

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КРАНОВ НА ОСНОВЕ КОНСТРУКЦИОННОГО РИСК-АНАЛИЗА

© 2021 Ю.А. Извеков

Магнитогорский технический университет имени Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

Статья поступила в редакцию 20.04.2021

В статье критически проанализированы стандарты оценки качества несущих конструкций специальных мостовых металлургических кранов. На современном этапе более 80% таких кранов эксплуатируются за пределами гарантийных сроков. Стандарты нацелены либо на конечное число циклов эксплуатации, либо на объекте невысокой сложности, в частности FMEA. Для оценки ресурса используется характеристическое число, обобщенный показатель несущей конструкции. Перспективным и рекомендованным на сегодняшний день является риск-анализ. Рассмотрен конструкционный риск-анализ как интегральный показатель оценки качества фактического технического состояния специального металлургического крана. Статья представляет собой продолжение серии по исследованию применения конструкционного риск-анализа для оценки качества конструкций металлургического предприятия. Приведены модели качества по следующим критериям риска: нормальный, предельно-допустимый, критический (катастрофический). Изучены крупнейшие катастрофические события металлургического предприятия на протяжении 70 лет. Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо критически оценить современное состояние стандартов и найти их совместные оптимальные параметры или выдвинуть новые требования для создания проекта нового стандарта оценки качества специальных металлургических кранов, эксплуатирующихся за пределами гарантийных сроков. Представлен алгоритм, который включает и уточняет современные стандарты, в том числе FMEA. Качество рассчитывается как функция, изменяющаяся во времени, обратно пропорциональна риску с учетом ущерба. Получены расчетные значения качества, которые позволяют связать количество отработанных циклов, действующие напряжения и деформации.

Ключевые слова: Стандарт, качество, конструкционный риск-анализ, FMEA, специальный металлургический кран, вероятность, ущерб.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-2-37-41

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время оценка качества конструкций металлургических кранов осуществляется по [1,2]. Специальные металлургические краны относятся к опасным производственным объектам [3,4], работающие в большинстве своем (в некоторых случаях более 80% от общей группы) за пределами гарантийных сроков эксплуатации. Требования же [5] унапрямую указывают на учет рисков, возникающих в процессе эксплуатации. Для специальных металлургических кранов предусмотрено два вида экспертного обследования [1] – промежуточное экспертное обследование (ПЭО) и генеральное экспертное обследование (ГЭО). Учитывая, что большинство таких кранов работают за пределами гарантии, оценке фактического технического состояния необходим углубленный анализ состояния несущих конструкций. Этот анализ должен позволять уточнять расчет остаточного ресурса и выдавать рекомендации по принятию решений – дальнейшей эксплуатации крана, или его ка-

питально-восстановительного ремонта, или его утилизации. Нужно решить задачу оценки качества специального металлургического крана по критериям риска.

Таким образом, назрела необходимость в изучении и уточнении, разработке новых стандартов оценки качества специальных металлургических кранов [6-8]. Эти стандарты, в том числе, должны оценивать качество таких объектов (систем) как функцию от их надежной, безопасной и экономически эффективной эксплуатации. Настоящее состояние оценки качества опасных производственных объектов металлургической отрасли не содержит единую научно-методическую базу, поэтому статья представляется достаточно актуальной и своевременной.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выработка нормативного срока службы по [1] оценивается по текущему значению характеристического числа H_{Φ} , которое определяется как произведение величины расчетного коэффициента нагружения K_p числа циклов работы крана за срок эксплуатации C_T (1):

Извеков Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информатики. E-mail: yurij.izvekov@mail.ru

$$H_{\Phi} = K_p C_T. \quad (1)$$

Но, как было сказано выше, большая часть группировки таких кранов уже давно перешла число допустимых рабочих циклов и такая методика должна быть либо уточнена, либо существенно быть доработана. Кроме этого, должны быть дополнены основные виды работ при обследовании специальных кранов.

Стандарт [2] распространяется на краны мостового типа и устанавливает рекомендуемые основные положения их расчета с целью обеспечения надежности при эксплуатации. Результаты расчетов должны обеспечивать сохранение несущей способности крана и его элементов. Здесь используются методы предельных состояний в детерминированной форме для металлических конструкций и допускаемых напряжений – для механизмов. Вместе с тем, в пункте 2.2 [2] при наличии необходимых исходных данных допускается для расчета кранов и их элементов применять вероятностные методы [7-12]. В этом случае за предельное напряжение принимают нормативные значения предела прочности, предела текучести или предела выносливости. В [2] рекомендуется металлические конструкции рассчитывать по методу предельных состояний:

- по исчерпанию конструкцией несущей способности;

- по достижению условий, нарушающих нормальную эксплуатацию.

