

УДК 621.86

## ОЦЕНКА РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОХОДНЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ СТРЕЛОВОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Лагерев А.В.<sup>1</sup>, Кончиц С.В.<sup>2</sup>, Блейшмидт Л.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

<sup>2</sup> – Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

<sup>3</sup> – ООО «Промбезопасность», Брянск, Россия

Представлены результаты статистического анализа выявленных при экспертном диагностировании дефектов самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа, отработавших нормативный срок эксплуатации. Наибольшее число дефектов связано с разрушением и износом элементов конструкций, возникновением усталостных трещин и нарушением условий эксплуатации оборудования. Наибольшее число дефектов встречается в гидравлической системе кранов, элементах канатно-блочной системы, реже – в металлоконструкции. Для проведения риск-анализа самоходных стреловых кранов в условиях недостаточной информации предложена методика экспертных оценок. Она позволяет оценить влияние потенциально возможных дефектов самоходных стреловых кранов на величину экономического ущерба самого крана и перемещаемого груза и на величину травматического воздействия на человека.

**Ключевые слова:** безопасность, самоходный стреловой кран, дефект, экспертная оценка, анализ риска, диагностирование.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-02-203-220

В настоящее время самоходные грузоподъемные краны стрелового типа различного конструктивного исполнения отечественного и зарубежного производства нашли самое широкое применение при выполнении большой номенклатуры погрузочно-разгрузочных, перегрузочных, транспортных, монтажно-сборочных и складских работ [1-3]. Это связано с тем, что стреловые самоходные краны являются универсальными грузоподъемными машинами и обладают автономностью привода, большой грузоподъемностью (до 250 т), способностью передвигаться вместе с транспортируемым грузом, высокими маневренностью и мобильностью, широким диапазоном технических характеристик, легкостью перебазирования с одного объекта на другой, возможностью работы с различными типами сменного рабочего оборудования [4].

В то же время, стреловые самоходные краны являются объектами повышенной производственной опасности и их эксплуатация сопряжена с возможностью возникновения аварийных ситуаций как с негативными технико-экономическими, так и социальными последствиями. Поэтому в нормативно-распорядительной документации Ростехнадзора России содержатся требования о необходимости выполнения риск-анализа при проведении работ по экспертному диагностированию технического состояния грузоподъем-

ных кранов, исчерпавших нормативный срок эксплуатации, с учетом количества и наименования выявленных дефектов.

Решению этой задачи посвящен ряд исследований [5-11], выполненных преимущественно в течение нескольких последних лет, однако следует признать, что данная работа находится в начальной стадии и требуется как целенаправленное накопление эксплуатационной информации об особенностях формирования и развития дефектов в несущих металлоконструкциях, механизмах и системах кранов, так и разработка адекватных методов проведения риск-анализа кранов, учитывающих индивидуальные особенности их конструктивного исполнения, режимов и условий эксплуатации, тяжести последствий возможных аварийных ситуаций.

В рамках представленного в данной статье исследования были рассмотрены самоходные стреловые краны нескольких конструктивных типов производства России, Беларуси и ГДР с грузоподъемностью в пределах 10...25 т:

- на колесном шасси с грузоподъемной стрелой решетчатого типа (КС-3562Б, КС-4561А);

- на колесном шасси с грузоподъемной стрелой коробчатого типа (КС-3574, КС-3575, КС-3577, КС-4572, КС-35715-1, СКАТ-25);

- на гусеничном шасси (РДК-25-1).

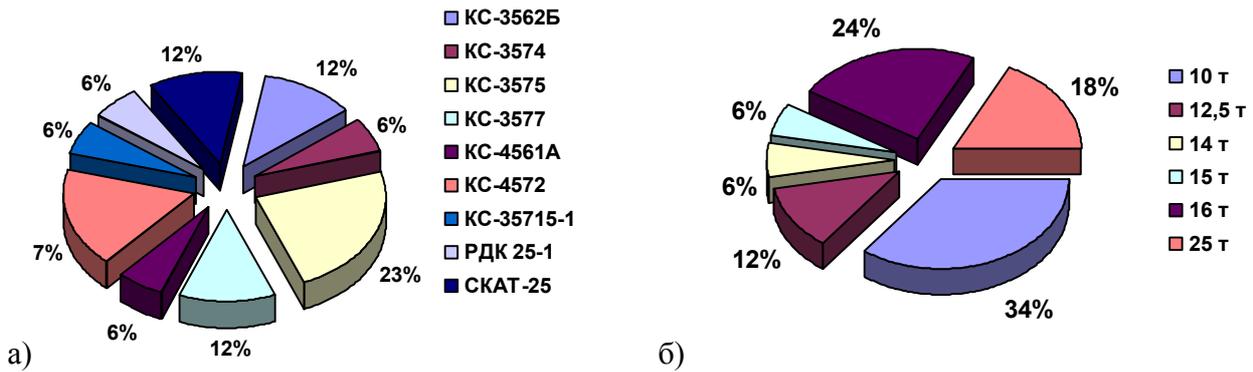


Рис. 1. Распределение обследованных стреловых самоходных кранов: а - по моделям; б – по номинальной грузоподъемности

