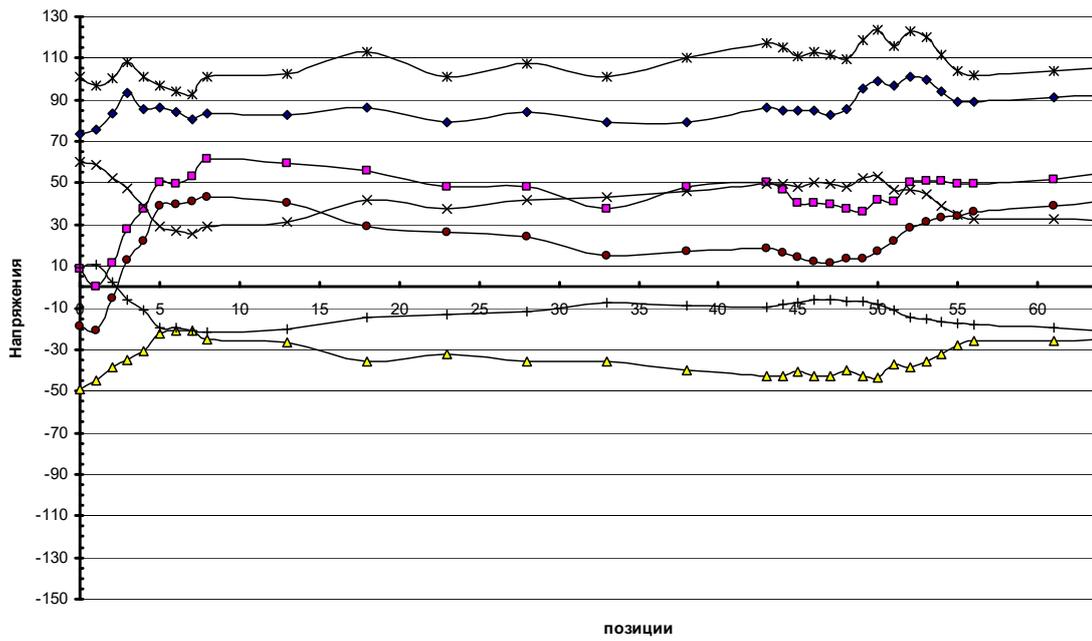


Рис. 8. Линии влияния напряжений (тензодатчик №4)
Fig. 8. Lines of influence of stresses (load cell No. 4)

