

УДК 621.87

ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА 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 механизма подъема мостового крюкового электрического крана. Методика позволяет выявить лимитирующие элементы и определить значимость последствий в конструкции механизма подъема, 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: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-303-332

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 животных и растений [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 проводится исследование механизма подъема электрического крюкового мостового крана, конструкция которого представлена на рис. 1 и 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.

Параметры механизма подъема:

- грузоподъемность 10 т;
- кратность полиспаста 3;
- группа классификации механизма подъема крана – М5 [21];
- класс использования при коэффициенте распределения нагрузки 1,0 – Т₃ [7];
- кран отработал нормативный срок службы в годах, эксплуатируется в помещении в условиях, которые соответствуют паспортным характеристикам;
- функционирование системы производственного контроля на подъемных 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.

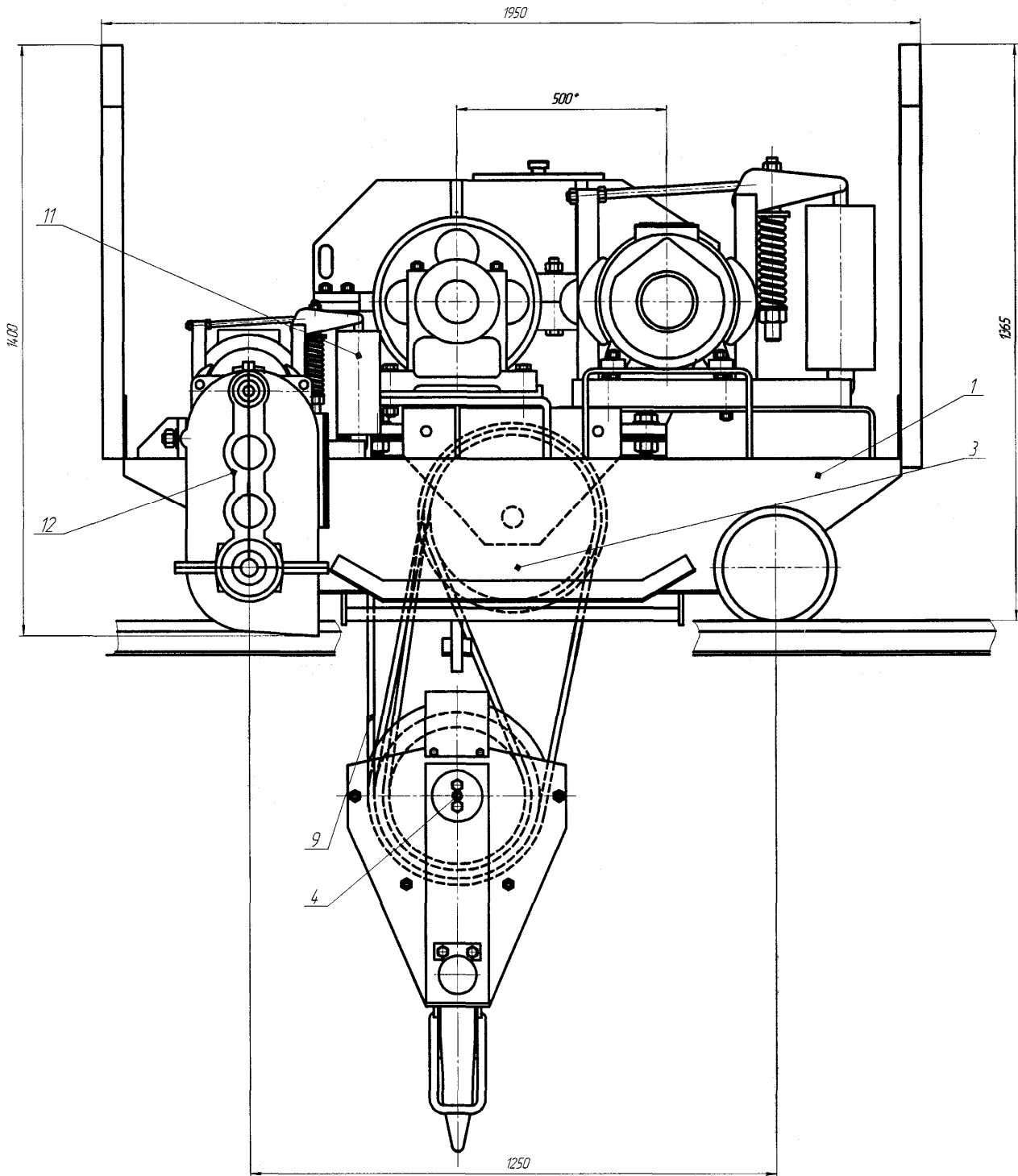


Рис. 1. Общий вид грузовой тележки крюкового электрического мостового крана:
 1 – рама; 3 – верхние блоки; 4 – крюковая подвеска; 9 – канат; 11 – тормоз механизма передвижения тележки; 12 – редуктор механизма передвижения тележки

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

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.

Функциональная блок-схема механизма подъема электрического мостового крана состоит из блоков:

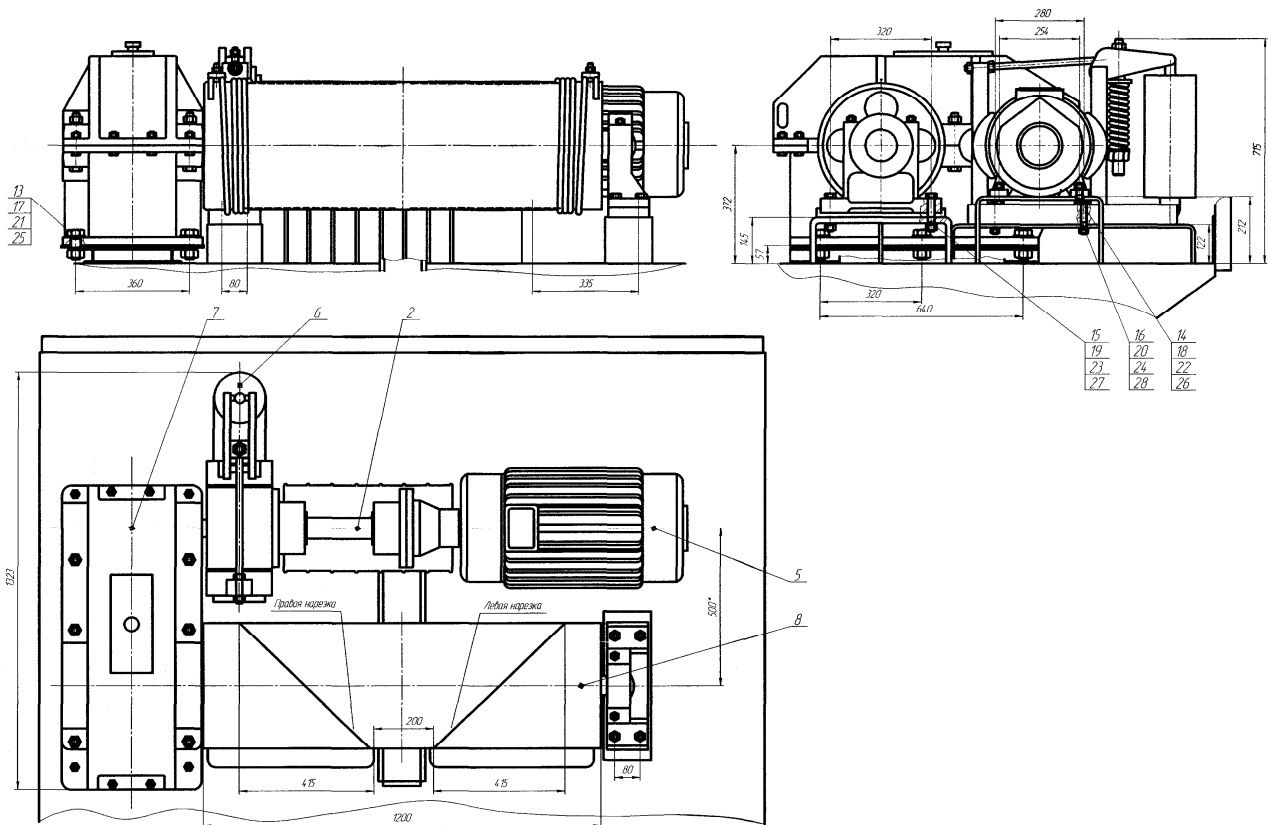


Рис. 2. Механизма подъема крюкового электрического мостового крана:

2 – промежуточный вал; 5 – электродвигатель; 6 – тормоз; 7 – редуктор; 8 – барабан; 14, 18, 22, 26 – элементы крепления электродвигателя; 16, 20, 24, 28 – элементы крепления тормоза; 13, 17, 21, 25 – элементы крепления редуктора; 15, 19, 23, 27 – элементы крепления барабана

- A₁ – электродвигатель;
 - A₂ – крепёжное соединение (крепление электродвигателя);
 - A₃ – промежуточный вал;
 - A₄ – тормоз;
 - A₅ – крепёжное соединение (крепление тормоза);
 - A₆ – редуктор;
 - A₇ – крепёжное соединение (крепление редуктора);
 - A₈ – барабан;
 - A₉ – крепёжное соединение (крепление барабана);
 - A₁₀ – канат;
 - A₁₁ – крюковая подвеска;
 - A₁₂ – верхние блоки.
- Для связи между блоками используются следующие виды соединений:
- 1 – прессовое;
 - 2 – резьбовое;
 - 3 – механическое;
 - 6 – зубчатое.
- На функциональной блок-схеме (рис. 3) показаны блоки механизма подъёма элек-

трического мостового крана (рис. 1 и рис. 2). Каждый блок имеет наименование, индекс и количество, обозначение согласно рис. 1 и рис. 2.