Распределения числа исследованных кранов по моделям и по номинальной грузоподъемности приведено на рис. 1. Наибольшая доля (35 % - приблизительно одна треть от общего числа) приходится на краны грузоподъемностью 10 т, почти одна четверть (23 %) – на краны грузоподъемностью 16 т, остальные модели кранов имеют грузоподъемность 12,5; 14; 15 и 25 т.

На рис. 2 приведены распределения числа исследованных кранов по паспортной и фактической группам эксплуатации. Основная доля кранов (71 %, т.е. свыше двух тре-

тей от общего числа) относятся к паспортной группе А3 и лишь 23 % (одна четверть) – к паспортной группе А1 (рис. 2, а). Однако распределение числа кранов по фактическим группам (рис. 2, б) заметно отличается от рассмотренного распределения: чуть более половины исследованных кранов (53 %) характеризуются фактической группой А1, а остальные (47 %) - группой А2. Поэтому можно сделать вывод, что исследованные краны эксплуатировались в весьма щадящем режиме.

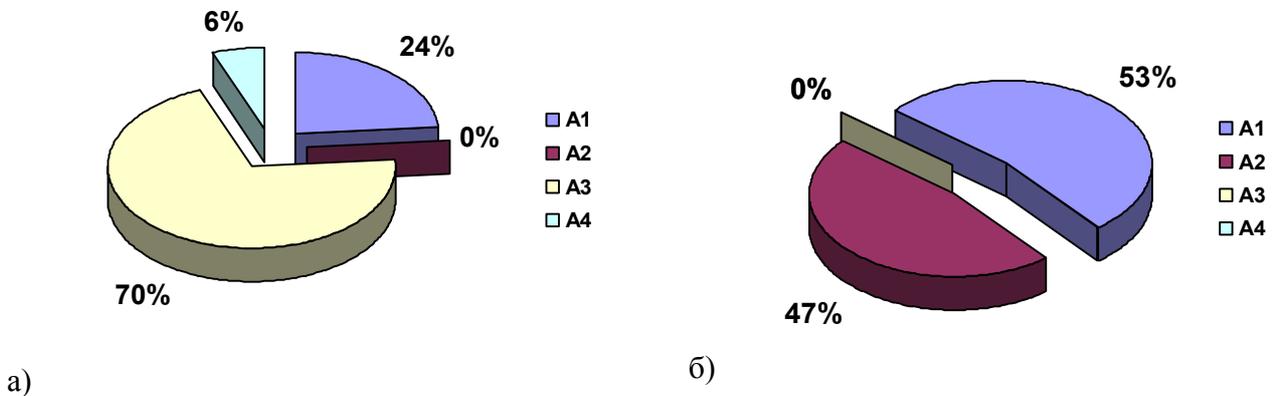


Рис. 2. Распределение обследованных стреловых самоходных кранов по группам эксплуатации: а – паспортной; б – фактической

На рис. 3 представлено распределение кранов по годам выпуска. На момент проведения исследования они проработали от 18 до 35 лет, причем две трети из них (63 %) - не менее 25 лет.

Анализ актов диагностического обследования и дефектных ведомостей исследованных кранов позволил сформировать общий перечень дефектов и классифицировать их по двум признакам:

- причине возникновения;

- месту возникновения (металлоконструкции, механизму или системе).

