

УДК 621.87

ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАМЫ ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРЮКОВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КРАНА

Ритенман И.Л.¹, Ритенман В.И.², Блейшмидт Л.И.¹

¹ – ООО «Промбезопасность» (Брянск, Россия)

² – АО «МЕТАКЛЭЙ» (Карачев, Брянская область, Россия)

Приведено применение методики анализа видов и последствий отказов (FMEA-анализ) для оценки технического риска наступления аварийных ситуаций при эксплуатации рамы грузовой тележки мостового крюкового электрического крана. Методика позволяет выявить лимитирующие элементы и определить значимость последствий в конструкции рамы грузовой тележки, разработать мероприятия для снижения риска наступления аварийной ситуации.

Ключевые слова: промышленная безопасность, оценка рисков, FMEA-анализ, критичность, коэффициент приоритетного риска, диаграмма Парето, диаграмма Исикавы, вероятность наступления отказа, вероятность обнаружения отказа.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-56-70

Одной из задач при эксплуатации опасных производственных объектов является соблюдение норм и правил промышленной безопасности. Промышленная безопасность опасного производственного объекта – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий [5]. Требования к опасным производственным объектам устанавливаются Федеральным законом от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Для предотвращения или сведения к минимуму риска возникновения аварийных ситуаций проводится экспертиза промышленной безопасности технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте.

В настоящее время всё чаще встает вопрос оценки технического риска возникновения аварийных ситуаций. Риск – сочетание вероятности причинения вреда и последствий этого вреда для жизни или здоровья человека, имущества, окружающей среды, жизни или здоровья [5].

Одним из эффективных методов оценки технического риска является анализ видов и последствий отказов (FMEA-анализ) [1, 22]. FMEA-анализ – метод, позволяющий идентифицировать виды потенциальных отказов, оценить вероятность возникновения отказов и обеспечить меры по снижению риска.

В работе исследуется несущая металлоконструкция – рама, элемент грузовой те-

лежки электрического крюкового мостового крана (рис. 1), часто встречаемой при техническом диагностировании конструкции (рис. 2). Анализ вероятности возникновения отказов и обеспечения мер по снижению риска осуществляется, исходя из собранной об объекте информации: о технических характеристиках, диагностике возможных причин отказов специальными процедурами контроля, условий эксплуатации.

В качестве примера рассматривается рама грузовой тележки со следующими исходными параметрами:

- группа режима работы крана – А5 [24];
- класс использования U_3 при коэффициенте распределения нагрузки 1,0 [7];
- кран отработал нормативный срок службы в годах, эксплуатируется в помещении в условиях, которые соответствуют паспортным характеристикам;
- функционирование системы производственного контроля на подъёмных сооружениях опасного производственного объекта осуществляется в соответствии с нормативными документами;
- ежесменные и плановые осмотры, техническое обслуживание, текущие и капитальные ремонты проводятся в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации крана и нормативной документации.

Для проведения исследования объект представляется в виде функциональной блок-схемы. Функциональная блок-схема содержит [22]:

