

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-8-16

*Маркеев В.С., Борков П.В.

Липецкий государственный технический университет

*E-mail: markeev.vladislav@yandex.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье рассмотрены основные причины физического износа металлических подкрановых балок промышленных зданий на опасных производственных объектах. Проведен анализ существующих методик определения физического износа и остаточного ресурса различных конструкций, а также нормативно-технической документации, регламентирующей вопрос проведения обследований конструкций и назначения технического состояния конструкций. Проведен анализ характерных дефектов и повреждений сварных подкрановых балок с анализом их влияния на несущую способность.

Исследована зависимость величины физического износа от продолжительности эксплуатации подкрановых балок. Предложена методика определения физического износа отдельных конструкций на основании их влияния на несущую способность конструкции и их эксплуатационные характеристики, опираясь на существующие методики определения физического износа конструкций производственных зданий. Предложена методика определения остаточного ресурса металлических конструкций методом Пуассона, в зависимости от степени физического износа и продолжительности эксплуатации.

Применение данной методики позволяет при проведении экспертизы промышленной безопасности более точно подходить к определению остаточного ресурса строительных конструкций. На основании этих данных более обоснованно подходить к реконструкции, усилению или капитальному ремонту существующих конструкций, а также полной или частичной их замены.

Ключевые слова: промышленная безопасность, остаточный ресурс, физический износ, подкрановая балка, поврежденность, категория технического состояния.

Введение. Вопросам анализа безопасной эксплуатации инженерных конструкций, а также методам прогнозирования их долговечности в различных производственных условиях в настоящее время уделяется особое внимание. Ключевую роль при этом приобретают исследования, нацеленные на управление сроками безотказной и безопасной эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО) [1, 2].

Безопасная эксплуатация представляет собой свойство объекта противостоять переходу в аварийное состояние. Она определяется остаточным ресурсом несущих конструкций, а также техническим состоянием объекта в целом [3, 8].

Вместе с тем, в соответствии с действующим законодательством, здания и сооружения на ОПО подлежат экспертизе промышленной безопасности (ЭПБ) по истечении сроков безопасной эксплуатации установленные проектной документацией [4]. Согласно этому документу, одним из основных мероприятий является оценка остаточной несущей способности и пригодности зданий и сооружений к дальнейшей эксплуатации.

Материалы и методы. Определение физического износа и технического состояния строительных конструкций, является очень важным

условием, для точного определения остаточного ресурса. Основопологающим нормативным документом, при определении физического износа строительных конструкций, является ВСН 53-86(р) [5]. Данный нормативный акт, в основном предназначен для оценки физического износа жилых зданий, необходимой при технической инвентаризации, планировании и проектировании капитального ремонта жилищного фонда независимо от его ведомственной принадлежности. Физический износ конструкции, элемента или системы, имеющих различную степень износа отдельных участков, следует определять по формуле:

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \frac{P_i}{P_k}, \quad (1)$$

где Φ_k – физический износ конструкций, элемента или системы, %; Φ_i – физический износ участка конструкции, элемента или системы, P_i – размеры (площадь или длина) поврежденного участка, m^2 или m ; P_k – размеры всей конструкции, m^2 или m ; n – число поврежденных участков.

В случае попытки оценки физического износа строительных конструкций промышленных зданий, и подкрановых конструкций в частности,

возникает довольно много вопросов для обсуждения. Непосредственно в [5] физический износ участка конструкции, элемента или системы, определяется в соответствии с четко определенными таблицами для определения физического износа, в зависимости от признаков износа и количественной оценки данного признака, для различных типов конструкций жилых и общественных зданий.

При оценке физического износа (технического состояния) подкрановых конструкций, можно говорить о некоторых характерных дефектах и повреждениях металлических эксплуатируемых подкрановых балок.

Подкрановые конструкции являются весьма металлоемкой и повреждаемой частью промышленного здания, срок службы которой в 3-4 раза ниже долговечности других конструкций. Многочисленные натурные обследования подкрановых балок показали, что, в основном, срок их эксплуатации не превышает 20 лет, а в условиях тяжелого режима работы - 4÷7 лет и отмечаются случаи выхода из строя и замены через 2÷2,5 года эксплуатации.