Распределение выявленных дефектов по указанным признакам приведено на рис. 4. Анализ диаграмм показывает, что наиболее опасные дефекты, обусловленные разрушением конструктивных элементов или наличием в них усталостных трещин (разрушение и трещины в сварных швах грузоподъемных стрел, опорно-поворотных устройств и проушин крепления аутригеров, разрыв прово-

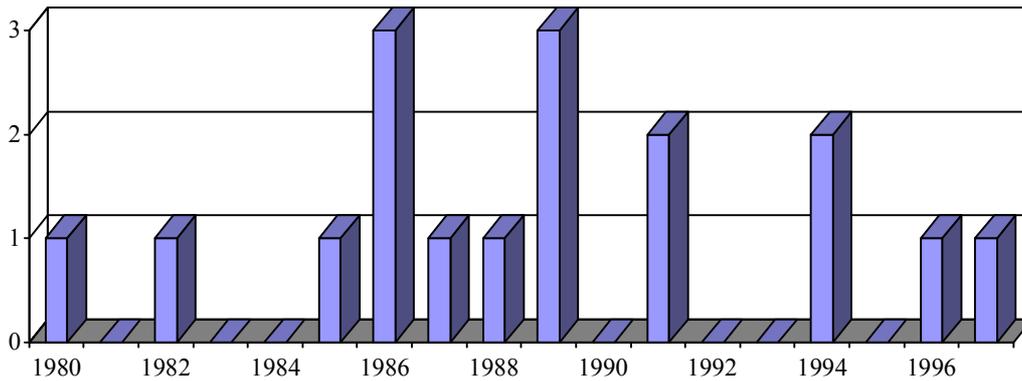
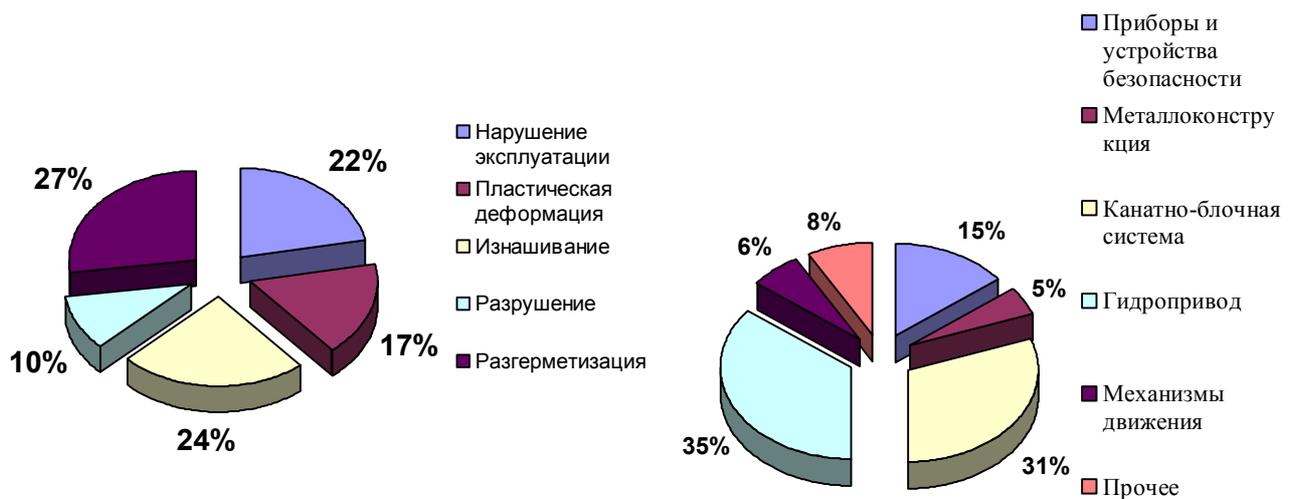


Рис. 3. Распределение числа обследованных стреловых самоходных кранов по годам выпуска

лок канатов и гидролиний и др.), составляют лишь 10 % их числа. Существенная доля приходится на дефекты, обусловленные изнашиванием конструктивных элементов (износ каната, опорных роликов, подшипниковых узлов, элементов канатно-блочной системы, тормозов и др.) - 24 % (т.е. примерно четверть от всего числа дефектов). Чуть меньше приходится на дефекты, обусловленные нарушением требований эксплуатации кранов (разрушение лакокрасочного покрытия, негерметичность гидравлических соединений, недостаток смазки, нарушение узлов крепления каната, отсутствие ограждения и защитных кожухов, неработоспособность устройств безопасности и др.) - 22 %, и на дефекты, обусловленные проявлением пластической деформации элементов металлоконструкции (чрезмерная деформация

элементов и секций стрелы, контактная деформация опорных роликов и крюков и др.) - 17 %. Наибольшая доля (27 %) приходится на мало опасные дефекты, связанные с разгерметизацией уплотнительных поверхностей – утечками рабочей жидкости из гидроцилиндров или гидромоторов, течью в местах соединения трубопроводов или рукавов.