Блоки A₃, A₈, A₁₁ и A₁₂ целесообразно разложить на отдельные элементы.

Элемент – низшая ячейка функциональной схемы, состоящая из сборочной единицы (крепёжного соединения) или детали.

Эскиз промежуточного вала (блок A₃) представлен на рис. 4.

Функциональная схема блока A₃ состоит из следующих элементов: B_{3.1} – шпонка; B_{3.2} – муфта 2-10000-100, состоящая из двух полумуфт; B_{3.3} – крепёжное соединение, соединяющее две полумуфты; B_{3.4} – вал; B_{3.5} – крепёжное соединение, соединяющее полумуфту и шкив; B_{3.6} – шкив Ш1-300/59-215; B_{3.7} – шпонка.

Для связи между элементами используются следующие виды соединений: 1 – прессовое; 2 – резьбовое; 3 – механическое.

На функциональной схеме (рис. 5) показаны элементы промежуточного вала (рис. 4).

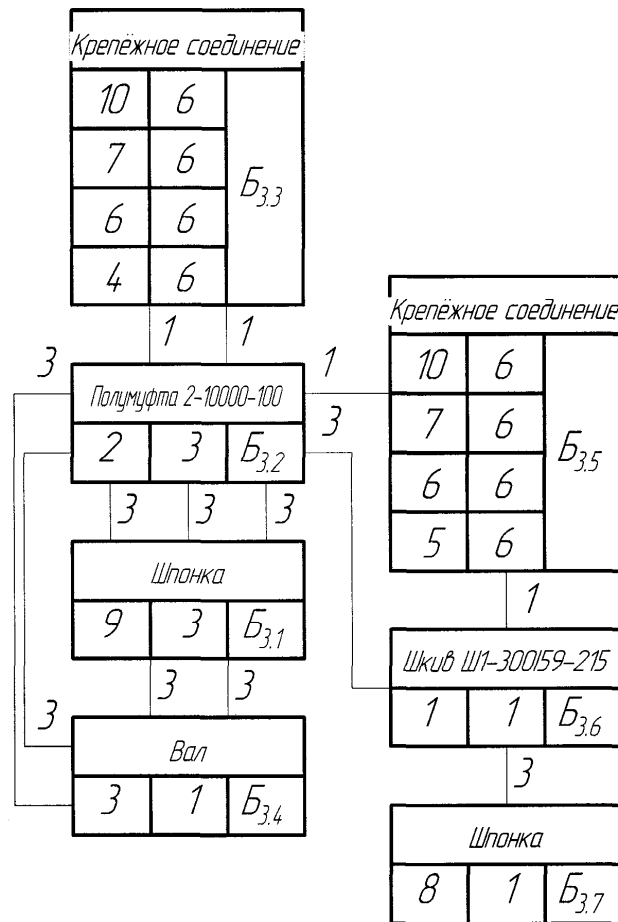


Рис. 5. Функциональная схема промежуточного вала – блок А₃

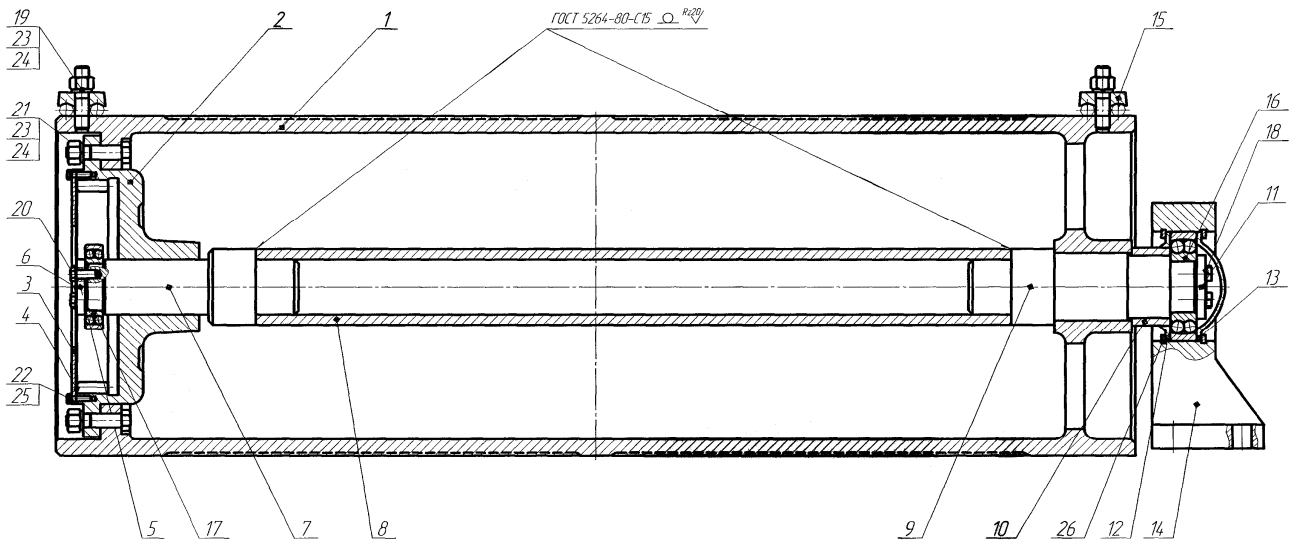


Рис. 6. Эскиз барабана:

- 1 – корпус; 2 – колесо зубчатое; 3 – полукрышка; 4 – прокладка; 5 – шайба торцевая; 6 – планка стопорная; 7 – ось; 8 – втулка; 9 – ось; 10 – втулка распорная; 11 – шайба торцевая; 12 – крышка подшипника; 13 – крышка подшипника; 14 – опора; 15 – прижимная накладка; 16 – подшипник 1312; 17 – подшипник 1211; 18 – планка стопорная; 19, 23, 24 – крепёжное соединение; 20 – болт М10×25; 21, 23, 24 – крепёжное соединение; 22, 25 – крепёжное соединение

Каждый элемент имеет наименование, индекс и количество, обозначение согласно рис. 4.

Эскиз барабана (блок А₈) представлен на рис. 6.

Функциональная схема блока А₈ (рис. 7) состоит из следующих элементов:

- Б_{8.1} – колесо зубчатое;
- Б_{8.2} – прокладка;
- Б_{8.3} – полукрышка;
- Б_{8.4} – крепёжное соединение, соединяющее полукрышки и зубчатое колесо;
- Б_{8.5} – ось;
- Б_{8.6} – подшипник 1211;
- Б_{8.7} – шайба торцевая;
- Б_{8.8} – планка стопорная;
- Б_{8.9} – крепёжное соединение;
- Б_{8.10} – втулка;
- Б_{8.11} – ось;
- Б_{8.12} – крепёжное соединение, соединя-

ющее колесо зубчатое и корпус;

- Б_{8.13} – корпус;
- Б_{8.14} – втулка распорная;
- Б_{8.15} – подшипник 1312;
- Б_{8.16} – шайба торцевая;
- Б_{8.17} – планка стопорная;
- Б_{8.18} – крышка подшипника;
- Б_{8.19} – кольцо;
- Б_{8.20} – крышка подшипника;
- Б_{8.21} – опора;
- Б_{8.22} – крепёжное соединение (крепление каната на барабане);
- Б_{8.23} – накладка.

Для связи между элементами используются следующие виды соединений:

- 1 – прессовое;
- 2 – резьбовое;
- 3 – механическое;
- 7 – сварное.