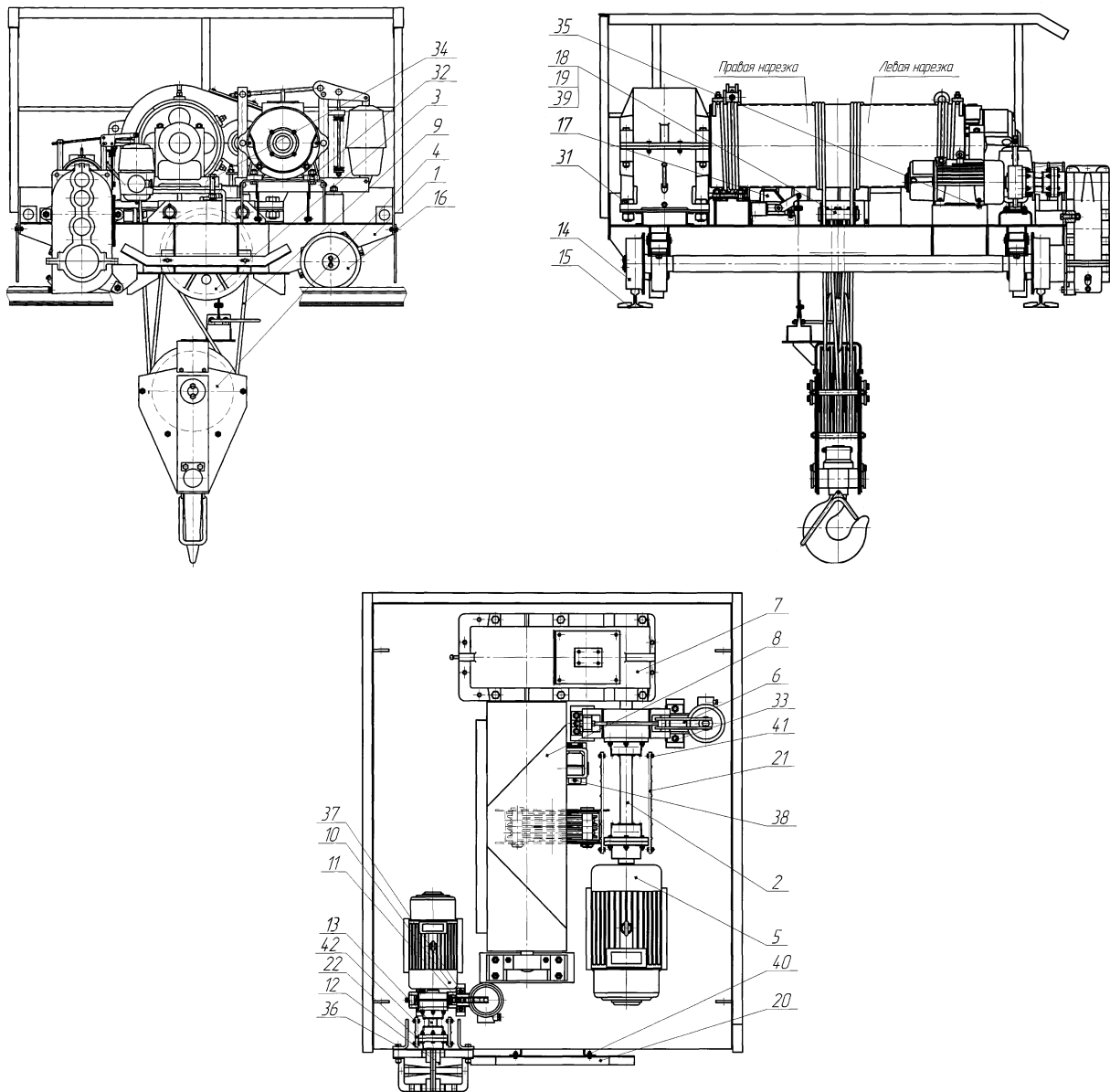


Рис. 1. Общий вид грузовой тележки крюкового электрического мостового крана:
 1 – рама грузовой тележки; 2 – промежуточный вал механизма подъёма; 3 – верхние блоки; 4 – крюковая подвеска; 5 – электродвигатель механизма подъёма; 6 – тормоз механизма подъёма; 7 – редуктор механизма подъёма; 8 – барабан; 9 – канат; 10 – электродвигатель механизма передвижения тележки; 11 – тормоз механизма передвижения тележки; 12 – редуктор механизма передвижения тележки; 13 – промежуточный вал механизма передвижения тележки; 14 – колёсная пара ведущая; 15 – рельс; 16 – колёсная пара ведомая; 17 – концевой выключатель; 18 – ось; 19 – шайба; 20 – линейка концевых выключателей; 21 – ограждение; 22 – ограждение; 31 – крепёжное соединение (редуктора механизма подъёма); 32 – крепёжное соединение (электродвигателя механизма подъёма); 33 – крепёжное соединение (тормоза механизма подъёма); 34 – крепёжное соединение (барабана); 35 – крепёжное соединение (электродвигателя механизма передвижения тележки); 36 – крепёжное соединение (редуктора механизма передвижения тележки); 37 – крепёжное соединение (тормоза механизма передвижения тележки); 38 – крепёжное соединение (концевого выключателя); 39 – шплинтовое соединение (фиксация оси); 40 – крепёжное соединение (линейки концевых выключателей); 41 – крепёжное соединение (ограждения приводного вала механизма подъёма); 42 – крепёжное соединение (ограждения приводного вала механизма передвижения тележки)

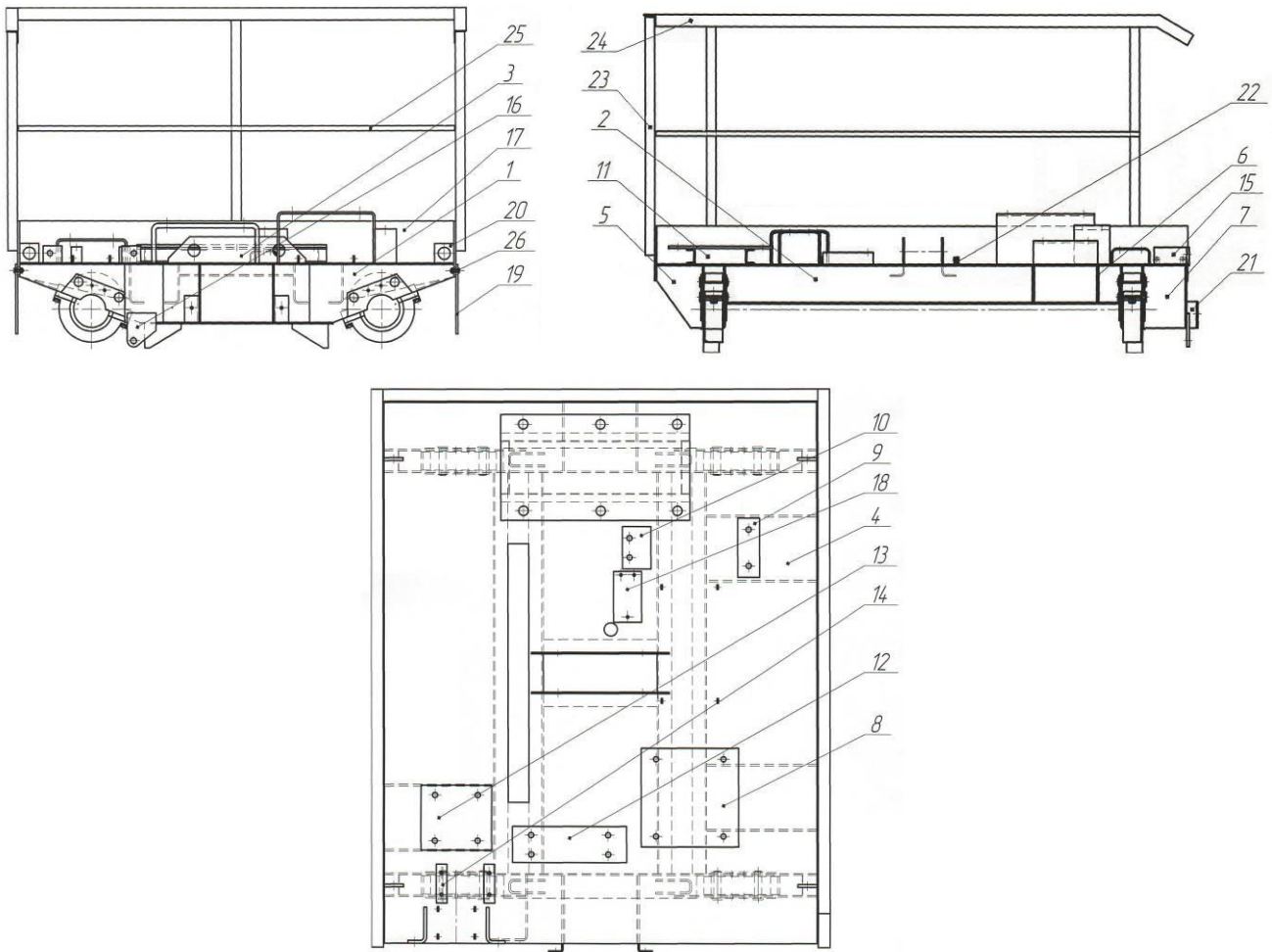


Рис. 2. Общий вид рамы грузовой тележки крюкового электрического мостового крана:
 1 – балка катковая; 2 – балка поперечная; 3 – балка верхних блоков; 4 – лист настила; 5 – ребро жёсткости; 6 – ребро жёсткости; 7 – ребро жёсткости; 8 – опора крепления электродвигателя механизма подъёма; 9 – кронштейн крепления тормоза механизма подъёма; 10 – кронштейн крепления тормоза механизма подъёма; 11 – опора крепления редуктора механизма подъёма; 12 – кронштейн крепления опоры барабана; 13 – опора крепления электродвигателя механизма передвижения тележки; 14 – кронштейн крепления тормоза механизма передвижения тележки; 15 – кронштейн крепления редуктора механизма передвижения тележки; 16 – проушина крепления редуктора механизма передвижения тележки; 17 – ограждение; 18 – кронштейн крепления концевого выключателя; 19 – щиток; 20 – проушина; 21 – кронштейн крепления отключающей линейки; 22 – проушина крепления ограждений; 23 – стойка; 24 – перила; 25 – поперечина; 26 – крепёжное соединение (щитка с ограждением)

а) декомпозицию объекта на основные блоки и при необходимости декомпозицию блоков на отдельные элементы, включая их функциональные взаимосвязи;

б) идентификационные номера;

в) все технические особенности, обеспечивающие защиту объекта от отказов (элементы, предохраняющие от схода грузовой тележки с рельсовых нитей, деформации металлоконструкций и обеспечивающие безопасность проведения работ по обслуживанию и ремонту).