Преждевременные выходы из строя подкрановых балок приводят к значительным материальным и трудовым затратам, связанным как с ремонтом (зачастую полной заменой) конструкции, так и с экстренной остановкой и нарушением технологического процесса. Наибольший ущерб наносится предприятиям с непрерывным циклом производства, где убытки от таких внеплановых остановок могут в несколько раз превышать стоимость заменяемых конструкций. Для конструкций таких линий производства, просто необходимым является определение срока эксплуатации конструкций без проведения капитального ремонта или замены конструкций. Для возможности оценки данного периода, вводится понятие остаточного ресурса объекта капитального ремонта, или отдельных конструкций.

По мнению некоторых исследователей [6], следует выделять характерные дефекты, на основе некоторой выборки проектов ЭПБ промышленных зданий:

Группа 1 – трещины в нижнем поясе балки, где наиболее опасными трещинами, можно считать те, что развиваются в растянутой зоне разрезных балок.

Группа 2 – трещины, развивающиеся в верхнем поясе балок, причем как наклонные, так и поперечные.

Группа 3 – трещины, развивающиеся в околошовной зоне подкрановых балок, а также в пояском шве.

Группа 4 – трещины в зоне опорного узла, нижней зоне балки, зоне монтажного или заводского стыка.

Группа 5 – трещины в швах приварки, основном металле промежуточных и опорных поперечных ребер жесткости к верхнему поясу, околошовной зоне.

Группа 6 – трещины в швах приварки опорных ребер подкрановой балки к нижнему поясу.

Основные, наиболее опасные и чаще всего наблюдаемые дефекты – усталостные трещины. В руководстве по определению индивидуального ресурса стальных подкрановых балок с усталостными трещинами [7], так же выделяются характерные дефекты.

От места расположения по длине балки:

- У опорных и промежуточных ребер жесткости;

- У поверхностного дефекта поясного шва.

От распространения по высоте стенки:

- В металле поясного шва;

- В околошовной зоне поясного шва;

- В основном металле стенки;

- С переходом из металла шва на околошовную зону;

- С переходом из металла шва в основной металл пояса.

В зависимости от геометрического развития трещин:

- Горизонтально развивающаяся трещина;

- Развивающаяся вертикально;

- Развивающаяся под углом к горизонтальной линии;

- Трещины с ветвлением ветвей.

К менее опасным дефектам подкрановых конструкций можно отнести: разрушение защитных покрытий, коррозия поверхности подкрановых балок, коррозия сварных швов, расстройство болтовых соединений не носящее массовый характер. Стоит отметить и такие, довольно часто встречающиеся, но серьезные дефекты как: дефекты концевых упоров, остаточный прогиб балки, расцентровка и неточная подгонка элементов в узлах сопряжений, смещение опорных ребер с оси колонны.

Основная часть. Для проведения анализа физического износа подкрановых балок, были выбраны отчеты по проведению экспертизы промышленной безопасности пяти промышленных зданий черной металлургии. Срок эксплуатации конструкций подкрановых балок от 6 до 44 лет. Типовые подкрановые балки пролётом 12м, с шагом поперечных ребер жесткости 1,5м, высотой сечения 2800мм, выполненные по разрезной и неразрезной схеме. На основании имеющихся де-

фектов и повреждений, в соответствии с (1) и характерных повреждений балок, изложенных выше, назначен физический износ подкрановых балок – (Φ_k).

Каждая из девяти выборок, включает различное количество подкрановых балок, для удобства дальнейшей работы вычислим средний и медианный показатель износа, подлежащие анализу.