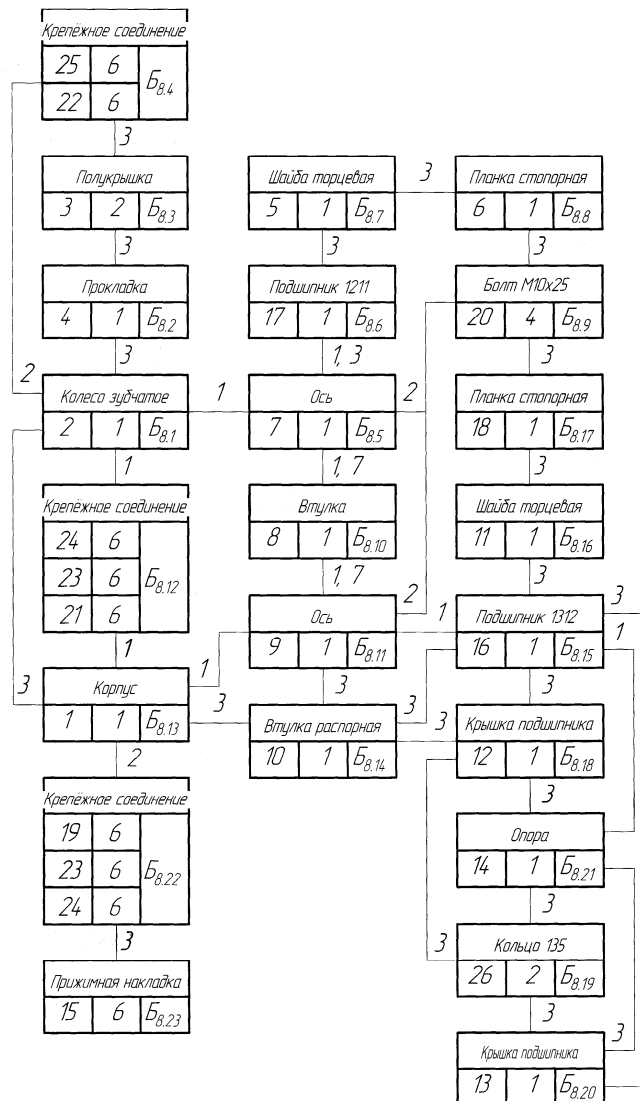


Рис. 7. Функциональная схема барабана – блок А₈

Б_{11.21} – крюк однорогой;
 Б_{11.22} – гайка;
 Б_{11.23} – болтовое соединение;
 Б_{11.24} – ось;
 Б_{11.25} – держатель;
 Б_{11.26} – скоба.

Используемые виды соединений:
 1 – прессовое;
 2 – резьбовое;
 3 – механическое;
 7 – сварное.

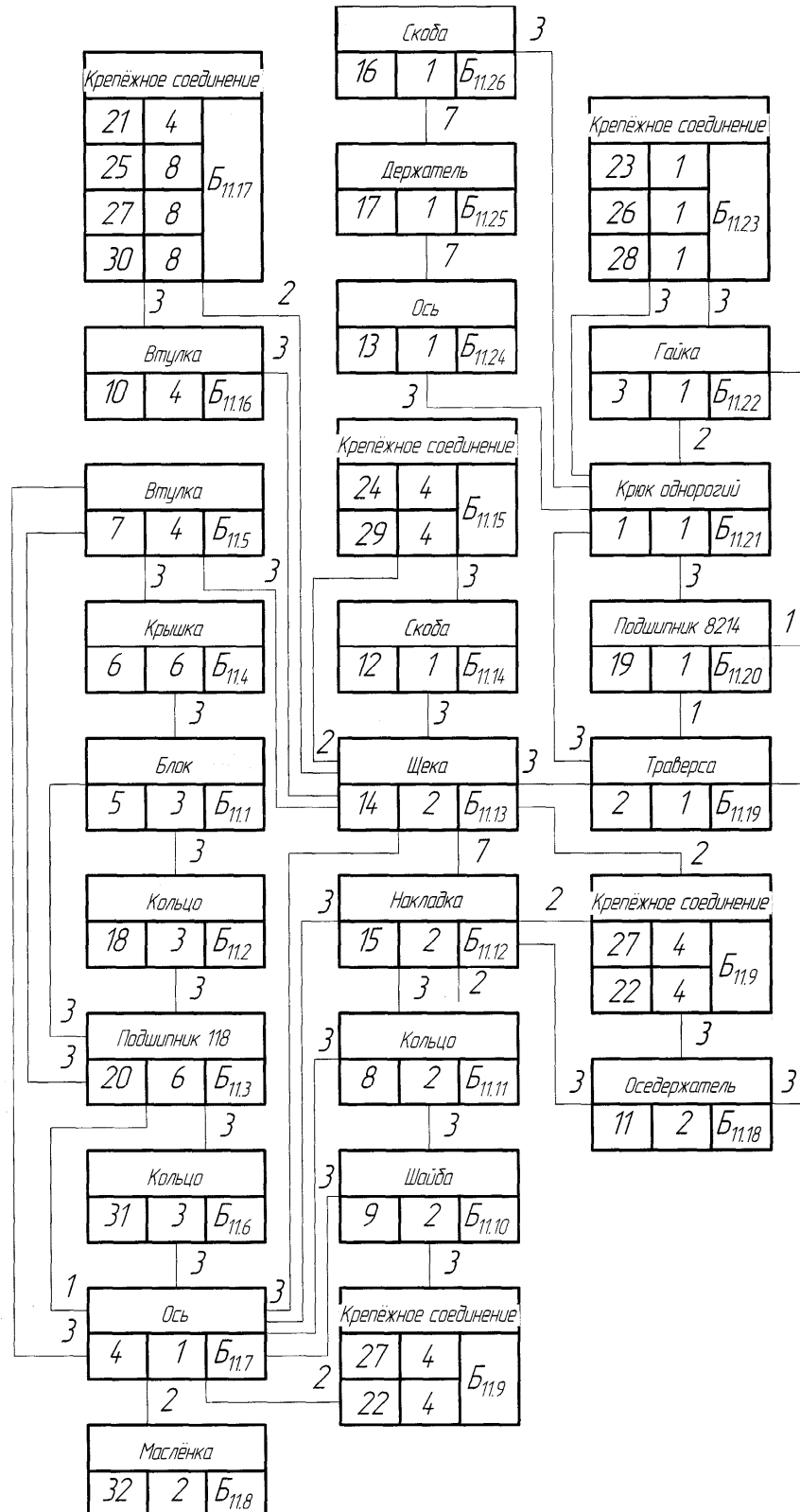


Рис. 9. Функциональная схема крюковой подвески – блок А₁₁

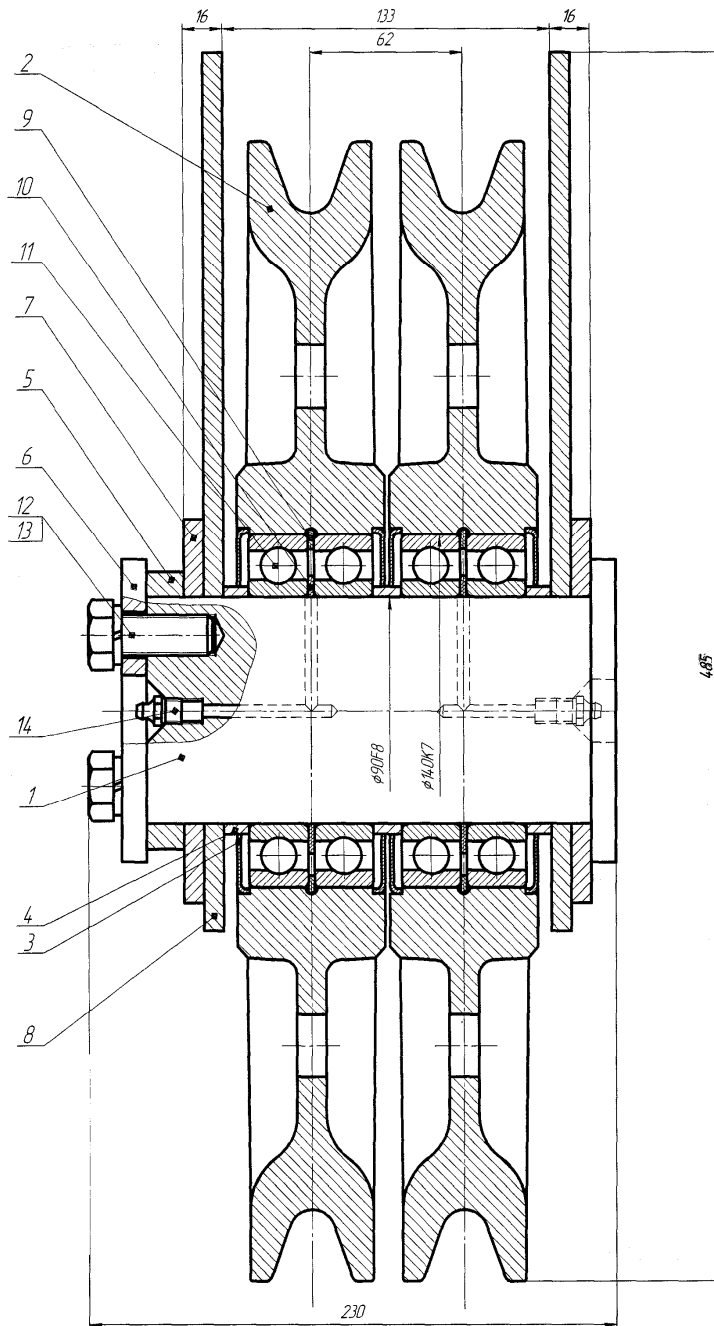


Рис. 10. Эскиз верхних блоков

1 – ось; 2 – блок; 3 – крышка; 4 – втулка; 5 – кольцо; 6 – шайба; 7 – накладка; 8 – щека; 9 – кольцо; 10 – кольцо; 11 – подшипник 118; 12, 13 – крепёжное соединение; 14 – маслѐнка

Эскиз верхних блоков (блок A_{12}) представлен на рис. 10.