Функциональная блок-схема рамы грузовой тележки электрического мостового крана состоит из блоков: А₁ – балка катковая; А₂ – балка поперечная; А₃ – балка верхних блоков; А₄ – лист настила; А₅ – ребро жёсткости; А₆ – кронштейн; А₇ – ребро жёсткости; А₈ – проушина; А₉ – ребро жёсткости; А₁₀ – ограждение, А₁₁ – крепёжное соединение (щитка с ограждением), А₁₂ – щиток, А₁₃ – проушина, А₁₄ – стойка, А₁₅ – перила, А₁₆ – поперечина, А₁₇ – опора, А₁₈ – кронштейн, А₁₉ – кронштейн, А₂₀ – опора, А₂₁ – крон-

штейн, A_{22} – опора, A_{23} – кронштейн, A_{24} – кронштейн, A_{25} – кронштейн, A_{26} – проушина.

Для связи между блоками используются следующие виды соединений: 2 – резьбовое; 3 – механическое; 7 – сварное.

На функциональной блок-схеме (рис. 3) показаны блоки рамы грузовой тележки электрического мостового крана (рис. 2). Каждый блок имеет наименование, индекс и количество, обозначение согласно рис. 2.

Блок A_1 целесообразно разложить на отдельные элементы.

Элемент – низшая ячейка функциональной схемы, состоящая из сборочной единицы

(крепёжного соединения) или детали.

Эскиз балки катковой (блок A_1) представлен на рис. 4.

Функциональная схема блока A_1 состоит из следующих элементов: $B_{1.1}$ – лонжерон; $B_{1.2}$ – стенка; $B_{1.3}$ – накладка; $B_{1.4}$ – упор; $B_{1.5}$ – перемычка.

Для связи между элементами используются следующие виды соединений: 7 – сварное.

На функциональной схеме (рис. 5) показаны элементы балки катковой (рис. 4). Каждый элемент имеет наименование, индекс и количество, обозначение согласно рис. 4.

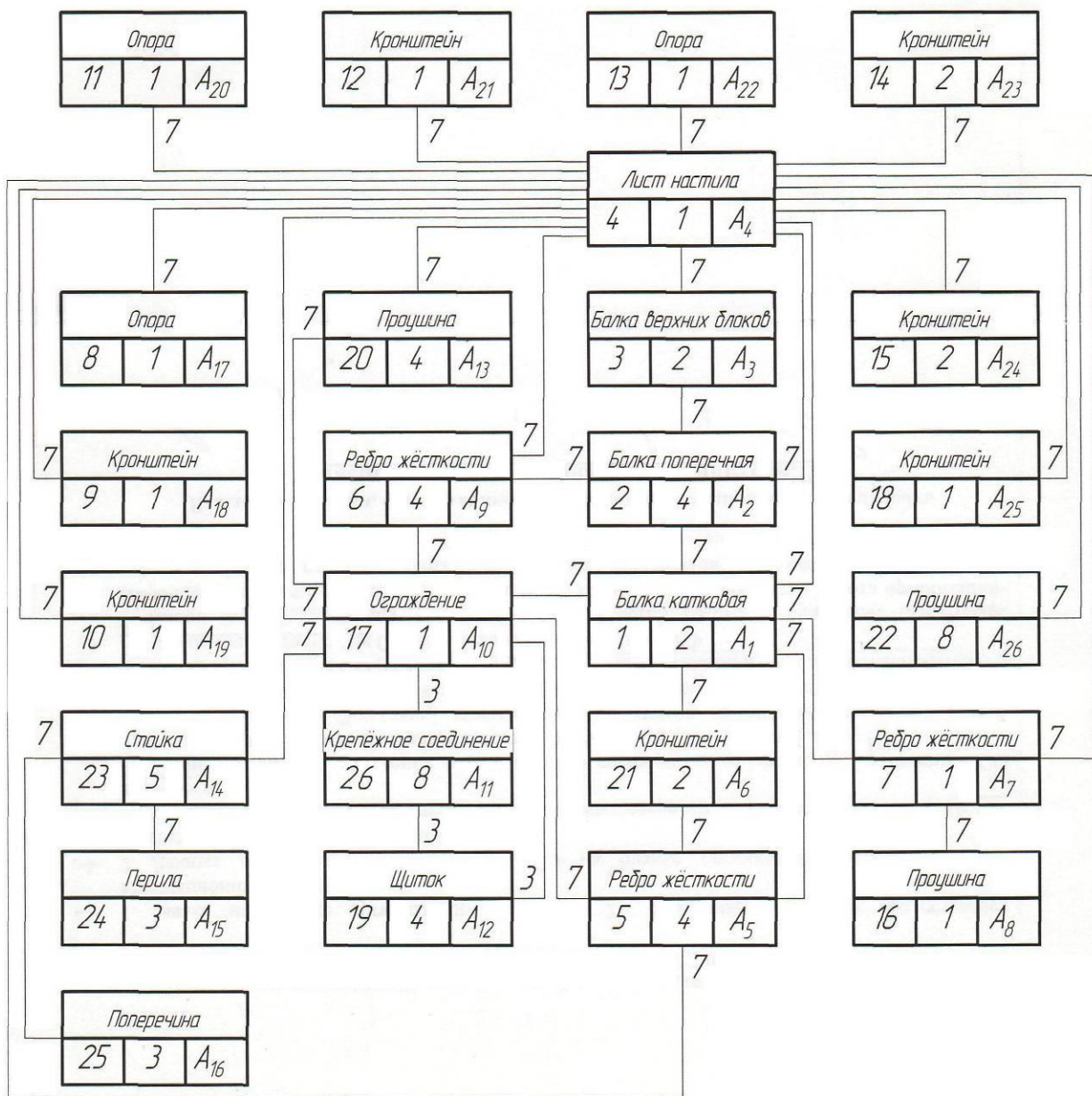


Рис. 3. Функциональная схема рамы грузовой тележки крюкового электрического мостового крана