Говоря о металлоконструкции крана, необходимым выглядит достижение состояния, при котором дальнейшее увеличение нагрузок приведет к переходу конструкции или его элемента в изменяемую систему (например, достижения напряжениями в определенных зонах сечения предела текучести). Расчетная зависимость первого предельного состояния имеет вид (2):

$$Y_n F(q_n, Y_f) \leq S(\Phi, R_n, Y_m, Y_d), \quad (2)$$

где Y_n – коэффициент надежности по назначению крана или элемента конструкции;

F – обобщенное расчетное усилие для соответствующего сочетания нагрузок;

q_n – нормативная нагрузка;

Y_f – коэффициент надежности по нагрузке;

S – обобщенная несущая способность конструкции или ее элемента;

Φ – геометрический фактор, характеризующий зависимость между действующей нагрузкой и напряженным состоянием конструкции;

R_n – нормативное сопротивление материала;

Y_m – коэффициент надежности по материалу;

Y_d – коэффициент условий работы.

Анализируя (2) и современное состояние эксплуатирующихся кранов в металлургической отрасли, можно сделать вывод о неоднозначности такого подхода в этом стандарте.

Оценить возможные угрозы и уязвимости, а также проанализировать потенциальные дефекты позволяет анализ FMEA (Failure Mode and Effects Analysis, анализ видов и последствий отказов) [13-19]. FMEA имеет достаточно широкое применение на машиностроительных предприятиях. Однако, как представляется, даже этот метод не лишен некоторых недостатков. К ним можно отнести не слишком высокая достоверность результатов при эксплуатации, то есть с какой-либо наработкой, потому как он изначально разработан для элементов при проектировании и производстве. Второе – FMEA более всего подходит для элементов не высокой сложности. Третье – в обозначенных стандартах прямо написано, что при высокой сложности оборудование FMEA должен применяться в совокупности с другими методами.

Таким образом, современное состояние оценки качества по критериям риска не отвечает заявленным требованиям эксплуатируемого оборудования и требует новых подходов. Одним из таких подходов является вероятностный конструкционный риск-анализ [6-8,10-12]. Оценка качества будет представлять собой функцию, изменяющуюся во времени $K(t)$, обратную риску $R(t)$ (3):

$$K(t) = \frac{1}{R(t)}. \quad (3)$$

Риск $R(t)$ представляет собой произведение вероятности $P(t)$ возникновения аварийной или другой ситуации на ущерб $U(t)$. Если (3) записать для сложной системы, состоящей из нескольких элементов, то она примет следующий вид (4):

$$K(t) = \frac{1}{R(t)} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_i(t) * U_i(t)} \geq [K(t)]. \quad (4)$$

Здесь $[K(t)]$ – допускаемое качество объекта, которое связано с экономическими затратами и их эффективностью, которые показывают ущерб аварийных ситуаций и будут направлены на их устранение. Качество будет обусловлено функцией риска со следующей классификацией: нормальный риск, допускаемый риск, критический риск. Тогда, с учетом характеристического числа H_{Φ} , S несущей способности конструкции и некоторых положений FMEA можно будет оценить качество конструкции. При этом качество будет являться безразмерной величиной или величиной, обратной денежным единицам, выраженной в баллах или единицах. Значения вероятности аварий можно получить на основании статистических данных, но в настоящее время это является проблематичным, поэтому они могут быть получены некоторыми расчетными методами [6-12] или методом имитационного моделирования. Значения экономических показателей принимаются в условных денежных единицах.

Изучив катастрофические события на ПАО (Публичное акционерное общество) ММК (Маг-