Функциональная схема блока A_{12} (рис. 11) состоит из следующих элементов:

- Б_{12.1} – блок;
- Б_{12.2} – кольцо;
- Б_{12.3} – подшипник 118;
- Б_{12.4} – крышка;
- Б_{12.5} – втулка;
- Б_{12.6} – кольцо;
- Б_{12.7} – ось;

- Б_{12.8} – маслѐнка;
- Б_{12.9} – крепёжное соединение;
- Б_{12.10} – шайба;
- Б_{12.11} – кольцо;
- Б_{12.12} – накладка;
- Б_{12.13} – щека.

Используемые виды соединений:

- 1 – прессовое;
- 2 – резьбовое;
- 3 – механическое;
- 7 – сварное.

Таблица 1

Возможные причины отказов блоков и элементов механизма подъема крюкового электрического мостового крана

Индекс	Блок, элемент	Возможные причины отказов	Индекс отказа
А ₁	Электродвигатель	- замыкание обмотки	С ₁
		- износ щеток	С ₂
		- износ шеек вала	С ₃
А ₂	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₄
		- дефект резьбы	С ₅
Б _{3.1}	Шпонка	- срез, смятие	С ₆
Б _{3.2}	Полумуфта 2-10000-100	- износ шпоночного паза	С ₇
		- износ зубьев	С ₈
		- отсутствие смазки	С ₉
		- отсутствие деталей	С ₁₀
Б _{3.3}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₁₁
		- дефект резьбы	С ₁₂
Б _{3.4}	Вал	- наличие осевого хода	С ₁₃
		- износ шеек, скручивание	С ₁₄
Б _{3.5}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₁₅
		- дефект резьбы	С ₁₆
Б _{3.6}	Шкив Ш1-300/59-215	- износ поверхности	С ₁₇
		- износ шпоночного паза	С ₁₈
		- трещины, обломы	С ₁₉
Б _{3.7}	Шпонка	- срез, смятие	С ₂₀
А ₄	Тормоз	- не отрегулирован	С ₂₁
		- состояние пружины	С ₂₂
		- отсутствуют детали	С ₂₃
		- состояние толкателя	С ₂₄
		- износ колодок, трещины	С ₂₅
А ₅	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₂₆
		- потеря резьбы	С ₂₇
А ₆	Редуктор	- отсутствие смазки	С ₂₈
		- износ зубьев	С ₂₉
		- износ шеек валов	С ₃₀
		- износ подшипников	С ₃₁
А ₇	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₃₂
		- дефект резьбы	С ₃₃
Б _{8.1}	Колесо зубчатое	- износ зубьев	С ₃₄
		- отсутствие смазки	С ₃₅
		- дефект резьбы	С ₃₆
Б _{8.2}	Прокладка	- отсутствие	С ₃₇
Б _{8.3}	Полукрышка	- отсутствие	С ₃₈
Б _{8.4}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₃₉
		- дефект резьбы	С ₄₀
Б _{8.5}	Ось	- износ шеек	С ₄₁
		- дефект резьбы	С ₄₂
Б _{8.6}	Подшипник 1211	- отсутствие смазки	С ₄₃
		- наличие дефектов	С ₄₄
Б _{8.7}	Шайба торцевая	- отсутствие	С ₄₅

Продолжение табл. 1

Индекс	Блок, элемент	Возможные причины отказов	Индекс отказа
Б _{8.8}	Планка стопорная	- отсутствие	С ₄₆
Б _{8.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие	С ₄₇
Б _{8.10}	Втулка	- скручивание, изгиб	С ₄₈
Б _{8.11}	Ось	- износ шеек	С ₄₉
		- дефект резьбы	С ₅₀
Б _{8.12}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₅₁
		- дефект резьбы	С ₅₂
Б _{8.13}	Корпус	- трещины	С ₅₃
		- износ ручья	С ₅₄
		- деформация	С ₅₅
		- износ отверстий	С ₅₆
		- дефект резьбы	С ₅₇
Б _{8.14}	Втулка	- износ	С ₅₈
Б _{8.15}	Подшипник 1312	- отсутствие смазки	С ₅₉
		- наличие дефектов	С ₆₀
Б _{8.16}	Шайба торцевая	- отсутствие	С ₆₁
Б _{8.17}	Планка стопорная	- наличие дефектов	С ₆₂
Б _{8.18}	Крышка	- износ отверстия	С ₆₃
Б _{8.19}	Кольцо 135	- деформация, поломка	С ₆₄
Б _{8.20}	Крышка	- износ отверстия	С ₆₅
Б _{8.21}	Опора	- износ отверстия	С ₆₆
Б _{8.22}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₆₇
		- дефект резьбы	С ₆₈
Б _{8.23}	Прижим	- отсутствие	С ₆₉
А ₉	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₇₀
		- дефект резьбы	С ₇₁
А ₁₀	Канат	- поверхностные дефекты	С ₇₂
		- внутренние дефекты	С ₇₃
		- отсутствие смазки	С ₇₄
Б _{11.1}	Блок	- трещины, сколы	С ₇₅
		- износ ручья	С ₇₆
Б _{11.2}	Кольцо 140	- деформация, поломка	С ₇₇
Б _{11.3}	Подшипник 118	- отсутствие смазки	С ₇₈
		- наличие дефектов	С ₇₉
Б _{11.4}	Крышка	- износ отверстия	С ₈₀
Б _{11.5}	Втулка	- износ	С ₈₁
Б _{11.6}	Кольцо 98	- деформация, поломка	С ₈₂
Б _{11.7}	Ось	- износ поверхности	С ₈₃
		- дефект резьбы	С ₈₄
Б _{11.8}	Масленка 1.2.Кд 6	- наличие дефектов	С ₈₅
Б _{11.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₈₆
		- дефект резьбы	С ₈₇
Б _{11.10}	Шайба	- отсутствие	С ₈₈
Б _{11.11}	Кольцо	- отсутствие	С ₈₉
Б _{11.12}	Накладка	- трещины	С ₉₀
		- износ отверстия	С ₉₁
		- дефект резьбы	С ₉₂

Продолжение табл. 1

Индекс	Блок, элемент	Возможные причины отказов	Индекс отказа
Б _{11.13}	Щека	- трещины	С ₉₃
		- деформация	С ₉₄
		- износ отверстия	С ₉₅
		- дефект резьбы	С ₉₆
Б _{11.14}	Скоба	- деформация	С ₉₇
		- отсутствие	С ₉₈
Б _{11.15}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₉₉
		- дефект резьбы	С ₁₀₀
Б _{11.16}	Втулка	- деформация	С ₁₀₁
		- износ	С ₁₀₂
Б _{11.17}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₁₀₃
		- дефект резьбы	С ₁₀₄
		- деформация	С ₁₀₅
Б _{11.18}	Оседержатель	- отсутствие	С ₁₀₆
Б _{11.19}	Траверса	- трещины	С ₁₀₇
		- износ шеек	С ₁₀₈
Б _{11.20}	Подшипник 8214	- отсутствие смазки	С ₁₀₉
		- наличие дефектов	С ₁₁₀
Б _{11.21}	Крюк однорогий	- износ зева	С ₁₁₁
		- трещины волосовины	С ₁₁₂
		- дефект резьбы	С ₁₁₃
Б _{11.22}	Гайка	- дефект резьбы	С ₁₁₄
Б _{11.23}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₁₁₅
		- дефект резьбы	С ₁₁₆
Б _{11.24}	Ось	- отсутствие	С ₁₁₇
		- деформация	С ₁₁₈
Б _{11.25}	Держатель	- отсутствие	С ₁₁₉
		- деформация	С ₁₂₀
Б _{11.26}	Скоба	- отсутствие	С ₁₂₁
		- деформация	С ₁₂₂
Б _{12.1}	Блок	- трещины, сколы	С ₁₂₃
		- износ ручья	С ₁₂₄
Б _{12.2}	Кольцо 140	- деформация, поломка	С ₁₂₅
Б _{12.3}	Подшипник 118	- отсутствие смазки	С ₁₂₆
		- наличие дефектов	С ₁₂₇
Б _{12.4}	Крышка	- износ отверстия	С ₁₂₈
Б _{12.5}	Втулка	- износ	С ₁₂₉
Б _{12.6}	Кольцо 98	- деформация, поломка	С ₁₃₀
Б _{12.7}	Ось	- износ поверхности	С ₁₃₁
		- дефект резьбы	С ₁₃₂
Б _{12.8}	Масленка 1.2.Кд 6	- наличие дефектов	С ₁₃₃
Б _{12.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₁₃₄
		- дефект резьбы	С ₁₃₅
Б _{12.10}	Шайба	- отсутствие	С ₁₃₆
Б _{12.11}	Кольцо	- отсутствие	С ₁₃₇
Б _{12.12}	Накладка	- трещины	С ₁₃₈
		- износ отверстия	С ₁₃₉

Окончание табл. 1

Индекс	Блок, элемент	Возможные причины отказов	Индекс отказа
Б _{12.13}	Щека	- трещины	С ₁₄₀
		- деформация	С ₁₄₁
		- износ отверстия	С ₁₄₂

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 ПС ОПО?