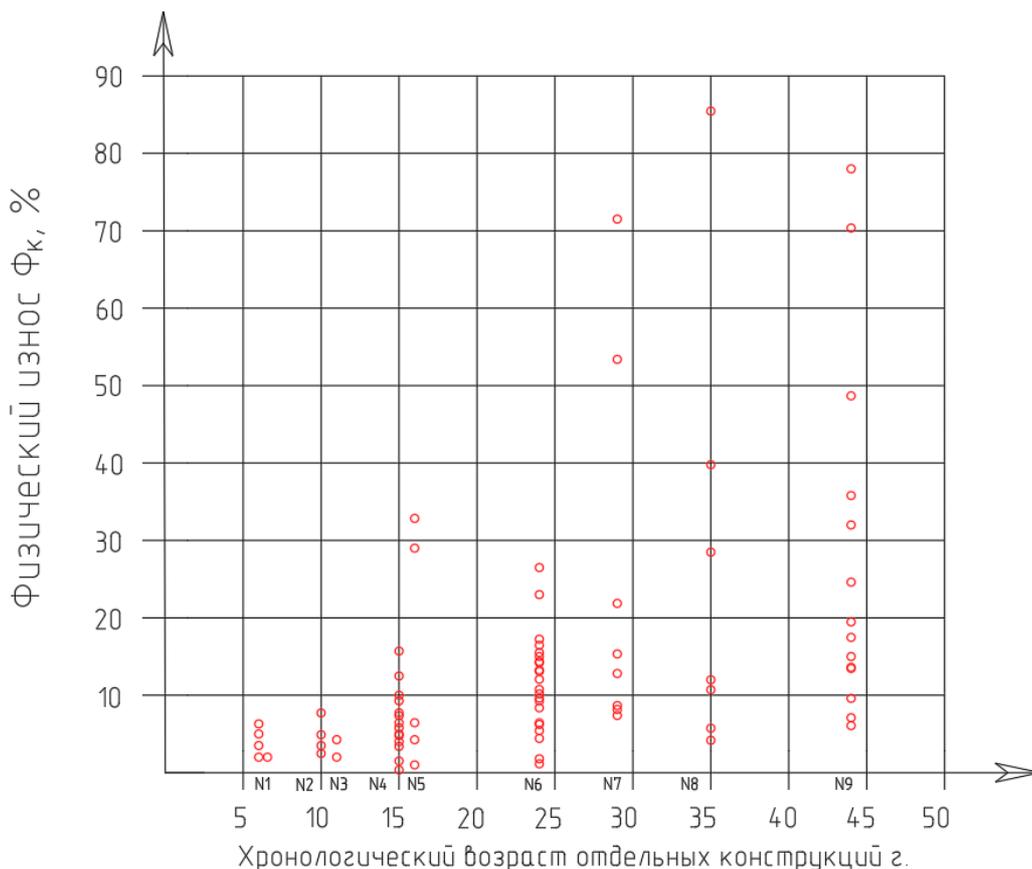


Рис. 1. Физический износ конструкций подкрановых балок в зависимости от срока эксплуатации