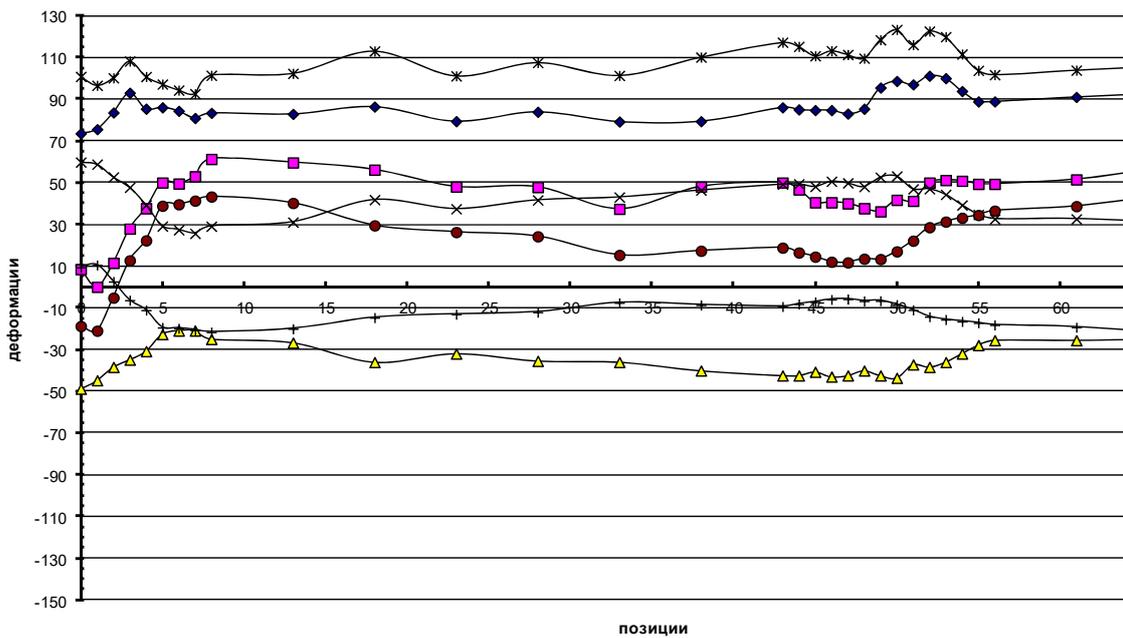


Рис. 9. Линии влияния напряжений (тензодатчик №5)
Fig. 9. Lines of influence of stresses (load cell No. 5)

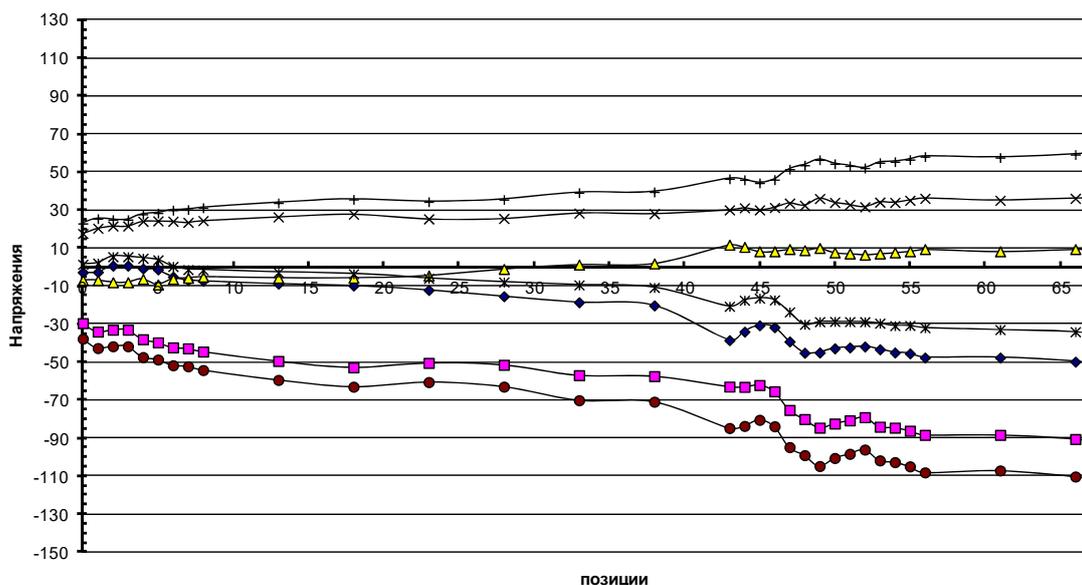


Рис. 10. Линии влияния напряжений (тензодатчик №6)
Fig. 10. Lines of influence of stresses (load cell No. 6)

По результатам были получены данные дополняющие линию регрессии, полученные в ходе предыдущих экспериментов рис. 11. Результаты (шесть миллионов циклов проката) разработанной подкрановой балки оказалась между линиями соответствующими прокату и сварным моделям. Соответственно обеспечивается безопасная эксплуатация на уровне 10 лет (что соответствует нормативным показателям). В сварных же подкрановых балках трещины появляются уже на 3-ий год интенсивной эксплуатации [17]. Помимо этого видимых признаков появления дефектов не обнаружено, учитывая факт отсутствия концентраторов напряжения в виде сварных швов, можно утверждать резерв безаварийной эксплуатации балки находится на уровне не менее 25 лет.