По локализации больше всего дефектов связаны с гидросистемой (35 % от общего числа – чуть более одной трети) и канатно-блочной системой, включая крюковую подвеску (31 % - чуть менее одной трети всех дефектов). Кроме того, заметное число дефектов связано с приборами и системами безопасности кранов (15 %). На дефекты несущей металлоконструкции и механизмов движения приходится по 5...6 %.



а)

б)

Рис. 4. Распределение числа выявленных дефектов: а – по причине возникновения; б – по месту возникновения

Приведенные статистические результаты анализа исследованной группы стреловых самоходных кранов, естественно, не могут претендовать на возможность их обобщения на более широкую современную номенклатуру указанного типа кранов вследствие ограниченности и не репрезентативности исходной информации по типам кранов, срокам их эксплуатации, режимам и особенностям условий работы, качеству технического обслуживания и ремонта и т.д. Известные в настоящее время аналогичные статистические данные, например, представленные в [12, 13], также могут быть использованы лишь для ограниченного круга грузоподъемных машин. Поэтому пока нельзя говорить о возможности проведения полноценного и адекватного риск-анализа конкретных кранов в конкретных условиях эксплуатации, в том числе, стреловых кранов на основе общепризнанных расчетных аналитических методик.

В условиях недостаточной исходной информации и отсутствия устоявшихся методик расчета достаточно эффективным для решения широкого круга практических задач оказывается подход на основе экспертных оценок [14]. Метод экспертных оценок был использован авторами данной статьи для проведения риск-анализа стреловых самоходных кранов.

Экспертная группа была сформирована из специалистов в области проектирования и эксплуатации грузоподъемных кранов в составе 10 человек, имеющих многолетний опыт научной или практической работы и базовое или профильное образование. В том числе, 7 экспертов имеют ученое звание по профильной научной специальности доктора или кандидата технических наук, 6 – аттестованы в системе Ростехнадзора России как эксперты в сфере промышленной безопасности подъемных сооружений.

Для получения первичной информации от экспертов был разработан опросный лист, включающий 5 вопросов и бланк для ответов, в котором были перечислены все потенциально возможные дефекты, встречающиеся при проведении экспертного диагностирования стреловых самоходных кранов с превышенным сроком эксплуатации.

Вопросы были сформулированы следующим образом:

*Вопрос 1.* По Вашему мнению, какие из перечисленных ниже возможных дефектов автомобильных стреловых кранов могут привести к:

А – экономическому ущербу от повреждения самого крана;

Б – травматическому воздействию на человека;

В – экономическому ущербу от повреждения транспортируемого груза.

При ответе для каждого дефекта в графах А, Б, В следует поставить «+», если дефект может привести к соответствующим последствиям, или «-», если привести не может.

*Вопрос 2.* Оцените в баллах от 1 до 5 предполагаемое влияние соответствующего дефекта крана на стоимость его ремонта после аварии крана, вызванной данным дефектом:

1 балл – стоимость ремонта менее 1% первоначальной стоимости крана;

2 балла – св. 1 до 10%;

3 балла – св. 10 до 50%;

4 балла – св. 50 до 80%;

5 баллов – свыше 80% или требуется полная замена крана.

*Вопрос 3.* Оцените в баллах от 1 до 5 предполагаемое влияние соответствующего дефекта крана на величину повреждения перемещаемого груза:

1 балл – повреждение менее 1% стоимости груза;

2 балла – св. 1 до 10%;

3 балла – св. 10 до 50%;

4 балла – св. 50 до 80%;

5 баллов – свыше 80% или полное повреждение груза.

*Вопрос 4.* Оцените в баллах от 1 до 5 величину предполагаемого экономического ущерба, связанного с возникновением при эксплуатации крана соответствующего дефекта:

1 балл – менее 20 тыс. руб.;

2 балла – св. 20 до 50 тыс. руб.;

3 балла – св. 50 до 250 тыс. руб.;

4 балла – св. 250 до 500 тыс. руб.;

5 баллов – св. 500 тыс. руб.

*Вопрос 5.* Оцените в баллах от 1 до 5 предполагаемое влияние последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих

краном или находящихся в непосредственной близости от него:

- 1 балл – не влияет;
- 2 балла – травмы легкой степени тяжести;
- 3 балла – травмы средней степени тяжести;
- 4 балла – травмы тяжелой степени тяжести;
- 5 баллов – летальный исход.