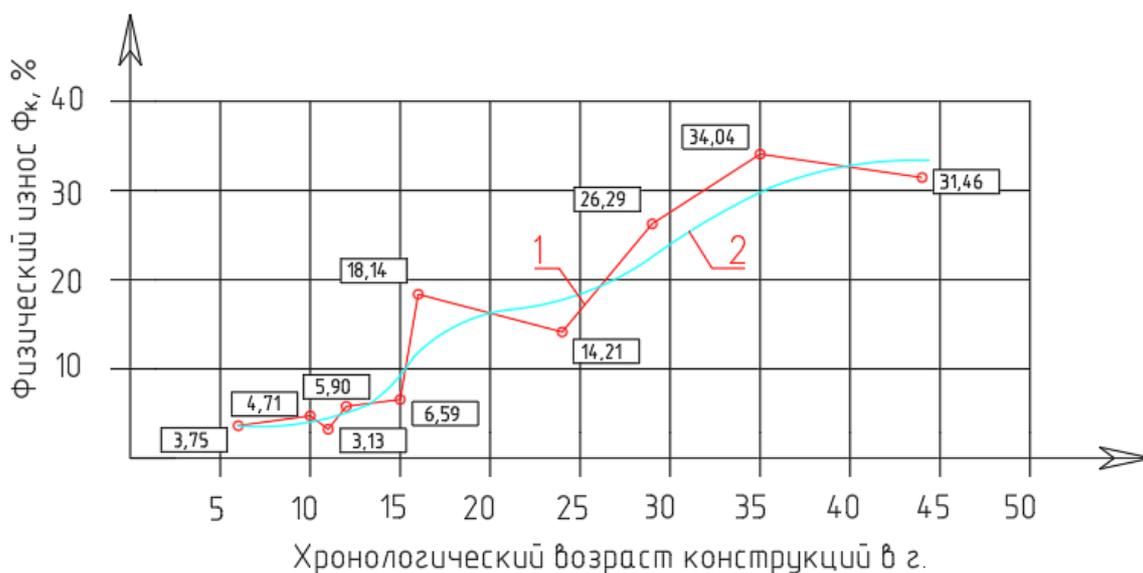


Рис. 2. Средний физический износ подкрановых балок:
1 – кривая физического износа; 2 – аппроксимирующая функция



Рис. 3. Медианный физический износ подкрановых балок:
 1 – кривая физического износа; 2 – аппроксимирующая функция

Один из способов оценки остаточного ресурса основан на распределении Пуассона. В общем виде остаточный ресурс возможно определять по формуле:

$$T_{ост} = T - t_{фак}, \quad (2)$$

где, $t_{фак}$ – Фактический срок эксплуатации объекта капитального строительства, либо отдельной строительной конструкции, T – Срок службы конструкции до проведения очередного капитального ремонта.

Этот показатель определяется формулой:

$$T = \frac{0,16}{\lambda} \quad (3)$$

где 0,16 – значение, которое обусловлено ограниченным-работоспособным состоянием, либо определяется в соответствии с таблицей 1 [6], в зависимости от относительной надежности и назначенной категории технического состояния, λ – постоянная физического износа, определяемая в зависимости от хронологического возраста конструкции на момент обследования, и относительной надежности. Или же определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{-Ln \cdot \gamma}{t_{\phi}} \quad (4)$$

где, t_{ϕ} – срок эксплуатации в годах на момент обследования., γ – вероятность безотказной работы или же по-другому коэффициент относительной надежности, определяемый по формуле:

$$\gamma = 1 - \varepsilon \quad (5)$$

где ε – поврежденность здания, в соответствии с [6] определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_j}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (6)$$

где, $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \dots \varepsilon_i$ – величина поврежденности или же степень опасности дефекта. $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_i$ – коэффициент ответственности, либо же значимости некоторых видов конструкции.

При отсутствии других данных по рассчитываемым конструкциям, коэффициенты значимости α_i следует принимать: для колонн $\alpha=8$, для ферм $\alpha=7$, фундаментов и несущих стен различной конструкции $\alpha=3$, перекрытия и покрытия $\alpha=2$, $\alpha=4$ для балок, $\alpha=2$ для других строительных конструкций.

В зависимости от имеющихся дефектов и повреждений, состояние конструкций, следует подразделять на 5 категорий: аварийное, неудовлетворительное, не совсем удовлетворительное, удовлетворительное, нормальное [9].

Для дальнейшего расчет остаточного ресурса воспользуемся таблицей из [9], внося некоторые изменения и соотнеся назначенный физический износ конструкций, и категорией технического состояния элементов конструкций в соответствии с [21].

Величину поврежденности конструкций по истечении некоторого промежутка времени t лет эксплуатации, следует определять по формуле:

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{-Ln \cdot \gamma}{t_{\phi}}, \quad (8)$$

где, t_{ϕ} – Срок эксплуатации в годах на момент обследования.

Срок эксплуатации объекта капитального строительства или отдельной конструкции до аварийного состояния следует определять по формуле:

$$t_o = \frac{0,22}{\lambda}, \quad (9)$$

Таблица 1

Результаты расчета физического износа подкрановых балок в зависимости от поврежденности

Категория технического состояния	Описание технического состояния	Относительная надежность $u = \gamma/\gamma_0$	Поврежденность $\varepsilon = 1 - u$	Стоимость ремонта $C, \%$	Категория технического состояния подкрановых конструкций в соответствии с [9]	Физический износ, % Φ_1
1	Нормальное – исправное состояние	0,98	0,03	0	В	0-8
2	Удовлетворительное – работоспособное состояние.	0,95	0,05	0–11	Б	8-30
3	Не совсем удовлетворительное.	0,85	0,15	12–36	Б	30-50
4	Неудовлетворительное. Неработоспособное состояние.	0,75	0,25	37–90	А	50-70
5	Аварийное состояние.	0,65	0,35	91–130	А	Свыше 70