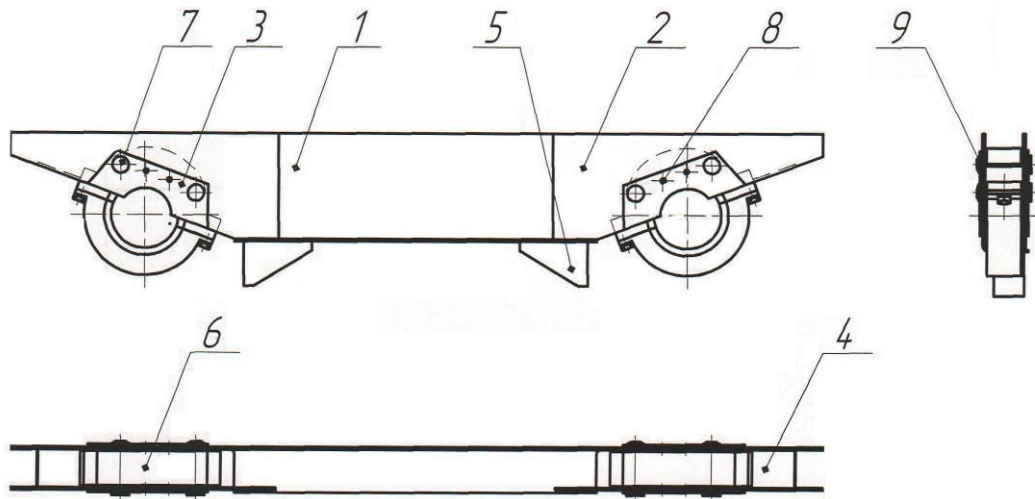


Рис. 4. Эскиз балки катковой:

1 – лонжерон; 2 – стенка; 3 – накладка; 4 – перемычка; 5 – упор; 6 – буска; 7 – палец; 8 – упор; 9 – шайба

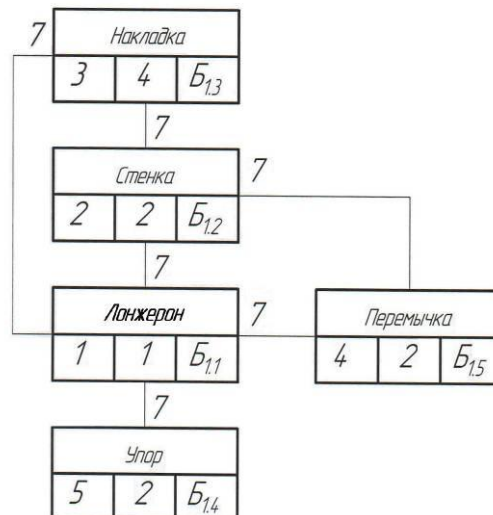


Рис. 5. Функциональная схема балки катковой – блок А₁

Успешное функционирование объекта зависит от функционирования критических блоков и элементов объекта. Для оценки функционирования объекта необходимо идентифицировать возможные причины отказов. Возможные причины отказов блоков и элементов рамы грузовой тележки крюкового электрического мостового крана на основе анализа функциональных и физических параметров приведены в табл. 1.

Критичность возможных причин отказов определялась экспертным методом. Для этого была опрошена группа экспертов в составе из 10 человек, специалистов в области стандартизации и метрологии, проектирования и эксплуатации грузоподъемных кранов,

имеющих многолетний опыт научной и или практической работы, базовое и или профильное образование.

Информация от экспертов была получена через опросный лист, который включал функциональные блок-схемы, а также три вопроса.

Вопрос 1 (ранг *S*): Вероятность диагностики возможных причин отказов в зависимости от специальных процедур контроля на подъемных сооружениях опасных производственных объектов?

Вопрос 2 (ранг *O*): Вероятность появления каждого вида потенциального отказа в зависимости от класса использования блоков и элементов объекта?

Таблица 1

Возможные причины отказов блоков и элементов рамы грузовой тележки крюкового электрического мостового крана

Индекс	Блок, элемент	Возможные причины отказов	Индекс отказа
Б _{1.1}	Лонжерон	– трещины	С ₁
		– деформация местная	С ₂
		– коррозия	С ₃
Б _{1.2}	Стенка	– трещины	С ₄
		– коррозия	С ₅
Б _{1.3}	Накладка	– трещины	С ₆
Б _{1.4}	Упор	– деформация	С ₇
Б _{1.5}	Перемычка	– трещины	С ₈
А ₂	Балка поперечная	– деформация	С ₉
		– трещины	С ₁₀
А ₃	Балка верхних блоков	– деформация	С ₁₁
А ₄	Лист настила	– деформация	С ₁₂
А ₅	Ребро жёсткости	– деформация	С ₁₃
А ₆	Кронштейн	– отсутствие элемента	С ₁₄
А ₇	Ребро жёсткости	– деформация	С ₁₅
А ₈	Проушина	– деформация	С ₁₆
А ₉	Ребро жёсткости	– деформация	С ₁₇
А ₁₀	Ограждение	– деформация местная	С ₁₈
А ₁₁	Крепёжное соединение	– отсутствие элемента	С ₁₉
		– дефект резьбы	С ₂₀
А ₁₂	Щиток	– отсутствие элемента	С ₂₁
		– деформация	С ₂₂
А ₁₃	Проушина	– деформация	С ₂₃
А ₁₄	Стойка	– отсутствие элемента	С ₂₄
А ₁₅	Перила	– отсутствие элемента	С ₂₅
А ₁₆	Поперечина	– отсутствие элемента	С ₂₆
А ₁₇	Опора	– деформация	С ₂₇
А ₁₈	Кронштейн	– деформация	С ₂₈
А ₁₉	Кронштейн	– деформация	С ₂₉
А ₂₀	Опора	– деформация	С ₃₀
А ₂₁	Кронштейн	– деформация	С ₃₁
А ₂₂	Опора	– деформация	С ₃₂
А ₂₃	Кронштейн	– деформация	С ₃₃
А ₂₄	Кронштейн	– трещины	С ₃₄
А ₂₅	Кронштейн	– деформация	С ₃₅
А ₂₆	Проушина	– отсутствие элемента	С ₃₆

Вопрос 3 (ранг *D*): Способ обнаружения отказа и средства, которые специалист применяет для обнаружения возможных причин отказов?