Принятая форма бланка для ответов экспертов приведена в табл. 1. Здесь же проставлены:

- число экспертов, давших утвердительный ответ относительно реализации последствий А, Б и В возникновения дефектов согласно вопроса 1 (графа В1, подграфы А, Б, В);

- средние значения  $\bar{x}_{ij}$  полученных ответов экспертов на вопросы 2...5 (графы В2...В5), которые вычислялись в соответствии с зависимостью:

$$\bar{x}_{ij} = 0,1 \sum_{m=1}^{m=10} x_{ij,m}, \quad (1)$$

где  $x_{ij,m}$  - балл, поставленный в опросном листе  $m$ -м экспертом при оценке влияния  $j$ -го дефекта из  $i$ -й группы ( $i=1,2,3,4$ ) на соответствующий вопрос В2, В3, В4 или В5.

Таблица 1

Средние значения ответов экспертов на вопросы опросного листа

№ п/п	Возможные дефекты	В1			В2	В3	В4	В5
		А	Б	В				
<b>1. Несущие металлоконструкции</b>								
1	Недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы	10	9	10	3,6	4,5	3,7	4,3
2	Недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы	10	9	10	4,1	4,0	3,5	3,9
3	Недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции стрелы (раскосов, стоек, поясов, сплошных листовых элементов)	10	7	8	2,9	3,8	2,7	3,2
4	Недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы	10	6	6	3,2	2,9	2,6	3,0
5	Наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы	10	8	10	2,8	3,8	2,5	3,8
6	Наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции рамы	10	7	7	3,4	2,9	2,5	3,4
7	Наличие элементов металлоконструкции стрелы с усталостным или хрупким разрушением	10	8	10	3,3	4,0	2,8	3,8
8	Наличие элементов металлоконструкции рамы с усталостным или хрупким разрушением	10	7	8	3,8	3,3	2,8	3,7
9	Повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов стрелы	9	6	8	2,7	2,8	2,4	3,2
10	Повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы	9	4	4	3,2	2,4	2,4	3,3
11	Недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой	10	8	9	3,1	3,7	2,6	3,7
12	Обрыв элементов болтовых соединений	10	6	9	2,5	3,4	2,1	3,6
13	Нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций	6	0	0	1,3	1,0	1,2	1,3
<b>2. Узлы и детали механизмов движения</b>								
1	Недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства	10	5	6	2,2	2,3	2,3	2,2
2	Обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства	10	9	9	2,3	2,9	2,3	3,3

Продолжение табл. 1

№ п/п	Возможные дефекты	В1			В2	В3	В4	В5
		А	Б	В				
3	Недопустимое повреждение грузового каната	7	9	10	2,0	4,6	2,1	4,4
4	Наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка	6	9	10	1,5	4,3	1,5	4,2
5	Недопустимое увеличение ширины зева крюка	5	8	9	1,4	3,9	1,5	3,6
6	Повышенное сопротивление вращению крюка	3	2	6	1,3	1,9	1,3	1,9
7	Отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески	3	6	9	1,3	3,3	1,4	3,5
8	Отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески	4	6	8	1,4	3,6	1,5	3,1
9	Наличие трещин и изломов реборд канатных блоков	8	4	9	1,8	3,2	1,7	3,3
10	Недопустимый износ ручьев канатных блоков	5	3	8	1,8	2,7	1,6	2,9
11	Наличие трещин и трещиноподобных дефектов барабанов	8	4	8	2,1	2,8	2,1	2,6
12	Наличие среза или повышенного износа гребней или ручьев, стенки барабана	7	4	6	2,2	2,7	2,2	2,6
13	Неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента	6	9	10	1,9	3,5	1,6	4,0
14	Наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок	7	9	10	1,8	3,2	1,7	4,2
15	Недопустимый износ по глубине, волнистость поверхности тормозных шкивов или обкладок колодок	7	8	10	2,0	3,2	1,7	3,3
16	Наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов	5	9	10	1,7	3,1	1,5	3,6
17	Наличие трещин, облом лап и фланцев корпусов редукторов и подшипниковых узлов	7	3	3	1,9	2,2	1,9	2,3
18	Недостаточное количество, загрязненность смазочного материала в редукторах и подшипниковых узлах	7	0	0	1,4	1,1	1,4	1,1
19	Недопустимые радиальные и осевые люфты, износ отверстий подшипников	7	0	1	1,6	1,3	1,4	1,2
20	Наличие разрушения, износа, трещин, цветов побежалости дорожек качения и элементов подшипников	8	0	1	1,4	1,3	1,4	1,3
21	Наличие трещин, обломов, выкрашивания, пластической деформации, износа зубчатой передачи механизма поворота	9	3	4	2,2	2,3	2,3	2,3
22	Негерметичность гидравлических систем, повышенные утечки смазочного материала или рабочей жидкости	8	4	4	1,8	2,4	1,6	2,3
23	Неработоспособность аутригера	10	10	10	3,3	3,9	2,3	4,3
<b>3. Электрооборудование</b>								
1	Обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов	7	10	1	1,7	1,1	1,7	4,5
2	Неработоспособность автоматических выключателей и пакетных переключателей панелей управления	8	7	6	1,6	2,0	1,8	3,0
3	Повреждение, отказ контрольно-измерительных приборов пульта управления	8	5	6	2,2	2,5	2,1	2,5
4	Разрушение или недостаточная величина сопротивления изоляции устройств и агрегатов	6	8	1	1,5	1,4	1,5	2,9