Таблица 2

Результаты расчета остаточного ресурса поврежденных подкрановых конструкций в зависимости от срока эксплуатации

Поврежденность	Относительная надежность	Срок эксплуатации t_{ϕ} в годах	Постоянная физического износа	Остаточный срок службы до капитального ремонта	Остаточный ресурс
0,0450	0,955	15	0,003070	52,12	37,12
0,0400	0,96	12	0,003402	47,03	35,03
0,0500	0,95	12	0,004274	37,43	25,43
0,1300	0,87	29	0,004802	33,32	4,32
0,1210	0,879	35	0,003685	43,42	8,42
0,0357	0,9643	12	0,003029	52,82	40,82
0,1270	0,873	29	0,004683	34,16	5,16
0,0405	0,9595	13	0,003180	50,31	37,31
0,0460	0,954	13	0,003622	44,17	31,17
0,0300	0,97	11	0,002769	57,78	46,78
0,0700	0,93	16	0,004536	35,28	19,28
0,1060	0,894	44	0,002547	62,83	18,83
0,0250	0,975	6	0,004220	37,92	31,92
0,0333	0,9667	10	0,003387	47,24	37,24

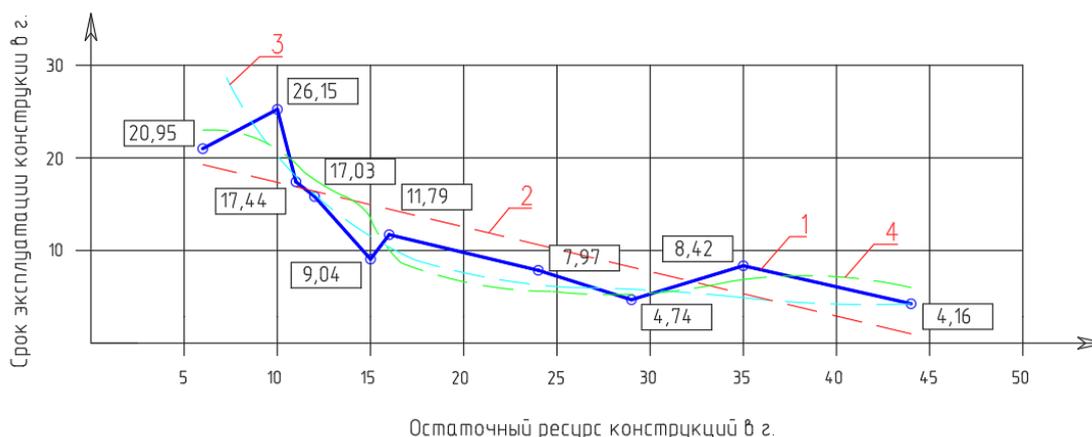


Рис. 4. Остаточный ресурс конструкций, в зависимости от физического износа: 1 – кривая остаточного ресурса; 2 – линейная фильтрация; 3 – степенная линия тренда; 4 – аппроксимирующая кривая остаточного ресурса