Бланк для ответов содержал информацию обо всех возможных причинах отказов блоков и элементов объекта и таблицы с критериями оценки по рангам *S*, *O*, *D*.

Критерии оценки диагностики возможных причин отказов специальными процедурами контроля на подъемных сооружениях опасных производственных объектов по рангу *S* приведены в табл. 2.

Критерии оценки вероятности появления каждого вида потенциального отказа от класса использования *T_i* (механизма техни-

Таблица 2

Критерии оценки диагностики возможных причин отказов

Значимость последствия	Уровень регламентных работ	Ранг (S)
Опасная без предупреждения	Разрушение элемента конструкции, находящегося в исправном или работоспособном состоянии без предупреждения	10
Опасная с предупреждением	Дефект, диагностирование которого возможно при капитально-восстановительном ремонте персоналом, занимающемся восстановлением работоспособности	9
Очень важная	Дефект, диагностирование которого возможно при привлечении специалистов специализированных организаций	8
Важная	Дефект, диагностирование которого возможно при плановом капитальном ремонте персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом	7
Умеренная	Дефект, диагностирование которого возможно при плановом текущем ремонте персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом	6
Слабая	Дефект, диагностирование которого возможно при плановом техническом обслуживании персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом	5
Очень слабая	Дефект, диагностирование которого возможно при плановом осмотре персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом	4
Незначительная	Дефект, диагностирование которого возможно при ежедневном осмотре персоналом, занимающемся эксплуатацией	3
Очень незначительная	Техническое устройство находится в работоспособном состоянии	2
Отсутствует	Техническое устройство находится в исправном состоянии	1

ческого устройства) или U_i (металлоконструкции) элементов объекта по рангу O приведены в табл. 3 и 4.

Критерии оценки вероятности появления каждого вида потенциального отказа от класса использования T_i (механизма технического устройства) или U_i (металлоконструкции) элементов объекта по рангу O приведены в табл. 3 и 4.

Под вероятностью появления каждого вида потенциального отказа понимается возможность его наступления, влияющее на функциональное предназначение технического устройства в зависимости от класса использования механизма (табл. 3) [7] и коэффициента использования элементов конструкции (табл. 4) [23].

Ранг класса использования элемента конструкции определяется по формуле:

- для элементов механизма технического устройства:

$$O_i = K_i T_i,$$

- для несущих элементов металлоконструкции технического устройства:

$$O_i = 0,5 K_i U_i,$$

где: O_i – продолжительность использования элемента конструкции в часах; K_i – коэффициент использования элемента конструкции; T_i – класс использования объекта в часах; U_i – класс использования объекта в циклах.

Критерии оценки по способу обнаружения отказа и средств, которые специалист применяет для обнаружения возможных причин отказов по рангу D , приведены в табл. 5. Возможностью обнаружения отказа – производительность, оперативность, безопасность, достоверность методов контроля, точность средств измерения, применяемых при оценке причин отказов [4].

Статистическая обработка ответов экспертов на вопросы опросного листа по рангам S , O , D выполняется с помощью следующего соотношения

Таблица 3

Критерии оценки вероятности появления потенциального отказа от класса использования T_i

Класс использования		Продолжительность использования		Ранг (O)
механизм	кран	час	цикл	
T ₀	-	200	-	13
T ₁	-	400	-	12
T ₂	-	800	-	11
T ₃	U ₀	1600	1,6×10 ⁴	10
T ₄	U ₁	3200	3,2×10 ⁴	9
T ₅	U ₂	6300	6,3×10 ⁴	8
T ₆	U ₃	12500	1,25×10 ⁵	7
T ₇	U ₄	25000	2,5×10 ⁵	6
T ₈	U ₅	50000	5,0×10 ⁵	5
T ₉	U ₆	100000	1,0×10 ⁶	4
-	U ₇	-	2,0×10 ⁶	3
-	U ₈	-	4,0×10 ⁶	2
-	U ₉	-	Более 4,0×10 ⁶	1

Таблица 4

Критерии оценки вероятности появления потенциального отказа от класса использования U_i

Детали	Срок службы, год	Коэффициент использования K_i
Тормозные колодки	0,1	0,01
Канаты	0,3	0,03
Зубчатые колёса	1,5	0,15
Подшипники качения	3	0,30
Валы редукторов	10	1
Металлоконструкции	20	2

Таблица 5

Критерии оценки по способу обнаружения отказа и средств

Полнота контроля, производительность, оперативность, безопасность и достоверность методов неразрушающего контроля, точность средств измерения	Ранг (D)
Разрушающие методы контроля	10
Магнитный и акустический методы контроля, полнота контроля 100%	9
Магнитный и акустический методы контроля, полнота контроля выборочная	8
Оптический и капиллярный методы контроля	7
Радиационный метод контроля	6
Радиоволновой и тепловой методы контроля	5
Визуальный и измерительный контроль, точность средств измерения до 1 мкм, полнота контроля 100 %	4
Визуальный 100% и выборочный измерительный контроль, точность средств измерения до 1 мкм	3
Визуальный 100% и выборочный измерительный контроль, точность средств измерения 1 мм	2
Визуальный контроль, полнота контроля 100%	1
Контроль не проводится из-за надёжности конструкции	0

$$y_{i.SOD}^{-\{k\}} = 0,1 \sum_{m=1}^{m=10} y_{i.SOD}^{\{k\}},$$

где: $y_{i.SOD}^{-\{k\}}$ - усреднённая оценка по рангам S, O, D , поставленная при ответе на k -й вопрос опросного листа экспертами; $y_{i.SOD}^{\{k\}}$ - количественная оценка по рангам S, O, D , поставленная m -м экспертом балла при ответе на k -й вопрос опросного листа.

Статистическая обработка ответов экс-

пертов на вопросы опросного листа по рангам S, O, D приведена в табл. 6.

Количественная оценка критичности возможных причин отказов блоков и элементов объекта, коэффициент приоритетного риска), определяется произведением рангов S, O, D и нормируется от 1 до 1300. Результаты количественной оценки критичности блоков и элементов объекта приведены в табл. 6.