Окончание табл. 1

№ п/п	Возможные дефекты	В1			В2	В3	В4	В5
		А	Б	В				
5	Наличие трещин, облом лап и фланцев корпусов электродвигателей	8	4	2	1,8	1,6	1,9	2,2
6	Повреждение клеммных коробок электродвигателей	8	2	0	1,3	1,1	1,4	1,6
7	Недопустимый износ или разрушение токосъемных щеток электродвигателей	7	0	1	1,4	1,4	1,4	1,1
4. Приборы безопасности								
1	Отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка	10	8	9	2,4	4,0	2,0	3,5
2	Отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности	10	10	9	2,8	4,4	2,1	4,7
3	Отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения	9	9	5	2,1	2,6	1,8	4,6
4	Отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена	10	10	10	2,4	4,0	2,2	4,1
5	Отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана	9	9	10	2,4	3,8	2,1	3,7

Для оценки адекватности результатов метода экспертных оценок важное значение имеет степень совпадения мнений отдельных экспертов между собой. Она может быть выражена числом совпадающих ответов или величиной интервала разброса количественных характеристик ответов.

Первый подход, связанный с анализом количества совпадающих ответов, удобно использовать для вопроса 1. При этом была разработана шкала эквивалентности числа ответов и степени совпадения мнения экспертов о возможности влияния дефектов на реализацию последствий А, Б и В (табл. 2).

Таблица 2

Шкала эквивалентности числа совпадающих ответов и степени совпадения мнения экспертов

Число ответов	Степень совпадения мнения экспертов
0	Полное совпадение мнений экспертов об отсутствии влияния дефекта
1	Практически полное совпадение мнений экспертов об отсутствии влияния дефекта
2, 3	Недостаточное совпадение мнений экспертов об отсутствии влияния дефекта
4-6	Несовпадение мнений экспертов об отсутствии или наличии влияния дефекта
7, 8	Недостаточное совпадение мнений экспертов о наличии влияния дефекта
9	Практически полное совпадение мнений экспертов о наличии влияния дефекта
10	Полное совпадение мнений экспертов о наличии влияния дефекта

Анализ данных табл. 1 показывает, что полное или практически полное совпадение мнений экспертов относительно влияния дефектов на величину экономического ущерба от повреждения собственно крана и транспортируемого груза, а также величину травматического воздействия на человека получено для следующих дефектов:

*экономический ущерб от повреждения собственно крана (дефект влияет):*

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;
- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;
- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции стрелы (рас-

косов, стоек, поясов, сплошных листовых элементов);

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы;

- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы;

- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов стрелы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;

- наличие трещин, обломов, выкрашивания, пластической деформации, износа зубчатой передачи механизма поворота;

- неработоспособность аутригера;

- отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка;

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;

- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения;

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена;

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана;

*экономический ущерб от повреждения транспортируемого груза (дефект влияет):*

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;

- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы;

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой;

- обрыв элементов болтовых соединений;

- обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;

- недопустимое повреждение грузового каната;

- недопустимое увеличение ширины зева крюка;

- отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- наличие трещин и изломов реборд канатных блоков;

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента;

- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок;

- недопустимый износ по глубине, волнистость поверхности тормозных шкивов или обкладок колодок;

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов;

- неработоспособность аутригера;

- отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка;

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена;

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана;

*экономический ущерб от повреждения транспортируемого груза (дефект не влияет):*

- нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций;

- недостаточное количество, загрязненность смазочного материала в редукторах и подшипниковых узлах;

- недопустимые радиальные и осевые люфты, износ отверстий подшипников;

- наличие разрушения, износа, трещин, цветов побегалости дорожек качения и элементов подшипников;

- обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов;

- разрушение или недостаточная величина сопротивления изоляции устройств и агрегатов;