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

Вопрос 3 (ранг D): Способ обнаружения отказа и средства, которые специалист при-

меняет 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 ПС ОПО по рангу S приведены в табл. 2.

Критерии оценки вероятности появления каждого вида потенциального отказа от класса использования элементов объекта по рангу O приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 2

Критерии оценки диагностики возможных причин отказов

Значимость последствия	Уровень регламентных работ	Ранг (S)
Опасная без предупреждения	Разрушение элемента конструкции ТУ, 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	ТУ находится в работоспособном состоянии	2
Отсутствует	ТУ находится в исправном состоянии	1

Таблица 3

Вероятность отказа	Значение вероятности отказа Р	Класс использования	Продолжительность использования, час	Ранг (О)
Очень большая	$P > 0,5$	T_0	200	10
	$0,33 < P < 0,5$	T_1	400	9
Большая	$0,125 < P < 0,33$	T_2	800	8
	$0,05 < P < 0,125$	T_3	1600	7
Небольшая	$0,0125 < P < 0,05$	T_4	3200	6
	$0,0025 < P < 0,0125$	T_5	6300	5
	$0,0005 < P < 0,0025$	T_6	12500	4
Малая	$0,00007 < P < 0,0005$	T_7	25000	3
	$0,000007 < P < 0,00007$	T_8	50000	2
Очень малая	$P < 0,000007$	T_9	100000	1

Таблица 4

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	0,3
Валы редукторов	10	1
Металлоконструкции	20	2

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:

$$O_i = K_i T_i$$

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

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

$$\bar{y}_{i.SOD}^{\{k\}} = 0,1 \cdot \sum_{m=1}^{m=10} y_{i.SOD}^{\{k\}}$$

где: $\bar{y}_{i.SOD}^{\{k\}}$ - 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 экспертов 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 (КПР), определяется произведением рангов S, O, D и нормируется от 1 до 1000. Результаты количественной оценки критичности (КПР) блоков и элементов объекта приведены в табл. 6.

Таблица 5

Критерии оценки по способу обнаружения отказа и средств для обнаружения возможных причин отказов по рангу D

Полнота контроля, производительность, оперативность, безопасность и до- стоверность 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

Таблица 6

Результаты статистической обработки ответов экспертов на вопросы опросного листа по рангам S, O, D

Индекс	Блок, элемент	Возможные отказы	Индекс отказа	Ранги			КПР	
				(S)	(O)	(D)	Кол.	Сумма
A ₁	Электродвигатель	- замыкание обмотки	C ₁	6	7	1	42	248
		- износ щеток	C ₂	5	8	2	80	
		- износ шеек вала	C ₃	6	7	3	126	
A ₂	Крепёжное со- единение	- отсутствие элемента	C ₄	3	6	1	18	54
		- дефект резьбы	C ₅	6	6	1	36	
B _{3.1}	Шпонка	- срез, смятие	C ₆	6	6	1	36	36
B _{3.2}	Полумуфта 2- 10000-100	- износ шпоночного паза	C ₇	6	7	1	42	234
		- износ зубьев	C ₈	6	8	3	144	
		- отсутствие смазки	C ₉	5	6	1	30	
		- отсутствие деталей	C ₁₀	3	6	1	18	
B _{3.3}	Крепёжное со- единение	- отсутствие элемента	C ₁₁	3	6	1	18	54
		- дефект резьбы	C ₁₂	6	6	1	36	
B _{3.4}	Вал	- наличие осевого хода	C ₁₃	5	7	2	70	196
		- износ шеек, скручи- вание	C ₁₄	6	7	3	126	
B _{3.5}	Крепёжное со- единение	- отсутствие элемента	C ₁₅	3	6	1	18	54
		- дефект резьбы	C ₁₆	6	6	1	36	
B _{3.6}	Шкив Ш1-300/59- 215	- износ поверхности	C ₁₇	5	9	3	135	222
		- износ шпоночного паза	C ₁₈	6	7	1	42	
		- трещины, обломы	C ₁₉	5	9	1	45	
B _{3.7}	Шпонка	- срез, смятие	C ₂₀	6	6	1	36	36

Продолжение табл. 6

А ₄	Тормоз	- не отрегулирован	С ₂₁	3	7	1	21	309
		- состояние пружины	С ₂₂	5	7	1	35	
		- отсутствуют детали	С ₂₃	3	6	1	18	
		- состояние толкателя	С ₂₄	5	7	1	35	
		- износ колодок трещины	С ₂₅	5	10	4	200	
А ₅	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₂₆	3	6	1	18	54
		- потеря резьбы	С ₂₇	6	6	1	36	
А ₆	Редуктор	- отсутствие смазки	С ₂₈	5	7	1	35	461
		- износ зубьев	С ₂₉	6	9	4	216	
		- износ шеек валов	С ₃₀	6	7	4	168	
		- износ подшипников	С ₃₁	6	8	1	42	
А ₇	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₃₂	3	6	1	18	54
		- дефект резьбы	С ₃₃	6	6	1	36	
Б _{8.1}	Колесо зубчатое	- износ зубьев	С ₃₄	6	8	3	144	204
		- отсутствие смазки	С ₃₅	5	6	1	30	
		- дефект резьбы	С ₃₆	5	6	1	30	
Б _{8.2}	Прокладка	- отсутствие	С ₃₇	5	6	1	30	30
Б _{8.3}	Полукрышка	- отсутствие	С ₃₈	4	6	1	24	24
Б _{8.4}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₃₉	3	6	1	18	36
		- дефект резьбы	С ₄₀	3	6	1	18	
Б _{8.5}	Ось	- износ шеек	С ₄₁	6	7	0	0	0
		- дефект резьбы	С ₄₂	6	7	0	0	
Б _{8.6}	Подшипник 1211	- отсутствие смазки	С ₄₃	5	8	1	40	88
		- наличие дефектов	С ₄₄	6	8	1	48	
Б _{8.7}	Шайба торцевая	- отсутствие	С ₄₅	6	6	0	0	0
Б _{8.8}	Планка стопорная	- отсутствие	С ₄₆	6	6	0	0	0
Б _{8.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие	С ₄₇	6	6	0	0	0
Б _{8.10}	Втулка	- скручивание, изгиб	С ₄₈	6	6	0	0	0
Б _{8.11}	Ось	- износ шеек	С ₄₉	6	7	3	126	162
		- дефект резьбы	С ₅₀	6	6	1	36	
Б _{8.12}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₅₁	4	6	1	24	60
		- дефект резьбы	С ₅₂	6	6	1	36	
Б _{8.13}	Корпус	- трещины	С ₅₃	8	6	7	336	780
		- износ ручья	С ₅₄	6	9	4	216	
		- деформация	С ₅₅	6	6	3	108	
		- износ отверстий	С ₅₆	6	6	0	0	
		- дефект резьбы	С ₅₇	5	6	4	120	
Б _{8.14}	Втулка	- износ	С ₅₈	6	6	0	0	0
Б _{8.15}	Подшипник 1312	- отсутствие смазки	С ₅₉	5	8	1	40	88
		- наличие дефектов	С ₆₀	6	8	1	48	
Б _{8.16}	Шайба торцевая	- отсутствие	С ₆₁	6	6	0	0	0
Б _{8.17}	Планка стопорная	- наличие дефектов	С ₆₂	6	6	1	36	36