Таблица 6

Количественная оценка критичности возможных причин отказов блоков и элементов объекта

Индекс	Блок, элемент	Возможные причины отказов	Индекс отказа	Ранги			КПР	
				(S)	(O)	(D)	Кол.	Сумма
Б _{1.1}	Лонжерон	– трещины	C ₁	8	7	8	448	966
		– деформация местная	C ₂	5	7	2	70	
		– коррозия	C ₃	8	7	8	448	
Б _{1.2}	Стенка	– трещины	C ₄	8	7	8	448	896
		– коррозия	C ₅	8	7	8	448	
Б _{1.3}	Накладка	– трещины	C ₆	8	7	7	392	392
Б _{1.4}	Упор	– деформация	C ₇	5	7	2	70	70
Б _{1.5}	Перемышка	– трещины	C ₈	5	7	0	0	0
А ₂	Балка поперечная	– деформация	C ₉	5	7	2	70	518
		– трещины	C ₁₀	8	7	8	448	
А ₃	Балка верхних блоков	– деформация	C ₁₁	5	7	0	0	0
А ₄	Лист настила	– деформация	C ₁₂	5	7	0	0	0
А ₅	Ребро жёсткости	– деформация	C ₁₃	5	7	0	0	0
А ₆	Кронштейн	– отсутствие элемента	C ₁₄	3	7	0	0	0
А ₇	Ребро жёсткости	– деформация	C ₁₅	5	7	0	0	0
А ₈	Проушина	– деформация	C ₁₆	5	7	0	0	0
А ₉	Ребро жёсткости	– деформация	C ₁₇	5	7	0	0	0
А ₁₀	Ограждение	– деформация местная	C ₁₈	3	7	2	42	42
А ₁₁	Крепёжное соединение	– отсутствие элемента	C ₁₉	3	7	1	21	63
		– дефект резьбы	C ₂₀	6	7	1	42	
А ₁₂	Щиток	– отсутствие элемента	C ₂₁	3	7	1	21	42
		– деформация	C ₂₂	3	7	1	21	
А ₁₃	Проушина	– деформация	C ₂₃	5	7	0	0	0
А ₁₄	Стойка	– отсутствие элемента	C ₂₄	3	7	0	0	0
А ₁₅	Перила	– отсутствие элемента	C ₂₅	3	7	0	0	0
А ₁₆	Поперечина	– отсутствие элемента	C ₂₆	3	7	0	0	0
А ₁₇	Опора	– деформация	C ₂₇	3	7	0	0	0
А ₁₈	Кронштейн	– деформация	C ₂₈	3	7	0	0	0
А ₁₉	Кронштейн	– деформация	C ₂₉	3	7	0	0	0
А ₂₀	Опора	– деформация	C ₃₀	3	7	0	0	0

Окончание табл. 6

Индекс	Блок, элемент	Возможные причины отказов	Индекс отказа	Ранги			КПР	
				(S)	(O)	(D)	Кол.	Сумма
A ₂₁	Кронштейн	– деформация	C ₃₁	3	7	0	0	0
A ₂₂	Опора	– деформация	C ₃₂	3	7	0	0	0
A ₂₃	Кронштейн	– деформация	C ₃₃	3	7	0	0	0
A ₂₄	Кронштейн	– трещины	C ₃₄	5	7	2	70	70
A ₂₅	Кронштейн	– деформация	C ₃₅	3	7	0	0	0
A ₂₆	Проушина	– отсутствие элемента	C ₃₆	3	7	0	0	0

Для определения количества лимитирующих блоков и элементов, входящих в область риска, строится диаграмма Парето [1]. Для этого ранжируются значения коэффициента приоритетного риска в порядке убывания (табл. 7), начиная с коэффициента приоритетного риска «лонжерон» и заканчивая «щиток», и подсчитывается общее значение коэффициента приоритетного риска для каждого блока или элемента. В графе «накоп-

ленный итог, сумма» к предыдущему значению коэффициента приоритетного риска прибавляем последующее. В следующей графе вычисляем процент каждого значения коэффициента приоритетного риска от их общего значения и подсчитаем общее количество процентов. Последнюю графу заполняем по аналогии с графой «накопленный итог, сумма».

Таблица 7

Результаты ранжирования коэффициента приоритетного риска

Индекс	Блок, элемент	Возможные отказы	КПР		Доля %	Накопленный итог	
			Кол.	Сумма		Сумма	%
B _{1.1}	Лонжерон	– трещины	448	966	31,58	966	31,58
		– деформация местная	70				
		– коррозия	448				
B _{1.2}	Стенка	– трещины	448	896	29,29	1862	60,87
		– коррозия	448				
A ₂	Балка поперечная	– деформация	70	518	16,93	2380	77,8
		– трещины	448				
B _{1.3}	Накладка	– трещины	392	392	12,81	2772	90,61
B _{1.4}	Упор	– деформация	70	70	2,29	2842	92,9
A ₂₄	Кронштейн	– трещины	70	70	2,29	2912	95,19
A ₁₁	Крепёжное соединение	– отсутствие элемента	21	63	2,07	2975	97,26
		– дефект резьбы	42				
A ₁₀	Ограждение	– деформация местная	42	42	1,37	3017	98,63
A ₁₂	Щиток	– отсутствие элемента	21	42	1,37	3059	100
		– деформация	21				

Для построения диаграммы Парето (рис. 6) на оси абсцисс откладываем блоки и элементы конструкции, обозначая их индексами, а на оси ординат – значение коэффициента приоритетного риска.

Далее строим столбчатую диаграмму, где каждому блоку или элементу объекта соответствует свой столбец, вертикальная сторона которого равна значению коэффициента приоритетного риска. Блоки и элементы от-

кладываются в порядке убывания их коэффициента приоритетного риска. Если при построении диаграммы ряд столбцов имеют одинаковую высоту, то это означает их одинаковый «вклад в образование риска возникновения отказа» рамы грузовой тележки мостового крюкового электрического крана.

На правой стороне графика по оси ординат откладываем значения кумулятивного процента и вычерчиваем кривую кумулятив-

ной суммы. Данная кривая носит название кривой Парето, она отражает в общем случае накопленное влияние всех причин потенциальных отказов блоков и элементов в конструкции рамы грузовой тележки мостового крюкового электрического крана.