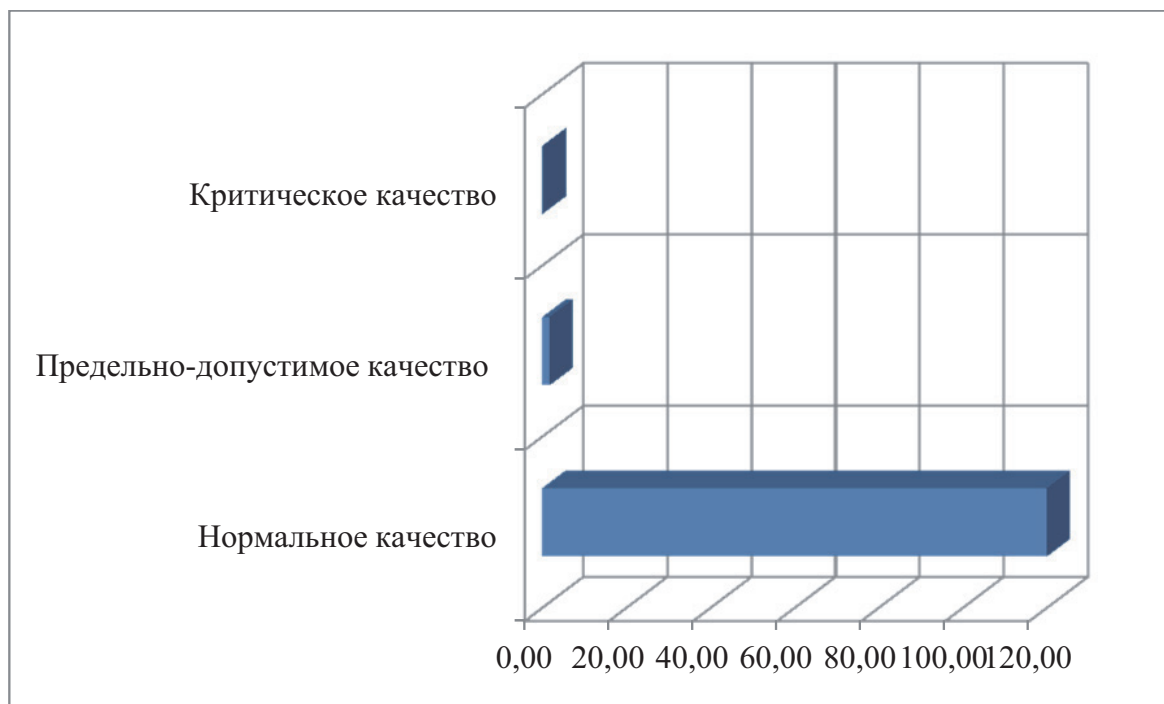


Рис. 1. Нормирование качества мостового металлургического крана ККЦ ПАО ММК (по горизонтали качество в условных единицах)

нитогорский металлургический комбинат) 1947, 1967, 1987 и 2008 годов: обрыв траверсы сталь-ковша, разлив металла, отрыв крюка, излом несущей конструкции, гибель людей, можно рассчитать риск как $(1/20)$ – один раз в 20 лет. Экономический ущерб не сопоставим, но выразив через условные денежные единицы, получим значение критического или катастрофического риска в этом случае $R_c(t) = 5000$ в условных единицах, тогда критическое качество $K_c(t) = 0,0002$ условных единиц в степени «минус 1».

Таким образом, для имеющейся группировки металлургических кранов в процессе эксплуатации и за пределами гарантийных сроков можно предложить следующий алгоритм оценки их качества по критериям риска:

- 1) анализ всей информации и документации по конструкции крана;
- 2) оперативная диагностика и экспертное обследование;
- 3) анализ механизмов деградации и эскалации повреждений;
- 4) оценка качества в баллах или условных единицах по критериям нормального риска, приемлемого риска, критического (катастрофического) риска;
- 5) принятие решение по крану: капитально-восстановительный ремонт, снижение рабочих параметров эксплуатации и дальнейшая эксплуатация, демонтаж или утилизация.

На основе ранее проведенных исследований [7, 8] с учетом экономической составляющей

удалось нормировать качество эксплуатирующегося мостового металлургического крана кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ПАО ММК следующим образом, изображенном на рисунке 1.

Нормальному качеству соответствует – 120 единиц и выше; предельно-допустимому – 1,7678; критическому (катастрофическому) – 0,0137.

Таким образом, на основе имеющегося нормирования можем определить текущее фактическое техническое состояние специального металлургического крана. Данные значения качества позволяют связать количество отработанных циклов, действующие напряжения и деформации ранее, построить таблицы для групп режимов, то есть это сделает возможным уточнение характеристического числа для оценки нормативного срока службы, оценки несущей способности конструкции и применения алгоритма оценки качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное состояние специального кранового хозяйства металлургических предприятий характеризуется его эксплуатацией в насыщенных тяжелых и сверхтяжелых режимах работы. Стандарты, которые используются при принятии решений об их дальнейшей эксплуатации неизбежны и недостаточны. Время требует их пересмотра, перехода на высокопроизводительные и высокоинформативные веро-

ятностные методы анализа. Одним из таких методов является конструкционный риск-анализ, который позволяет представить и нормировать качество несущих конструкций в простом виде и является удобным при проведении алгоритма его оценки.