Продолжение табл. 6

Б _{8.18}	Крышка	- износ отверстия	С ₆₃	6	6	0	0	0
Б _{8.19}	Кольцо 135	- деформация, поломка	С ₆₄	5	6	1	30	30
Б _{8.20}	Крышка	- износ отверстия	С ₆₅	4	6	0	0	0
Б _{8.21}	Опора	- износ отверстия	С ₆₆	6	6	3	108	108
Б _{8.22}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₆₇	3	6	1	18	48
		- дефект резьбы	С ₆₈	5	6	1	30	
Б _{8.23}	Прижим	- отсутствие	С ₆₉	3	6	1	18	18
А ₉	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₇₀	3	6	1	18	54
		- дефект резьбы	С ₇₁	6	6	1	36	
А ₁₀	Канат	- поверхностные дефекты	С ₇₂	5	10	4	200	1020
		- внутренние дефекты	С ₇₃	8	10	9	720	
		- отсутствие смазки	С ₇₄	5	10	2	100	
Б _{11.1}	Блок	- трещины, сколы	С ₇₅	5	9	4	180	396
		- износ ручья	С ₇₆	6	9	4	216	
Б _{11.2}	Кольцо 140	- деформация, поломка	С ₇₇	6	6	0	0	0
Б _{11.3}	Подшипник 118	- отсутствие смазки	С ₇₈	5	8	1	40	88
		- наличие дефектов	С ₇₉	6	8	1	48	
Б _{11.4}	Крышка	- износ отверстия	С ₈₀	6	6	1	36	36
Б _{11.5}	Втулка	- износ	С ₈₁	6	6	0	0	0
Б _{11.6}	Кольцо 98	- деформация, поломка	С ₈₂	6	6	0	0	0
Б _{11.7}	Ось	- износ поверхности	С ₈₃	6	7	3	126	147
		- дефект резьбы	С ₈₄	3	7	1	21	
Б _{11.8}	Масленка 1.2.Кд 6	- наличие дефектов	С ₈₅	5	6	1	30	30
Б _{11.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₈₆	3	6	1	18	36
		- дефект резьбы	С ₈₇	3	6	1	18	
Б _{11.10}	Шайба	- отсутствие	С ₈₈	3	6	1	18	18
Б _{11.11}	Кольцо	- отсутствие	С ₈₉	3	6	1	18	18
Б _{11.12}	Накладка	- трещины	С ₉₀	5	6	4	120	234
		- износ отверстия	С ₉₁	5	6	3	90	
		- дефект резьбы	С ₉₂	4	6	1	24	
Б _{11.13}	Щека	- трещины	С ₉₃	5	6	4	120	258
		- деформация	С ₉₄	4	6	1	24	
		- износ отверстия	С ₉₅	5	6	3	90	
		- дефект резьбы	С ₉₆	4	6	1	24	
Б _{11.14}	Скоба	- деформация	С ₉₇	3	6	1	18	36
		- отсутствие	С ₉₈	3	6	1	18	
Б _{11.15}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₉₉	3	6	1	18	36
		- дефект резьбы	С ₁₀₀	3	6	1	18	
Б _{11.16}	Втулка	- деформация	С ₁₀₁	3	6	2	36	36
		- износ	С ₁₀₂	4	6	0	0	
Б _{11.17}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	С ₁₀₃	3	6	1	18	54
		- дефект резьбы	С ₁₀₄	3	6	1	18	
		- деформация	С ₁₀₅	3	6	1	18	
Б _{11.18}	Оседержатель	- отсутствие	С ₁₀₆	3	6	1	18	18
Б _{11.19}	Траверса	- трещины	С ₁₀₇	8	6	8	384	492
		- износ шеек	С ₁₀₈	6	6	3	108	
Б _{11.20}	Подшипник 8214	- отсутствие смазки	С ₁₀₉	5	8	1	40	88
		- наличие дефектов	С ₁₁₀	6	8	1	48	

Окончание табл. 6

Б _{11.21}	Крюк одно- рогий	- износ зева	C ₁₁₁	4	6	3	72	492
		- трещины волосоины	C ₁₁₂	8	6	8	384	
		- дефект резьбы	C ₁₁₃	6	6	1	36	
Б _{11.22}	Гайка	- дефект резьбы	C ₁₁₄	6	6	1	36	36
Б _{11.23}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	C ₁₁₅	3	6	1	18	36
		- дефект резьбы	C ₁₁₆	3	6	1	18	
Б _{11.24}	Ось	- отсутствие	C ₁₁₇	3	6	1	18	36
		- деформация	C ₁₁₈	3	6	1	18	
Б _{11.25}	Держатель	- отсутствие	C ₁₁₉	3	6	1	18	36
		- деформация	C ₁₂₀	3	6	1	18	
Б _{11.26}	Скоба	- отсутствие	C ₁₂₁	3	6	1	18	36
		- деформация	C ₁₂₂	3	6	1	18	
Б _{12.1}	Блок	- трещины, сколы	C ₁₂₃	5	9	4	180	396
		- износ ручья	C ₁₂₄	6	9	4	216	
Б _{12.2}	Кольцо 140	- деформация, поломка	C ₁₂₅	6	6	0	0	0
Б _{12.3}	Подшипник 118	- отсутствие смазки	C ₁₂₆	5	8	1	40	88
		- наличие дефектов	C ₁₂₇	6	8	1	48	
Б _{12.4}	Крышка	- износ отверстия	C ₁₂₈	6	6	1	36	36
Б _{12.5}	Втулка	- износ	C ₁₂₉	6	6	0	0	0
Б _{12.6}	Кольцо 98	- деформация, поломка	C ₁₃₀	6	6	0	0	0
Б _{12.7}	Ось	- износ поверхности	C ₁₃₁	6	7	3	126	162
		- дефект резьбы	C ₁₃₂	6	6	1	36	
Б _{12.8}	Масленка 1.2.Кд 6	- наличие дефектов	C ₁₃₃	5	6	1	30	30
Б _{12.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	C ₁₃₄	5	6	1	30	60
		- дефект резьбы	C ₁₃₅	5	6	1	30	
Б _{12.10}	Шайба	- отсутствие	C ₁₃₆	5	6	1	30	30
Б _{12.11}	Кольцо	- отсутствие	C ₁₃₇	5	6	1	30	30
Б _{12.12}	Накладка	- трещины	C ₁₃₈	5	6	4	120	120
		- износ отверстия	C ₁₃₉	6	6	0	0	
Б _{12.13}	Щека	- трещины	C ₁₄₀	5	6	4	120	120
		- деформация	C ₁₄₁	5	6	1	0	
		- износ отверстия	C ₁₄₂	6	6	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 «каната» и заканчивая «оседержатель» и подсчитывается общее значение коэффициента приоритетного риска для каждого блока или элемента. В графе «накопленный 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 коли-

чество процентов. Последнюю графу заполняем по аналогии с графой «накопленный итог, сумма».

Для построения диаграммы Парето (рис. 12) 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 столбик, вертикальная сторона которого равна значению коэффициента приоритетного риска. Блоки и элементы откладываются 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» механизма подъема мостового крюкового электрического крана.

Таблица 7

Результаты ранжирования значения коэффициента приоритетного риска

Индекс	Блок, элемент	Возможные отказы	КПР		Доля %	Накопленный итог	
			Кол.	Сумма		Сумма	%
А ₁₀	Канат	- поверхностные дефекты	200	1020	11,91	1020	11,91
		- внутренние дефекты	720				
		- отсутствие смазки	100				
Б _{8.13}	Корпус	- трещины	336	780	9,11	1800	21,02
		- износ ручья	216				
		- деформация	108				
		- износ отверстия	0				
		- дефект резьбы	120				
Б _{11.19}	Траверса	- трещины	384	492	5,75	2292	26,77
		- износ шеек	108				
Б _{11.21}	Крюк однорогий	- износ зева	72	492	5,75	2784	32,52
		- трещины волосявины	384				
		- дефект резьбы	36				
А ₆	Редуктор	- отсутствие смазки	35	461	5,38	3245	37,9
		- износ зубьев	216				
		- износ шеек валов	168				
		- износ подшипников	42				
Б _{11.1}	Блок	- трещины, сколы	180	396	4,63	3641	42,53
		- износ ручья	216				
Б _{12.1}	Блок	- трещины, сколы	180	396	4,63	4037	47,16
		- износ ручья	216				
А ₄	Тормоз	- не отрегулирован	21	309	3,61	4346	50,77
		- состояние пружины	35				
		- отсутствуют детали	18				
		- состояние толкателя	35				
		- износ колодок трещины	200				
Б _{11.13}	Щека	- трещины	120	258	3,01	4604	53,78
		- деформация	24				
		- износ отверстия	90				
		- дефект резьбы	24				
А ₁	Электродвигатель	- замыкание обмотки	42	248	2,9	4852	56,68
		- износ щеток	80				
		- износ шеек вала	126				

Продолжение табл. 7

Индекс	Блок, элемент	Возможные отказы	КПР		Доля %	Накопленный итог	
			Кол.	Сумма		Сумма	%
Б _{3.2}	Полумуфта 2-10000-100	- износ шпоночного паза	42	234	2,73	5086	59,41
		- износ зубьев	144				
		- отсутствие смазки	30				
		- отсутствие деталей	18				
Б _{11.12}	Накладка	- трещины	120	234	2,73	5320	62,14
		- износ отверстия	90				
		- дефект резьбы	24				
Б _{3.6}	Шкив Ш1-300/59-215	- износ поверхности	135	222	2,59	5542	64,73
		- износ шпоночного паза	42				
		- трещины, обломы	45				
Б _{8.1}	Колесо зубчатое	- износ зубьев	144	204	2,38	5746	67,11
		- отсутствие смазки	30				
		- дефект резьбы	30				
Б _{3.4}	Вал	- наличие осевого хода	70	196	2,29	5942	69,4
		- износ скручивание	126				
Б _{8.11}	Ось	- износ поверхности	126	162	1,89	6104	71,29
		- дефект резьбы	36				
Б _{12.7}	Ось	- износ поверхности	126	162	1,89	6266	73,18
		- дефект резьбы	36				
Б _{11.7}	Ось	- износ поверхности	126	147	1,72	6413	74,9
		- дефект резьбы	21				
Б _{12.12}	Накладка	- трещины	120	120	1,4	6533	76,3
		- износ отверстия	0				
Б _{12.13}	Щека	- трещины	120	120	1,4	6653	77,7
		- деформация	0				
		- износ отверстия	0				
Б _{8.21}	Опора	- износ отверстия	108	108	1,26	6761	78,96
Б _{8.6}	Подшипник 1211	- отсутствие смазки	40	88	1,03	6849	79,99
		- наличие дефектов	48				
Б _{8.15}	Подшипник 1312	- отсутствие смазки	40	88	1,03	6937	81,02
		- наличие дефектов	48				