Выводы. Анализируя результаты проведенных исследований, можно сказать, о том, что методика прогнозирования остаточного ресурса металлических конструкций с учетом эксплуатационных повреждений и хронологического возраста на сегодняшний день внятно не сформулирована и полученные данные могут быть отправной точкой для дальнейших изысканий в этой области. Вместе с тем, изучение факторов физического износа металлических конструкций подкрановых балок с учетом длительности эксплуатации и определение степени поврежденности подкрановых балок в зависимости от характера эксплуатационных дефектов должны быть неотъемлемой частью при экспертизе промышленной безопасности на ОПО. На ряду с этим, расчет остаточного ресурса подкрановых балок целесообразно вести с учетом степени их поврежденности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Печёркин А.С., Красных Б.А. Научные проблемы определения ресурса и управления сроком безопасной эксплуатации промышленных объектов // Безопасность Труда в Промышленности, 2019. №4. С. 7–15.
2. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Печёркин А.С., Красных Б.А. Расчетно-экспериментальные подходы к анализу и обеспечению ресурса и срока безопасной эксплуатации промышленных объектов // Безопасность Труда в Промышленности. 2020. №1. С. 7–15.
3. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Изд-во стандартов, 2012. 30 с.
4. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», Приказ Ростехнадзора №420 от 20 октября 2020 г.
5. ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий. Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2007. 80 с.
6. Выдрин В.Н., Зубко О.В. Наиболее характерные дефекты и повреждения металлических эксплуатируемых подкрановых балок при проведении экспертизы промышленной безопасности // Символ науки. 2015. Ч.10-2. С.102-109.
7. СТО 22-05-04. Руководство по определению индивидуального ресурса стальных подкрановых балок с усталостными трещинами в стенках для допущения их временной эксплуатации. М.: ЗАО «ЦНИИПСК» им. Мельникова, 2004. 42 с.
8. СП13-102-2003.Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Минстрой России. 2016. 82 с.
9. ГОСТ 13377-75. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1975. 23 с.
- 10.ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2015. 22 с.
- 11.ГОСТ Р 53006-2008 Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2009. 10 с.
- 12.Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97г. № 116-ФЗ.
- 13.Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» от 14.11.2013 №538.
- 14.Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента Рос. Федерации от 6 мая 2018 г. №198.
- 15.РД 24-112-5Р Руководящий документ по оценке остаточного ресурса кранов мостового типа содержит указания по выполнению работ, направленных на оценку ресурса грузоподъемных кранов по критериям безопасности и работоспособности расчетных стальных конструкций: нормативно-технический материал. М.: Стандартиформ, 2002. 23 с.
- 16.РД 26.260.004-91 Руководящий документ по прогнозированию остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации: нормативно-технический материал. М.: Стандартиформ, 1991. 46 с.
- 17.Руководство по восстановительному ремонту подкрановых конструкций. М.: Укрнии-проектстальконструкция, 1991. 114 с.
- 18.РД 09-102-95 Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России. М.: Стройиздат, 2002. 55 с.
- 19.СА 03-006-06 Методические указания по проведению технического обслуживания, ремонта, обследования, анализа промышленной безопасности производственных зданий и сооружений предприятий, эксплуатирующих взрывопожароопасные и химически опасные объекты. НПК «Изотермик». 2008. 236 с.
- 20.Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам М.: Стандартиформ, 2001. 106 с.

21. Майстренко И.Ю., Валиуллин Д.А., Нардшина А.Р., Зиннуров Т.А., Майстренко А.Р. Оценка остаточного ресурса стальной конструкции, эксплуатируемой в агрессивной среде// Известия КГАСУ: стальные конструкции, здания и сооружения. 2016. №4. С. 208–216.

22. Белый Г.И. Причины снижения надежности и приближенная оценка ресурса стальных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений// Реконструкция Санкт-Петербурга: междунар. Науч.-практ. конф.: сб. докл. 2005. Ч.1. С. 70–73.

Информация об авторах

Маркеев Владислав Сергеевич, магистрант кафедры металлических конструкций, E-mail: markeevser@mail.ru. Липецкий государственный технический университет. Россия, 398055, Липецк, ул. Московская, д. 30.

Борков Павел Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций. E-mail: borkovpv@mail.ru. Липецкий государственный технический университет. Россия, 398055, Липецк, ул. Московская, д. 30.

Поступила 08.07.2021 г.

© Маркеев В.С., Борков П.В., 2021

Markeev V.S., Borkov P.V.
Lipetsk State Technical University

FORECASTING OF THE RESIDUAL LIFE OF METAL BEAMS SUB-CRANE OF INDUSTRIAL BUILDINGS OF LONG SERVICE LIFE

Abstract. *The article discusses the main reasons for the physical wear and tear of metal crane beams of industrial buildings at hazardous production facilities. The analysis of the existing methods for determining the physical wear and the residual life of various structures, as well as regulatory and technical documentation, regulating the issue of conducting inspections of structures and the appointment of the technical condition of structures is carried out. The analysis of characteristic defects and damages of welded crane beams and an analysis of their influence on the bearing capacity is made. The dependence of the amount of physical wear and tear on the duration of operation of crane girders has been investigated. A method is proposed for determining the physical wear and tear of individual structures on the basis of their effect on the bearing capacity of the structure and their operational characteristics, based on the existing methods for determining the physical wear of structures of non-industrial buildings. A method is proposed for determining the residual life of metal structures by the Poisson method, depending on the degree of physical wear and the duration of operation. The use of this technique provides more accurately approach the determination of the residual life of building structures when conducting an industrial safety examination. Based on these data, it is more reasonable to approach the reconstruction, strengthening or overhaul of existing structures, as well as their complete or partial replacement.*