Риск-анализ вписывается в сложившуюся картину эксплуатации исследуемых элементов, расчетные данные удовлетворительно сходятся с реальными, что говорит о его актуальности и правомерности такого подхода и, кроме этого, уточняет современные стандарты, а также может быть использован при разработке требований к новым стандартам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по обследованию специальных металлургических кранов РД 10-112-6-03. (Утв. ЗАО «Уральский экспертный центр» 15.05.2003). www.consultant.ru (дата обращения 05.03.2017).
2. ГОСТ 28609-90. Краны грузоподъемные. Основные положения расчета (с Поправкой). ИСС «ТЕХЭКСПЕРТ». 1992.
3. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. № 116-ФЗ.
4. Проектирование цехов сталеплавильного производства. Учебник / К.Н. Вдовин, В.Ф. Мысик, В.В. Точилкин, Н.А. Чиченев. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 505 с.
5. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (с Поправкой). -М.: Стандартинформ, 2015. - 53 с.
6. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х частях.// Ч.4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности / Научн. руковод. К.В. Фролов. – М.: МГОФ «Знание», 2007. – 864 с: илл.
7. Извеков Ю.А. Научные основы методологии оценки и повышения качества технических систем металлургического предприятия.// Сборник трудов V Международной научно-технической конференции Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖИВКОМ-2020) в дистанционном формате. Москва, 27-29 октября 2020 года./ Москва. ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова, 2020. С. 118-119.
8. Izvekov Yu.A. Quantative Evaluation Algorithm Technical System Reliability.// Scientific Works of the VI International Scientific Conference Fundamental Research and innovative Technologies in Mechanical Engineering. November 26-27, 2019./ Moscow. IMASH RAS A.A. Blagonravova, 2019.P. 195-196.
9. D.B. Hammad, N. Shafiq, M.F. Nuruddin. Criticality Index of Building Systems Using Multi-Criteria Decision Analysis Technique, MATEC Web of Conferences, EDP Sciences 15:01018 (2014).
10. H. Kumamoto, E.J. Henley. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists, IEEE Press, New York (1996).
11. Кузьмин Д. А., Кузьмичевский А. Ю. Метод расчета вероятности хрупкого разрушения оборудования АЭС в различных режимах эксплуатации с постулируемой дефектностью //Надежность и безопасность энергетики. – 2021. – Т. 14. – №. 1. – С. 34-39.
12. Скворцова Н. К., Филимонова Л. А., Андропова К. А. Риск ориентированный подход для обеспечения промышленной безопасности на предприятиях топливно-энергетического комплекса.// Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2021. – №. 1. – С. 65-74.
13. McDermott, Robin E.; Mikulak, Raymond J.; Beauregard Michael R. The Basics of FMEA. — Productivity Press, 1996. — 80 p. — ISBN 9780527763206.
14. Годлевский В. Е.; Дмитриев А. Я., Юнак Г. Л. Применение метода анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) на различных этапах жизненного цикла автомобильной продукции / Под ред. В.Я. Кокотова. — Самара: Перспектива, 2002. — 160 с. — ISBN 5-900031-74-8.
15. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство Перевод с английского четвертого издания от июня 2008 г.- Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2012. — 282 с. (двуязычное), ISBN 978-5-98366-042-7.
16. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов.
17. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
18. Г. Л. Юнак, В. Е. Годлевский. «Опыт проведения

различных видов FMEA и общее планирование FMEA автомобиля».

19. ГОСТ Р 51901.12-2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов.

THE STANDARDIZATION OF QUQLITY ASSESMENT OF SPECIAL METALLURGICAL CRANES BASED ON DESIGN RISK ANALYSIS

© 2021 Yu.A. Izvekov

Nosov Magnitogorsk State Technical University

The article critically analyzes the standards for assessing the quality of the supporting structures of special bridge metallurgical cranes. At the present stage, more than 80% of such cranes are operated outside the warranty period. The standards are aimed either at a finite number of operating cycles, or at objects of low complexity, in particular FMEA. To estimate the resource, the characteristic number, a generalized indicator of the supporting structure, is used. Risk analysis is a promising and recommended one today. The structural risk analysis is considered as an integral indicator for assessing the quality of the actual technical condition of a special metallurgical crane. The article is a continuation of a series on the study of the use of structural risk analysis for assessing the quality of structures of a metallurgical enterprise. Models of quality are given according to the following risk criteria: normal, maximum permissible, critical (catastrophic). The largest catastrophic events of a metallurgical enterprise have been studied for 70 years. The statement of the problem is formulated as follows: it is necessary to critically assess the current state of the standards and find their joint optimal parameters or put forward new requirements to create a draft of a new standard for assessing the quality of special metallurgical cranes operating outside the warranty period. An algorithm is presented that includes and refines modern standards, including FMEA. Quality is calculated as a function that changes over time, inversely proportional to the risk, taking into account the damage. The calculated values of the quality are obtained, which make it possible to relate the number of worked cycles, the acting stresses and deformations.

Keywords: Standard, quality, structural risk analysis, FMEA, special metallurgical crane, probability, damage.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-2-37-41