- повреждение клеммных коробок электродвигателей;

- недопустимый износ или разрушение токосъемных щеток электродвигателей;

*травматическое воздействие на человека (дефект влияет):*

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;

- обрыв элементов болтовых соединений;

- обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;

- недопустимое повреждение грузового каната;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента;

- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок;

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов;

- неработоспособность аутригера;

- обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов;

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;

- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения;

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена;

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана;

*травматическое воздействие на человека (дефект не влияет):*

- нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций;

- недостаточное количество, загрязненность смазочного материала в редукторах и подшипниковых узлах;

- недопустимые радиальные и осевые люфты, износ отверстий подшипников;

- наличие разрушения, износа, трещин, цветов побежалости дорожек качения и элементов подшипников;

- недопустимый износ или разрушение токосъемных щеток электродвигателей.

Представляет также интерес перечень потенциально возможных дефектов самоходных стреловых кранов, относительно которых эксперты не пришли ни к какому согла-

сованному выводу о влиянии или отсутствии влияния на экономический ущерб собственно крану и транспортируемому грузу и на травматическое воздействие на человека. Результаты оказались следующие:

*экономический ущерб от повреждения собственно крана:*

- нарушение лакокрасочного покрытия несущих металлоконструкций;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;

- недопустимое увеличение ширины зева крюка;

- отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески;

- недопустимый износ ручьев канатных блоков;

- наличие трещин и трещиноподобных дефектов барабанов;

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента;

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов;

- разрушение или недостаточная величина сопротивления изоляции устройств и агрегатов;

*экономический ущерб от повреждения транспортируемого груза:*

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- повышенное сопротивление вращению крюка;

- наличие среза или повышенного износа гребней или ручьев, стенки барабана;

- наличие трещин, обломов, выкрашивания, пластической деформации, износа зубчатой передачи механизма поворота;

- негерметичность гидравлических систем, повышенные утечки смазочного материала или рабочей жидкости;

- неработоспособность автоматических выключателей и пакетных переключателей панелей управления;

- повреждение, отказ контрольно-измерительных приборов пульта управления;
- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения;

*травматическое воздействие на человека:*

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов стрелы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;

- обрыв элементов болтовых соединений;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;

- отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески;

- отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески;

- наличие трещин и изломов реборд канатных блоков;

- наличие среза или повышенного износа гребней или ручьев, стенки барабана;

- негерметичность гидравлических систем, повышенные утечки смазочного материала или рабочей жидкости;

- повреждение, отказ контрольно-измерительных приборов пульта управления;

- наличие трещин, облом лап и фланцев корпусов электродвигателей.

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 2 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени влияния соответствующего дефекта крана на стоимость ремонта крана после аварии, вызванной данным дефектом. Результаты приведены на рис. 5, причем стоимость ремонта представлена как относительная величина, т.е. выражена в процентах от общей стоимости самого крана. Это сделано с той целью, чтобы полученные результаты не были привязаны к переменной во времени стоимости крана. Перечень дефектов на рис. 5 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1.