Keywords: *industrial safety, residual life, physical wear, crane girder, damage, technical condition category.*

REFERENCES

1. Makhutov N.A. et al. Scientific problems of determining the resource and managing the period of safe operation of industrial facilities [Nauchnye problemy opredeleniya resursa i upravleniya srokom bezopasnoj ekspluatatsii promyshlennyh ob"ektov]. Labor Safety in Industry. 2019. No. 4. Pp. 7–15. (rus)
2. Makhutov N.A. et al. Computational and experimental approaches to the analysis and provision of the resource and the period of safe operation of industrial facilities [Raschetno-eksperimental'nye podhody k analizu i obespecheniyu resursa i sroka bezopasnoj ekspluatatsii promyshlennyh ob"ektov]. Labor Safety in Industry. 2020. No. 1. Pp. 7–15. (rus)
3. GOST 31937-2011 Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical con-

dition [Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya]. Date of introduction 2012-01-01. Instead of GOST R 1.8-2004. M.: Publishing House of standards, 2012. 30 p. (rus)

4. On the approval of federal norms and rules in the field of industrial safety "Rules for conducting industrial safety expertise" [Ob utverzhdenii federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila provedeniya ekspertizy promyshlennoj bezopasnosti»]. Rostekhnadzor Order No. 420 of October 20, 2020. (rus)

5. VSN 53-86(p) Rules for assessing the physical deterioration of residential buildings. Gosstroy of Russia. M.: FSUE TSPP, 2007. 80 p. (rus)

6. Vydrin V. N., Zubko O.V. The most characteristic defects and damages of metal crane beams

operated during the industrial safety examination [Naibolee harakternye defekty i povrezhdeniya metallicheskih ekspluatiruemykh podkranovykh balok pri provedenii ekspertizy promyshlennoj bezopasnosti]. A symbol of science. 2015. 10-2. Pp. 102–109. (rus)

7. STO 22-05-04. Manual for determining the individual resource of steel crane beams with fatigue cracks in the walls to allow their temporary operation [Rukovodstvo po opredeleniyu individual'nogo resursa stal'nykh podkranovykh balok s ustalostnymi treshchinami v stenkah dlya dopushcheniya ih vremennoj ekspluatatsii]. M.: CJSC "TsNIIPSK" named after Melnikov, 2004. 42 p. (rus)

8. SP13-102-2003. Rules for the inspection of load-bearing building structures of buildings and structures [Pravila obsledovaniya nesushchih stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij]. M.: Ministry of Construction of Russia, 2016. 82 p. (rus)

9. GOST 13377-75. Reliability in technology. Terms and definitions [Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya]. M.: Publishing house of standards, 1975. 23 p. (rus)

10. GOST 27.002-2015 Reliability in technical specifications (SSNT). Terms and definitions [Nadezhnost' v tekhnichke (SSNT). Terminy i opredeleniya]. M.: Standartinform, 2015. 22p. (rus)

11. GOST R 53006-2008 Resource assessment of potentially dangerous objects based on express methods. General requirements [Ocenka resursa potencial'no opasnykh ob"ektov na osnove ekspresmetodov. Obshchie trebovaniya]. M.: Standartinform, 2009. 10 p. (rus)

12. Federal Law "On Industrial Safety of hazardous production facilities" [Federal'nyj zakon «O promyshlennoj bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov»]. No. 116-FZ. (rus)

13. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Rules for conducting an industrial safety examination" [Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila provedeniya ekspertizy promyshlennoj bezopasnosti»]. dated 14.11.2013 No. 538 p. (rus)