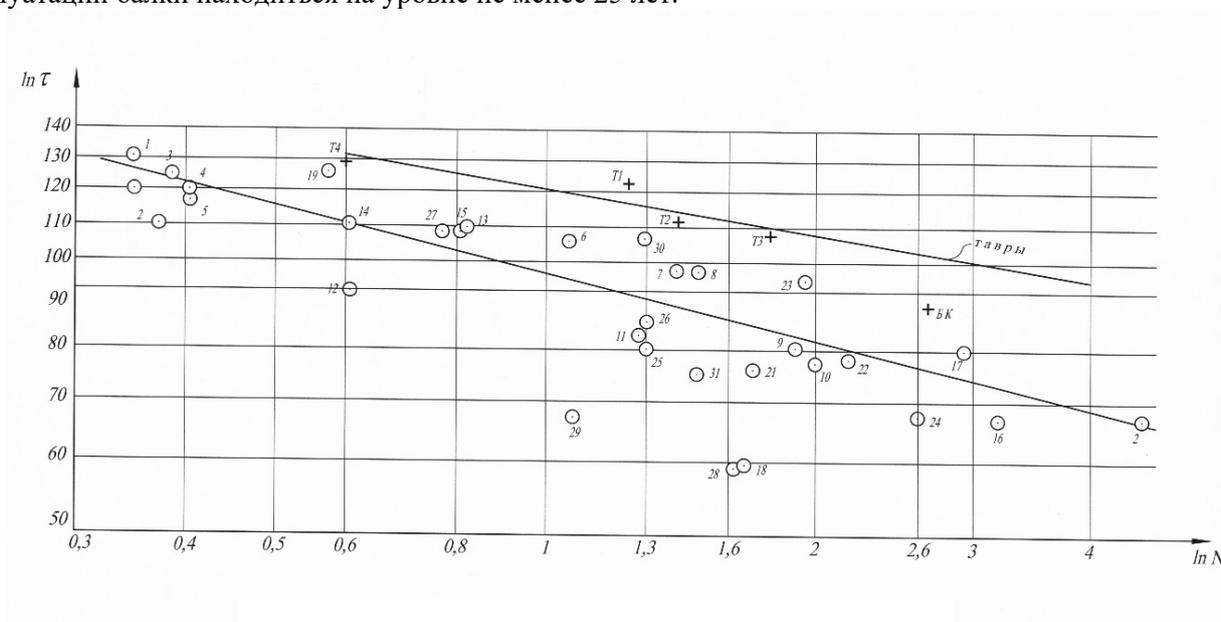


Рис. 11. Линия регрессии
Fig. 11. Regression line

Выводы

1. Проведены очередные циклические испытания на выносливость разработанных новых моделей подкрановых конструкций на стенде имитирующем все подвижные волнообразные воздействия от колес кранов Р, Т, М_{кр} [19,20];
2. Экспериментальным путем (в ходе очередных циклических испытаний), было доказано, что разработанная сборная подкрановая балка двутаврового профиля обеспечивает требования по промышленной безопасности в течение нормативного срока эксплуатации (6 миллионов циклов нагружений или примерно 10 лет реальной эксплуатации);
3. У разработанной подкрановой балки имеется резерв для безаварийной эксплуатации до 25 лет.