Продолжение табл. 7

Индекс	Блок, элемент	Возможные отказы	КПР		Доля %	Накопленный итог	
			Кол.	Сумма		Сумма	%
Б _{11.3}	Подшипник 118	- отсутствие смазки	40	88	1,03	7025	82,05
		- наличие дефектов	48				
Б _{11.20}	Подшипник 8214	- отсутствие смазки	40	88	1,03	7113	83,08
		- наличие дефектов	48				
Б _{12.3}	Подшипник 118	- отсутствие смазки	40	88	1,03	7201	84,11
		- наличие дефектов	48				
Б _{8.12}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	24	60	0,7	7261	84,81
		- дефект резьбы	36				
Б _{12.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	30	60	0,7	7321	85,51
		- дефект резьбы	30				
А ₂	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	54	0,63	7375	86,14
		- дефект резьбы	36				
Б _{3.3}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	54	0,63	7429	86,77
		- дефект резьбы	36				
Б _{3.5}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	54	0,63	7483	87,4
		- дефект резьбы	36				
А ₅	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	54	0,63	7537	88,03
		- дефект резьбы	36				
А ₇	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	54	0,63	7591	88,66
		- дефект резьбы	36				
А ₉	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	54	0,63	7645	89,29
		- дефект резьбы	36				
Б _{11.17}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	54	0,63	7699	89,92
		- дефект резьбы	18				
		- деформация	18				
Б _{8.22}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	48	0,56	7747	90,48
		- дефект резьбы	30				
Б _{3.1}	Шпонка	- срез, смятие	36	36	0,42	7783	90,9
Б _{3.7}	Шпонка	- срез, смятие	36	36	0,42	7819	91,32
Б _{8.4}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	36	0,42	7855	91,74
		- дефект резьбы	18				

Окончание табл. 7

Индекс	Блок, элемент	Возможные отказы	КПР		Доля %	Накопленный итог	
			Кол.	Сумма		Сумма	%
Б _{8.17}	Планка стопорная	- наличие дефектов	36	36	0,42	7891	92,16
Б _{11.4}	Крышка	- износ отверстия	36	36	0,42	7927	92,58
Б _{11.9}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	36	0,42	7963	93
		- дефект резьбы	18				
Б _{11.14}	Скоба	- деформация	18	36	0,42	7999	93,42
		- отсутствие	18				
Б _{11.15}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	36	0,42	8035	93,84
		- дефект резьбы	18				
Б _{11.16}	Втулка	- деформация	36	36	0,42	8071	94,26
		- износ	0				
Б _{11.22}	Гайка	- дефект резьбы	36	36	0,42	8107	94,68
Б _{11.23}	Крепёжное соединение	- отсутствие элемента	18	36	0,42	8143	95,1
		- дефект резьбы	18				
Б _{11.24}	Ось	- отсутствие	18	36	0,42	8179	95,52
		- деформация	18				
Б _{11.25}	Держатель	- отсутствие	18	36	0,42	8215	95,94
		- деформация	18				
Б _{11.26}	Скоба	- отсутствие	18	36	0,42	8251	96,36
		- деформация	18				
Б _{12.4}	Крышка	- износ отверстия	36	36	0,42	8287	96,78
Б _{8.2}	Прокладка	- отсутствие	30	30	0,35	8317	97,13
Б _{8.19}	Кольцо 135	- деформация, поломка	30	30	0,35	8347	97,48
Б _{11.8}	Масленка 1.2.Кд 6	- наличие дефектов	30	30	0,35	8377	97,83
Б _{12.8}	Масленка 1.2.Кд 6	- наличие дефектов	30	30	0,35	8407	98,18
Б _{12.10}	Шайба	- отсутствие	30	30	0,35	8437	98,53
Б _{12.11}	Кольцо	- отсутствие	30	30	0,35	8467	98,88
Б _{8.3}	Полукрышка	- отсутствие	24	24	0,28	8491	99,16
Б _{8.23}	Прижим	- отсутствие	18	18	0,21	8509	99,37
Б _{11.10}	Шайба	- отсутствие	18	18	0,21	8527	99,58
Б _{11.11}	Кольцо	- отсутствие	18	18	0,21	8545	99,79
Б _{11.18}	Оседержатель	- отсутствие	18	18	0,21	8563	100

На правой стороне графика по оси ординат откладываем значения кумулятивного процента и вычерчиваем кривую кумулятивной суммы. Данная кривая носит название кривой Парето, она отражает в общем случае накопленное влияние всех причин потенциальных отказов блоков и элементов в конструкции механизма подъема мостового кранового 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, которые расположены слева от перпендикуляра являются значимыми, а справа не значимые.

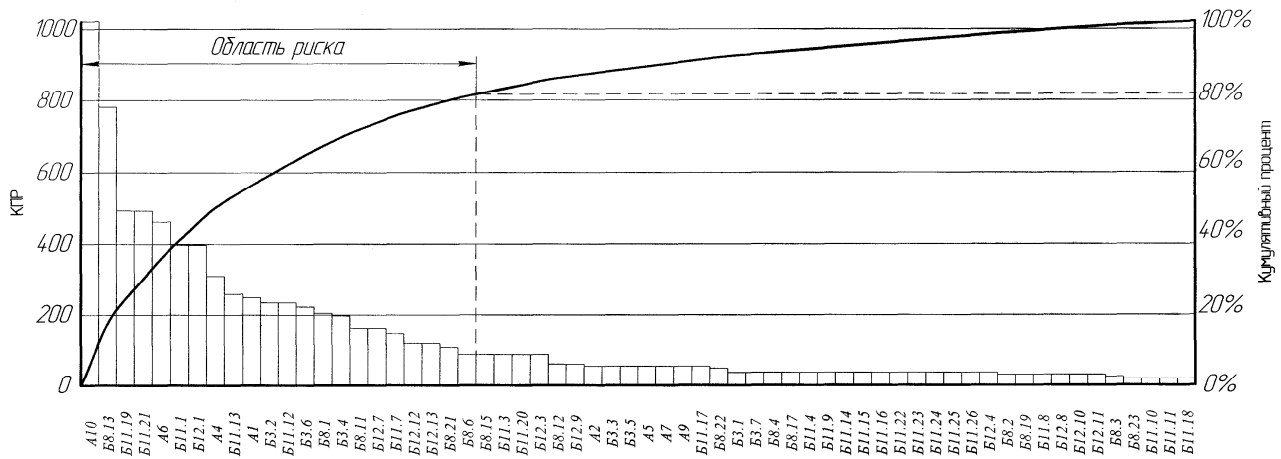


Рис. 12. Диаграмма Парето механизма подъема грузовой тележки мостового крана

Из построенной диаграммы Парето (рис. 12) видно, что в области риска оказались элементы конструкции, как:

A ₁₀	Канат	- 11,91%
Б _{8.13}	Корпус	- 9,11%
Б _{11.19}	Траверса	- 5,75%
Б _{11.21}	Крюк однорогий	- 5,75%
A ₆	Редуктор	- 5,38%
Б _{11.1}	Блок	- 4,63%
Б _{12.1}	Блок	- 4,63%
A ₄	Тормоз	- 3,61%
Б _{11.13}	Щека	- 3,01%
A ₁	Электродвигатель	- 2,9%
Б _{3.2}	Полумуфта 2-10000-100	- 2,73%
Б _{11.12}	Накладка	- 2,73%
Б _{3.6}	Шкив Ш1-300/59-215	- 2,59%
Б _{8.1}	Колесо зубчатое	- 2,38%
Б _{3.4}	Вал	- 2,29%
Б _{8.11}	Ось	- 1,89%
Б _{12.7}	Ось	- 1,89%
Б _{11.7}	Ось	- 1,72%
Б _{12.12}	Накладка	- 1,4%
Б _{12.13}	Щека	- 1,4%
Б _{8.21}	Опора	- 1,26%
Б _{8.6}	Подшипник 1211	- 1,03%

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. 13).

Анализируя причинно-следственную диаграмму (рис. 13), можно сделать вывод, что наибольший риск возникновения потенциальных отказов вносят дефекты каната. Этот факт подтверждается значением коэффициента приоритетного риска, равного 1020. По сравнению с остальными рисками потенциальных отказов блоков и элементов объекта: корпус – 780, траверса – 492, крюк однорогий – 492, редуктор – 461, блок – 396, блок – 396, тормоз – 309, щека – 258, электродвигатель – 248, полумуфта 2-10000-100 – 234, накладка – 234, шкив Ш1-300/59-215 – 222, колесо зубчатое – 204, вал – 196, щека – 168, ось – 162, ось – 162, ось – 147, накладка – 120, щека – 120, опора – 108, подшипник 1211 – 88. Возможные причины отказов блоков и элементов объекта из области риска и значимость последствий приведены в табл. 8.