14. On the fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of industrial safety for the period up to 2025 and further prospects [Ob osnovah gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti promyshlennoj bezopasnosti na period do 2025 goda i dal'nejshuyu perspektivu]. The Presidential decree grew. No. 198 p. (rus)

15. RD 24-112-5R of the Russian Federation dated May 6, 2018, The guidance document on the assessment of the residual life of bridge-type cranes contains instructions for performing work aimed at assessing the life of lifting cranes according to the criteria of safety and operability of design steel structures [Rukovodyashchij dokument po ocenke ostatochnogo resursa kranov mostovogo tipa sodержit ukazaniya po vypolneniyu rabot, napravlennykh na

ocenku resursa gruzopod"emnykh kranov po kriteriyam bezopasnosti i rabotosposobnosti raschetnykh stal'nykh konstrukcij: normativno-tekhnicheskij material]. normative and technical material. M.: 2002. 23 p. (rus)

16. RD 26.260.004-91 Guidance document on forecasting the residual life of equipment by changing the parameters of its technical condition during operation [Rukovodyashchij dokument po prognozirovaniyu ostatochnogo resursa oborudovaniya po izmeneniyu parametrov ego tekhnicheskogo sostoyaniya pri ekspluatatsii: normativno-tekhnicheskij material]. Normative and technical material. M.: 1991. 46 p. (rus)

17. Guide to the restoration repair of crane structures [Rukovodstvo po vosstanovitel'nomu remontu podkranovykh konstrukcij]. Ukniiproektstalconstruction. M.: 1991. 114 p. (rus)

18. RD 09-102-95 Methodological guidelines for determining the residual resource of potentially dangerous objects supervised by the Gosgortekhnadzor of Russia [Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu ostatochnogo resursa potencial'no opasnykh ob"ektov, podnadzornykh Gosgortekhnadzoru Ros-sii]. M.: Stroyizdat, 2002. 55 p. (rus)

19. CA 03-006-06 Methodological guidelines for carrying out maintenance, repair, inspection, analysis of industrial safety of industrial buildings and structures of enterprises operating explosion-and fire-hazardous and chemically hazardous objects [Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu tekhnicheskogo obsluzhivaniya, remonta, obsledovaniya, analiza promyshlennoj bezopasnosti proizvodstvennykh zdaniy i sooruzhenij predpriyatij, ekspluatiruyushchih vzryvopozharoopasnye i himicheski opasnye ob"ekty]. NPK "Izothermik" M.: 2008. 236 p. (rus)

20. Recommendations for assessing the reliability of building structures of buildings and structures by external signs [Rekomendacii po ocenke nadezhnosti stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam]. 2001. 106 p. (rus)

21. Maistrenko I.Y, Valiullin D.A, Nadrshina A.R., Zinnurov T.A, Maistrenko T.I.U. Assessment of the residual resource of a steel structure operated in an aggressive environment [Ocenka ostatochnogo resursa stal'noj konstrukcii, ekspluatiruemoj v agresivnoj srede]. Izvestiya KGASU: steel structures, buildings and structures. 2016. No. 4. Pp. 208–216. (rus)

22. Bely G.I. The reasons for the decrease in reliability and an approximate assessment of the resource of steel structures of operated buildings and structures [Prichiny snizheniya nadezhnosti i priblizhennaya ocenka resursa stal'nykh konstrukcij ekspluatiruemykh zdaniy i sooruzhenij]. Reconstruction of St. Petersburg: international. Scientific and practical conf.: sat.dokl, 2005. 1. Pp. 70–73. (rus)

Information about the authors

Markeev, Vladislav S. Master student. E-mail: markeevser@mail.ru. Lipetsk State Technical University. Russia, 398055, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30.

Borkov, Pavel V. PhD, Assistant professor. E-mail: borkovpv@mail.ru. Lipetsk State Technical University. Russia, 398055, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30.

Received 08.07.2021

Для цитирования:

Маркеев В.С., Борков П.В. Прогнозирование остаточного ресурса металлических подкрановых балок промышленных зданий длительного срока эксплуатации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 10. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-8-16

For citation:

Markeev V.S., Borkov P.V. Forecasting of the residual life of metal beams sub-crane of industrial buildings of long service life. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 10. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-8-16