Литература

1. Гарькин И.Н., Лаштанкин А.С. Результаты испытаний крановых арочных рельсов // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 2 (43). С. 109 – 119.
2. Гарькин И.Н. Совершенствование подкрановых конструкций: монография. Москва: Изд-во "Перо", 2020. 106 с. ISBN 978-5-00171-057-8. DOI 10.15350/9785001710578
3. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Гарькин И.Н. Экстремальное повышение моментов инерции рельсов при кручении // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 6 (239). С. 30 – 31.
4. Odesskii P.D., Tishaev S.I., Vedyakov I.I. Trends in the development of steels for industrial steelwork in Russia // Steel in Translation. 2000. Т. 30. № 12. С. 56 – 63.
5. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 3. С. 31 – 36.
6. Ereemeev P.G., Vedyakov I.I., Zvezdov A.I. Suspension large span roofs structures in Russia // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Т. 17. № 2. Р. 34 – 42.
7. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых систем на основе энергетического критерия при силовых и температурных воздействиях с учетом безопасной устойчивости // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 60 – 63.
8. Сабуров В.Ф. Влияние стыка кранового рельса на работу подкрановых путей промышленных зданий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 2 (686). С. 5 – 14.
9. Нежданов К.К., Туманов В.А. Испытания крупномасштабных моделей подкрановых балок подвижными воздействиями колес мостовых кранов на выносливость // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 2 (542). С. 21 – 27.
10. Туманов В.А. Повышение выносливости стальных подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 75 – 82.
11. Сабуров В.Ф. Использование моделей упругого основания для анализа распределения локальных напряжений в стенке стальных составных балок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Т. 14. № 4. С. 15 – 20.
12. Гарькин И.Н., Лаштанкин А.С. Циклические испытания подкрановых балок на выносливость // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 3 (44). С. 68 – 77.
13. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Residual resource of a one-storey steel frame industrial building constructed with bridge cranes // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 8 (84). Р. 150 – 161.
14. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Loads for the design of the industrial building frame // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 3 (95). С. 66 – 79.
15. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование конструкций с учетом устойчивости равновесия // Фундаментальные исследования. 2008. № 9. С. 62.
16. Pritykin A.I., Kirillov I.E. Rational dimensions of transverse stiffening ribs in girders with a slender web // Materials Science Forum. 2018. Т. 931. Р. 100 – 106.
17. Pritykin A.I., Lavrova A.S. Stress level in beams with sinusoidal perforation // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 4 (104). Р. 10414.
18. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Strain-stress state analysis of bolted connection of thin-walled steel profiles in tension and compression // Materials Science Forum. 2019. Т. 974. Р. 672 – 675.
19. Лаштанкин А.С., Гарькин И.Н. Способы повышения выносливости подрельсовой зоны подкрановых балок. Москва: Изд-во "Перо", 2021. 146 с. ISBN 978-5-00171-841-3
20. Лаштанкин А.С. Повышение выносливости подрельсовой зоны подкрановых балок снижением динамики воздействий колёс мостовых кранов: специальность 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения": дис. ... на соиск. учен. степ. канд. технич. Пенза, 2011. 213 с.