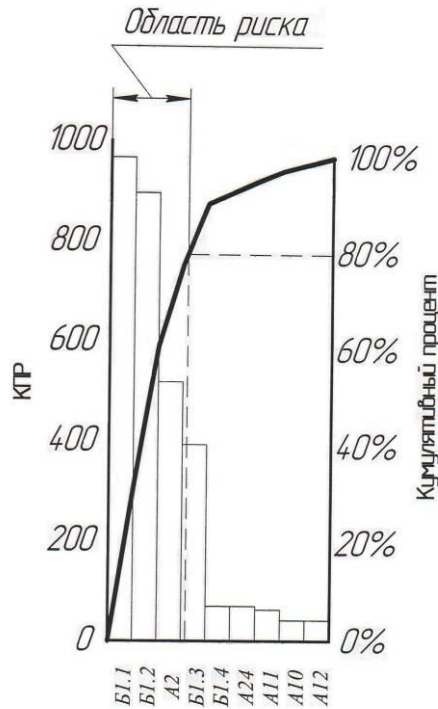


Рис. 6. Диаграмма Парето рамы грузовой тележки мостового крана

Далее на уровне 80 % проводим горизонтальную линию до пересечения с кумулятивной кривой и из точки пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось. В итоге получаем две области потенциальных отказов. Те отказы, которые расположены слева от перпендикуляра, являются значимыми, а отказы, расположенные справа, являются не значимыми.

Из построенной диаграммы Парето (рис. 9) видно, что в области риска оказались элементы конструкции, как:

Б1.1	Лонжерон	–	31,58%
Б1.2	Стенка	–	29,29%
А ₂	Балка поперечная	–	16,93%

Для установления причинно-следственных связей между объектом и влияющих на него факторов строится диаграмма Исикавы [1] для блоков и элементов объекта, попавших в область риска (рис. 7).

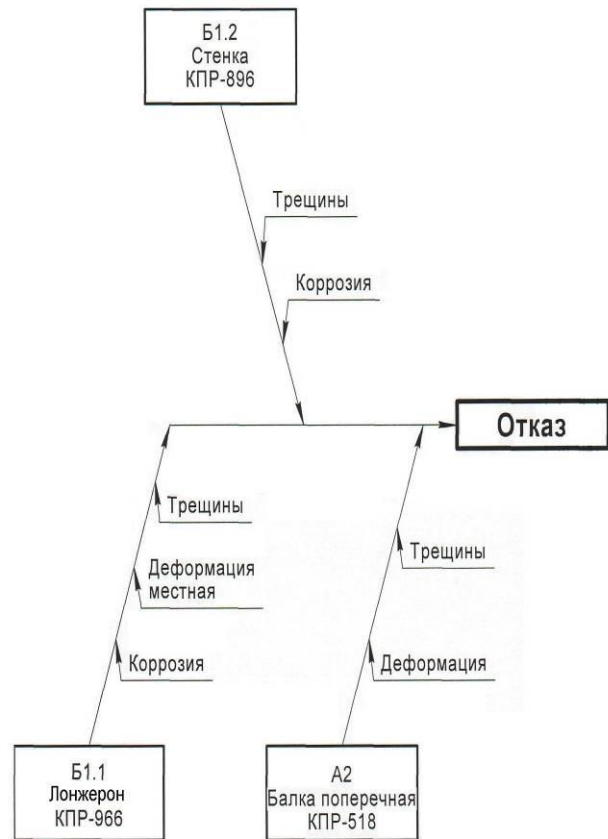


Рис. 7. Диаграмма Исикавы для элементов рамы грузовой тележки мостового крана, оказавшихся в зоне риска

Анализируя причинно-следственную диаграмму (рис. 7), можно сделать вывод, что наибольший риск возникновения потенциальных отказов имеет лонжерон. Этот факт подтверждается значением коэффициента приоритетного риска – 966. По сравнению с остальными рисками потенциальных отказов блоков и элементов объекта: стенка – 896, балка поперечная – 518. Возможные причины отказов блоков и элементов объекта из области риска и значимость последствий приведены в табл. 8.

Выводы.

Лимитирующими элементами, а также очень важными (по значимости последствия) в конструкции рамы грузовой тележки крюкового электрического мостового крана являются: лонжерон, стенка, балка поперечная.

Несоблюдение паспортных режимов работы и условий эксплуатации, невыполнение требований нормативной документации по диагностике возможных причин отказов специальными процедурами контроля, применение неэффективных методов неразру-

шающего контроля и средств измерения может приводить к увеличению числа лимитирующих элементов и увеличению риска возникновения потенциальных отказов.

Таблица 8

Возможные причины отказов блоков и элементов объекта и значимость их последствий

Элемент конструкции	Возможные отказы	Значимость последствия
Лонжерон	трещины	Очень важная
	деформация местная	Слабая
	коррозия	Очень важная
Стенка	трещины	Очень важная
	коррозия	Очень важная
Балка поперечная	деформация	Слабая
	трещины	Очень важная

Таким образом, для уменьшения риска возникновения потенциальных отказов необходимо:

- 1) соблюдать паспортный режим работы подъемного сооружения и условия эксплуатации;
- 2) проводить диагностику возможных причин отказов специальными процедурами контроля;
- 3) применять эффективные методы неразрушающего контроля и средства измерения.

Представленный в данной работе FMEA-анализ позволяет выполнить оценку критичности и тяжести последствий элементов конструкции в процессе эксплуатации технического устройства в условиях получения необходимой информации о величине слагаемых риска – вероятности возникновения отказов вследствие проявления тех или иных характерных дефектов металлоконструкции, механизмов движения [25, 26], систем энергообеспечения и безопасности в зависимости от диагностики возможных причин отказов специальными процедурами контроля, продолжительности использования элементов конструкции, методов и средств измерения.

Достоверность оценки технического рис-

ка может быть достигнута на основании анализа конструкции, режима работы, эксплуатационной документации, организации работы по техническому обслуживанию и ремонту на основе экспертных оценок технического состояния обследованных машин и промышленной безопасности на подъемных сооружениях опасных производственных объектов.

Список литературы

1. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA: справ. рук. / «Крайслер корпорэйшн», «Форд мотор компани», «Дженерал моторс корпорэйшн». – Н. Новгород: НИЦ КД; Приоритет, 1997. – 67 с.
2. Исикава, К. Японские методы управления качеством. – М.: Экономика, 1988. – 216 с.
3. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
4. Каневский, И.Н. Неразрушающие методы контроля / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
5. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
6. Постановление Правительства РФ от 10.03.1999 № 263 «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте».
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения».
8. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности».
9. РД 10-112-1-04 «Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Общие положения».
10. РД 10-112-5-97 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 5. Краны мостовые и козловые».