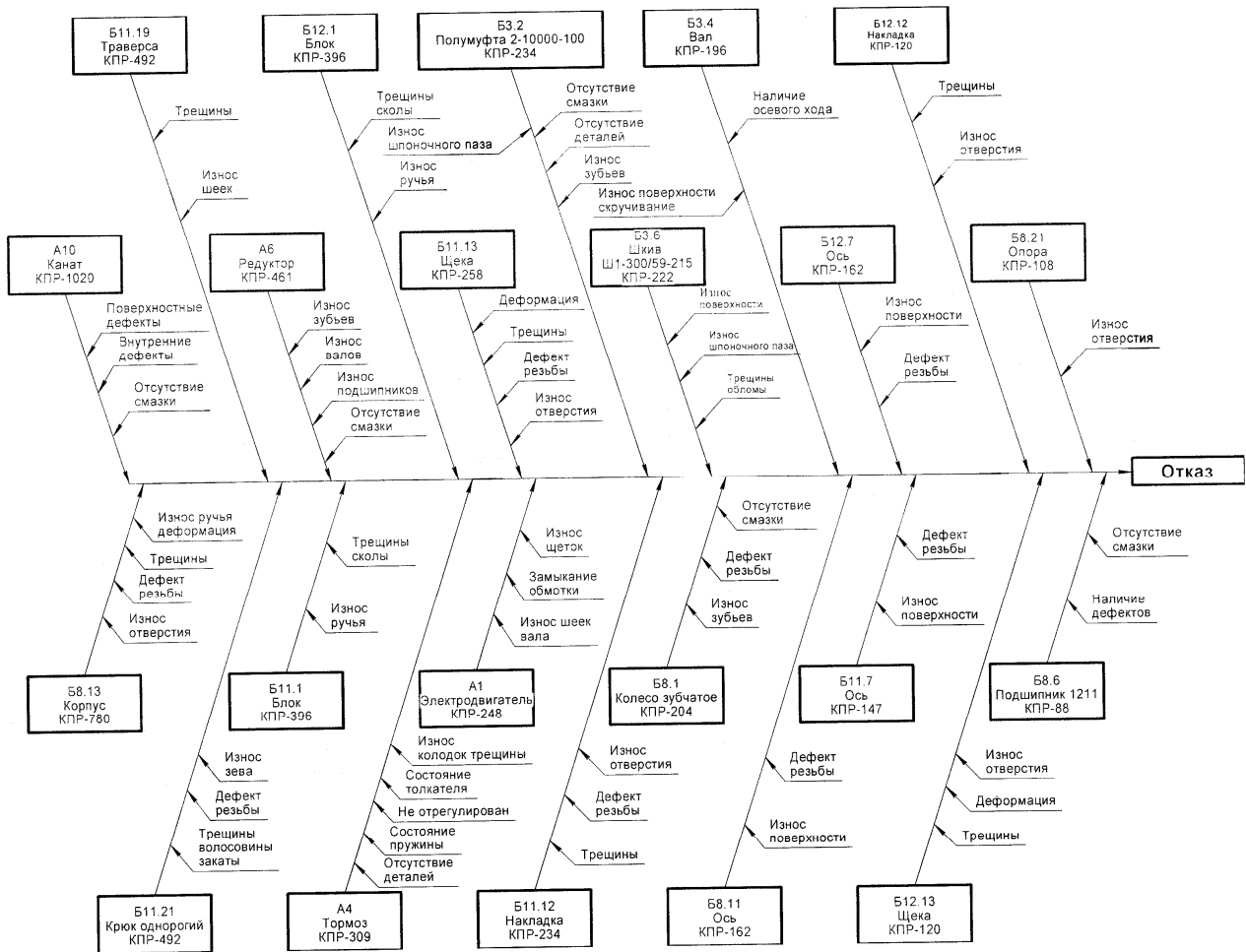


Рис. 13. Диаграмма Исикавы для элементов механизма подъема мостового крана, оказавшихся в зоне риска

Таблица 8

Возможные причины отказов блоков и элементов объекта из области риска и значимость последствий

Элемент конструкции	Возможные отказы	Значимость последствия
Канат	- поверхностные дефекты	Слабая
	- внутренние дефекты	Очень важная
	- отсутствие смазки	Слабая
Корпус	- трещины	Очень важная
	- износ ручья	Умеренная
	- деформация	Умеренная
	- износ отверстия	Умеренная
	- дефект резьбы	Слабая
Траверса	- трещины	Очень важная
	- износ шеек	Умеренная
Крюк однорогий	- износ зева	Очень слабая
	- трещины волосовины	Очень важная
	- дефект резьбы	Умеренная
Редуктор	- отсутствие смазки	Слабая
	- износ зубьев	Умеренная
	- износ шеек валов	Умеренная
	- износ подшипников	Умеренная

Элемент конструкции	Возможные отказы	Значимость последствия
Блок	- трещины, сколы	Слабая
	- износ ручья	Умеренная
Блок	- трещины, сколы	Слабая
	- износ ручья	Умеренная
Тормоз	- не отрегулирован	Незначительная
	- состояние пружины	Слабая
	- отсутствуют детали	Незначительная
	- состояние толкателя	Слабая
	- износ колодок трещины	Слабая
Щека	- трещины	Слабая
	- деформация	Очень слабая
	- износ отверстия	Слабая
	- дефект резьбы	Очень слабая
Электродвигатель	- замыкание обмотки	Умеренная
	- износ щеток	Слабая
	- износ шеек вала	Умеренная
Полумуфта 2-10000-100	- износ шпоночного паза	Умеренная
	- износ зубьев	Умеренная
	- отсутствие смазки	Слабая
	- отсутствие деталей	Незначительная
Накладка	- трещины	Слабая
	- износ отверстия	Слабая
	- дефект резьбы	Очень слабая
Шкив Ш1-300/59-215	- износ поверхности	Слабая
	- износ шпоночного паза	Умеренная
	- трещины, обломы	Слабая
Колесо зубчатое	- износ зубьев	Умеренная
	- отсутствие смазки	Слабая
	- дефект резьбы	Слабая
Вал	- наличие осевого хода	Слабая
	- износ скручивание	Умеренная
Ось	- износ поверхности	Умеренная
	- дефект резьбы	Умеренная
Ось	- износ поверхности	Умеренная
	- дефект резьбы	Умеренная
Ось	- износ поверхности	Умеренная
	- дефект резьбы	Незначительная
Накладка	- трещины	Слабая
	- износ отверстия	Умеренная
Щека	- трещины	Слабая
	- деформация	Слабая
	- износ отверстия	Умеренная
Опора	- износ отверстия	Умеренная
Подшипник 1211	- отсутствие смазки	Слабая
	- наличие дефектов	Умеренная

Выводы. Исследование показывает, что:

1. Лимитирующими элементами в конструкции механизма подъема крюкового электрического мостового крана являются: канат, корпус, траверса, крюк однорогий, редуктор, блок, блок, тормоз, щека, электродвигатель, полумуфта 2-10000-100, накладка, шкив Ш1-300/59-215, колесо зубчатое, вал, ось, ось, ось, накладка, щека, опора, подшипник 1211. Из них по значимости последствия (очень важными) являются: канат, корпус, траверса и крюк однорогий.

2. Несоблюдение паспортных режимов работы и условий эксплуатации, невыполнение требований нормативной документации по диагностике возможных причин отказов специальными процедурами контроля, применение неэффективных методов неразрушающего контроля и средств измерения может приводить к увеличению числа лимитирующих элементов и увеличению риска возникновения потенциальных отказов.

3. Для уменьшения риска возникновения потенциальных отказов необходимо:

- соблюдать паспортный режим работы крана и условия эксплуатации;
- проводить диагностику возможных причин отказов специальными процедурами контроля;
- 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, 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 риска может быть достигнута на основании анализа конструкции, режима работы, эксплуатационной документации, организации работы по техническому обслуживанию и ремонту на основе экспертных оценок техническо-

го 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 / К. Исикава. – 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 N 263 (ред. от 10.12.2016) «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 магнито-порошкового 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, О.О. Шигин. – Красноярск: СФУ, 2008. - 252 с.

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» (г. Карачев, Брянская область), *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 LIFTING MECHANISM ELECTRICAL HOOK BRIDGE CRANE

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

¹ - ООО «Prombezopasnost», Bryansk, Russian Federation

² - JSC "METACLAY", Karachev, Bryansk region, Russian Federation

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: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-303-332

References

1. Analysis of the types and consequences of potential failures. FMEA: right. N. Novgorod: NITs KD; Priority, 1997. 67 p. (In Russian)
2. Ishikawa K. *Yaponskie metody upravleniya kachestvom* [Japanese quality management methods]. Moscow, Economics, 1988. 216 p. (In Russian)
3. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MGTU imeni N.E. Baubana, 2000. 552 p. (In Russian)
4. Kanevsky I.N., Salnikova E.N. Non-destructive methods of control. Vladivostok, Publishing House FESTU, 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 (ed. by 10.12.2016) "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. SO 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.A., Stovbunenko A.Yu., Shigin A.O. *Metallurgicheskie podyemno-transportnye mashiny* [Metallurgical lifting-transport machines]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2008. 252 p. (In Russian)

Authors' information

Ilya L. Ritenman – Expert in the field of industrial safety, 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 публикации
(Date of publication):
25.09.2017