References

1. Garkin I.N., Lashtankin A.S. Test results of crane arch rails. *Regional Architecture and Construction*. 2020. 2 (43). P. 109 – 119. (rus.)
2. Garkin I.N. Improvement of crane structures: a monograph. Moscow: Publishing house “Pero”, 2020. 106 p. ISBN 978-5-00171-057-8. DOI 10.15350/9785001710578 (rus.)
3. Nezhdanov K.K., Nezhdanov A.K., Garkin I.N. Extreme increase of rail moments of inertia during torsion. *Structural Mechanics and Design*. 2011. 6 (239). P. 30 – 31. (rus.)
4. Odesskii P.D., Tishaev S.I., Vedyakov I.I. Trends in the development of steels for industrial steelwork in Russia. *Steel in Translation*. 2000. 30 (12). P. 56 – 63.
5. Klyuev S.V., Klyuev A.V. Optimal design of rod structures. *Structural Mechanics of Engineering Structures and Facilities*. 2009. 3. P. 31 – 36. (rus.)
6. Ereemeev P.G., Vedyakov I.I., Zvezdov A.I. Suspension large span roofs structures in Russia. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. 17 (2). P. 34 – 42.
7. Klyuev S.V., Klyuev A.V. Optimal design of rod systems based on the energy criterion for force and temperature influences taking into account the safe stability. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2009. 1. P. 60 – 63. (rus.)
8. Saburov V.F. Impact of crane rail joint on the operation of crane tracks of industrial buildings. *Proceedings of higher education establishments. Construction*. 2016. 2 (686). P. 5 – 14. (rus.)
9. Nezhdanov K.K., Tumanov V.A. Testing of large-scale models of crane beams by movable impacts of bridge crane wheels on endurance. *Proceedings of higher education establishments. Construction*. 2004. 2 (542). P. 21 – 27. (rus.)
10. Tumanov V.A. Increasing the endurance of steel crane beams. *Regional Architecture and Construction*. 2012. 1. P. 75 – 82. (rus.)
11. Saburov V.F. Using elastic base models to analyze the distribution of local stresses in the wall of steel composite beams. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture*. 2014. 14 (4). P. 15 – 20. (rus.)
12. Garkin I.N., Lashtankin A.S. Cyclic endurance tests of crane beams. *Regional Architecture and Construction*. 2020. 3 (44). P. 68 – 77. (rus.)
13. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Residual resource of a one-storey steel frame industrial building constructed with bridge cranes. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 8 (84). P. 150 – 161.
14. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Loads for the design of the industrial building frame. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 3 (95). P. 66 – 79.
15. Klyuev S.V., Klyuev A.V. Optimal design of structures in view of equilibrium stability. *Fundamental Researches*. 2008. 9. P. 62.
16. Pritykin A.I., Kirillov I.E. Rational dimensions of transverse stiffening ribs in girders with a slender web. *Materials Science Forum*. 2018. 931. P. 100 – 106.
17. Pritykin A.I., Lavrova A.S. Stress level in beams with sinusoidal perforation. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. 4 (104). P. 10414.
18. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Strain-stress state analysis of bolted connection of thin-walled steel profiles in tension and compression. *Materials Science Forum*. 2019. 974. P. 672 – 675.
19. Lashtankin A.S., Garkin I.N. Methods to increase the endurance of the sub-rail area of crane beams. Moscow: Pero Publishing House, 2021. 146 p. ISBN 978-5-00171-841-3 (rus.)
20. Lashtankin A.S. Increasing the endurance of the crane under-rail zone by reducing the dynamics of impacts of the wheels of overhead cranes: specialty 05.23.01 “Construction structures, buildings and facilities”: thesis. ... for the degree of Candidate of Engineering Sciences Penza, 2011. 213 p. (rus.)

Klyuev S.V. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia,
Garkin I.N., Senior Lecturer,
Penza State University of Architecture and Construction, Russia,
Klyuev A.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia,
Sabitov L.S., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Kazan State Power Engineering University, Russia,
Kazan (Volga Region) Federal University, Russia
*Corresponding author E-mail: Klyuyev@yandex.ru

RESULTS OF ENDURANCE TESTING OF PREFABRICATED CRANE STRUCTURES

Abstract: the purpose of the work is to analyze the results of tests of prefabricated crane beams for endurance during cyclic tests on a specially designed stand. The method of carrying out such tests is given. It indicates the inadmissibility of the operation of steel crane structures with cracks and the importance of research aimed at increasing the endurance and durability of crane beams. It proves the need to develop new crane beams (various profiles) to increase the period of accident-free operation of industrial buildings (using bridge lifting mechanisms with heavy duty) up to 25 years. It is proved that the developed prefabricated crane beam has improved (in comparison with the standard) characteristics.

Keywords: crane beam, crane structures, test method, building structures, endurance, durability, cyclic loading

Для цитирования: Ключев С.В., Гарькин И.Н., Ключев А.В., Сабитов Л.С. Результаты испытаний сборных подкрановых конструкций на выносливость // Строительные материалы и изделия. 2022. Том 5. № 4. С. 39 – 49. DOI: 10.34031/2618-7183-2022-5-4-39-49

For citation: Klyuev S.V., Garkin I.N., Klyuev A.V., Sabitov L.S. Results of endurance testing of prefabricated crane structures. Construction Materials and Products. 2022. 5 (4). P. 39 – 49. DOI: 10.34031/2618-7183-2022-5-4-39-49

Поступила в редакцию 18 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 13 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 7 августа 2022 г.

Received: June 18, 2022.

Revised: July 13, 2022.

Accepted: August 7, 2022