11. РД 03-606-03 «Инструкция по визуальному и измерительному контролю».
12. РД 03-348-00 «Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения».
13. РД 13-05-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения магнитопорошкового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».
14. РД 13-06-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».
15. РД 13-04-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».
16. РД 13-03-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения вихретокового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».
17. РД РОСЭК-001-96 «Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Контроль ультразвуковой. Основные положения».
18. РД РОСЭК-006-97 «Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Толщинометрия ультразвуковая. Основные положения».
19. РД 10-197-98 «Инструкция по оценке технического состояния болтовых и заклепочных соединений грузоподъемных кранов».
20. ИСО 4301/1-86 «Краны грузоподъемные классификация».
21. ГОСТ 25835-83 «Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы».
22. ГОСТ Р 51901.12-2007 «Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов».
23. Гилев, А.В. *Металлургические подъемно-транспортные машины* / А.В. Гилев, А.А. Анушенков, А.Ю. Стовманенко, А.О. Шигин. – Красноярск: СФУ, 2008. - 252 с.
24. ГОСТ 25546-82 «Краны грузоподъемные. Режимы работы».
25. Ритенман, И.Л. *Вероятность возникновения отказов при эксплуатации механизма подъема мостового крюкового электрического крана* / И.Л. Ритенман, В.И. Ритенман, Л.И. Блейшмидт // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - №3. – С. 303-332.
26. Ритенман, И.Л. *Вероятность возникновения отказов при эксплуатации механизма передвижения грузовой тележки мостового крюкового электрического крана* / И.Л. Ритенман, В.И. Ритенман, Л.И. Блейшмидт // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №4. – С. 426-446.

Сведения об авторах

Ритенман Илья Леонидович – эксперт в области промышленной безопасности, технический директор ООО «Промбезопасность», ritenman@mail.ru.

Ритенман Владислав Ильич – инженер-метролог АО «МЕТАКЛЭЙ», vlad.ritenman@mail.ru.

Блейшмидт Леонид Израйлович – кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора ООО «Промбезопасность», lblshdt@rambler.ru.

THE LIKELIHOOD OF FAILURES IN THE OPERATION OF THE MECHANISM OF MOVEMENT OF A CARGO TRUCK ELECTRICAL HOOK BRIDGE CRANE

Ritenman I.L.¹, Ritenman V.I.², Bleyshmidt L.I.¹

¹ - ООО «Prombezopasnost» (Bryansk, Russia)

² - JSC "METACLAY" (Karachev, Bryansk oblast, Russia)

Given the application of the methods of analysis of types and consequences of failures (FMEA analysis) to assess the technical risk of occurrence of emergency situations during the operation of the lifting mechanism electrical hook bridge crane. The technique allows to identify the limiting elements and to determine the significance of effects in the design of the lifting mechanism, to develop measures to reduce the risk of the occurrence of an emergency.

Key words: *industrial safety, risk assessment, FMEA analysis, criticality, risk priority coefficient, Pareto chart, Ishikawa diagram, the probability of failure detection probability of failure.*

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-56-70

References

1. Analysis of the types and consequences of potential failures. FMEA / "Chrysler Corporation, Ford motor company, General motors Corporation". N. Novgorod, KD, Priority, 1997. 67 p. (In Russian)
2. Ishikawa K. Japanese quality management methods. Moscow, Economics, 1988. 216 p. (In Russian)
3. Aleksandrov M.P. Lifting machines. Moscow, MGTU imeni N.E. Baumana, Vysshaya shkola, 2000. 552 p. (In Russian)
4. Kanevsky I.N., Salnikova E.N. Non-destructive methods of control. Vladivostok, DVG TU, 2007. 243 p. (In Russian)
5. Federal law of 21.07.1997 № 116-FZ "On industrial safety of hazardous production facilities". (In Russian)
6. The decree of the RF Government dated 10.03.1999 N 263 "On the organization and implementation of production control over observance of industrial safety requirements at hazardous production facilities". (In Russian)
7. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for hazardous production facilities which are used elevating constructions". (In Russian)
8. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Rules of carrying out of examination of industrial safety". (In Russian)
9. RD 10-112-1-04 "Guidelines for expert inspection of lifting machines. General provisions". (In Russian)
10. RD 10-112-5-97 "Guidelines for examination of lifting equipment with expired service life. Part 5. Cranes, overhead travelling and gantry". (In Russian)
11. RD 03-03-606 "Instruction on visual and measuring inspection". (In Russian)
12. RD 03-348-00 "Methodical guidelines for magnetic inspection of steel ropes. The main provisions". (In Russian)
13. RD 13-05-2006 "Methodological recommendations on the procedure for magnetic particle inspection of technical devices and structures applied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)
14. RD 13-06-2006 "guidelines on procedures for conducting liquid penetrant inspection of technical devices and structures applied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)
15. RD 13-04-2006 "Methodological recommendations on the procedure for thermal inspection of technical devices and structures applied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)
16. RD 13-03-2006 "Methodological recommendations on the procedure for conducting eddy current testing of technical devices and structures applied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)
17. RD ROSEK-001-96 "Machine lifting. Metal construction. The control of ultrasound. General provisions". (In Russian)
18. RD ROSEK-006-97 "Machine lifting. Metal construction. Ultrasonic thickness measurement. General provisions". (In Russian)
19. RD 10-197-98 "Guidelines for evaluation of technical condition of bolted and riveted joints of cranes". (In Russian)

20. ISO 4301/1-86 "Cranes classification". (In Russian)

21. GOST 25835-83 "Cranes. Classification of mechanisms modes". (In Russian)

22. GOST R 51901.12-2007 "Management of risk. The method of analysis of types and consequences of failures". (In Russian)

23. Gilev A.V., Anushenkov, A., Stovbunenko A., Shigin A. O. Metallurgical lifting-transport machines. Krasnoyarsk, SFU, 2008. 252 p. (In Russian)

24. GOST 25546-82 «Cranes for lifting. Operating modes» (In Russian)

25. Ritenman I.L., Ritenman V.I., Bleyshmidt L.I. The likelihood of failures in the operation of the lifting mechanism electrical hook bridge crane. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.3, pp. 303-332. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-303-332 (In Russian)

26. Ritenman I.L., Ritenman V.I., Bleysh-

midt L.I. Probability of failures in the operation of the movement mechanism of the cargo trolley of a bridge hook electric crane. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.4, pp. 426-446. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-446 (In Russian)

Authors' information

Ilya L. Ritenman – an expert in the field of industrial safety, the technical Director at Limited Society "Prombezopasnost", *ritenman@mail.ru*.

Vladislav I. Ritenman – engineer-metrologist at JSC "METACLAY", *vlad.ritenman@mail.ru*.

Leonid I. Bleyshmidt - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice director at Limited Society "Prombezopasnost", *lblshdt@rambler.ru*.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
20.01.2018

Дата публикации
(Date of publication):
25.03.2018