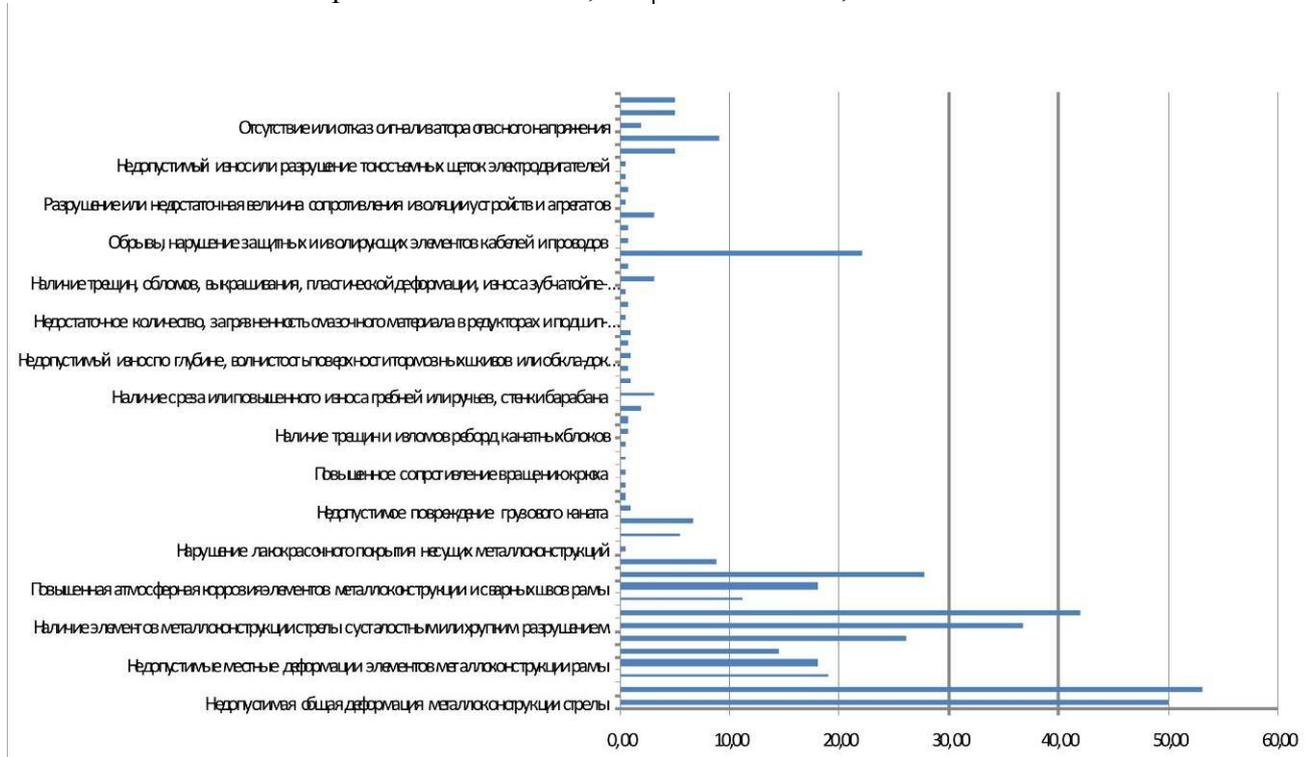


Рис. 5. Результаты средневзвешенной оценки экспертов относительной стоимости ремонта крана после аварии, вызванной соответствующим дефектом (в % от общей стоимости крана)

Осредненная оценка стоимости ремонта была рассчитана как

$$\bar{y}_{ij}^{(k)} = 0,1 \sum_{m=1}^{m=10} y_{ij,m}^{(k)}, \quad (2)$$

где  $y_{ij,m}^{(k)}$  - среднее значение количественной оценки поставленного  $m$ -м экспертом балла  $x_{ij,m}$  при ответе на  $k$ -й вопрос опросного листа ( $k=2, 3, 4$ ).

Согласованное мнение экспертов о степени влияния соответствующего дефекта крана на стоимость ремонта крана после аварии, вызванной данным дефектом, показывает, что наиболее экономически затратными ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} \geq 20$  % общей стоимости крана) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов (расположены в порядке убывания значимости):

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} = 53$  %);
- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} = 50$  %);

- наличие элементов металлоконструкции рамы с усталостным или хрупким разрушением ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} = 42$  %);

- наличие элементов металлоконструкции стрелы с усталостным или хрупким разрушением ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} = 37$  %);

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} = 28$  %);

- наличие трещин, непроваров и других дефектов сварных швов металлоконструкции рамы ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} = 26$  %);

- неработоспособность аутригера ( $\bar{y}_{ij}^{(2)} = 22$  %).

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 3 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени влияния соответствующего дефекта крана на величину повреждения перемещаемого груза, вызванного соответствующим дефектом. Результаты приведены на рис. 6, причем величина повреждения представлена как относительная величина, т.е. выражена в процентах от стоимости груза. Перечень дефектов на рис. 6 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1. Осредненная оценка относитель-

ной стоимости повреждения груза была рассчитана по зависимости (1).

Согласованное мнение экспертов о степени влияния соответствующего дефекта крана на относительную стоимость повреждения перемещаемого груза, показывает, что наиболее экономически затратными ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} \geq 50$  % стоимости груза) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов (расположены в порядке убывания значимости):

- недопустимое повреждение грузового каната ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 92$  %);

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 90$  %);

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 88$  %);

- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 86$  %);

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$  %);

- наличие элементов металлоконструкции стрелы с усталостным или хрупким разрушением ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$  %);

- отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$  %);

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 80$  %);

- недопустимое увеличение ширины зева крюка ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 77$  %);

- неработоспособность аутригера ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 77$  %);

- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции стрелы (раскосов, стоек, поясов, сплошных листовых элементов) ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 74$  %);

- наличие трещин, непроваров и других дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 74$  %);

- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 74$  %);

- недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 71$  %);

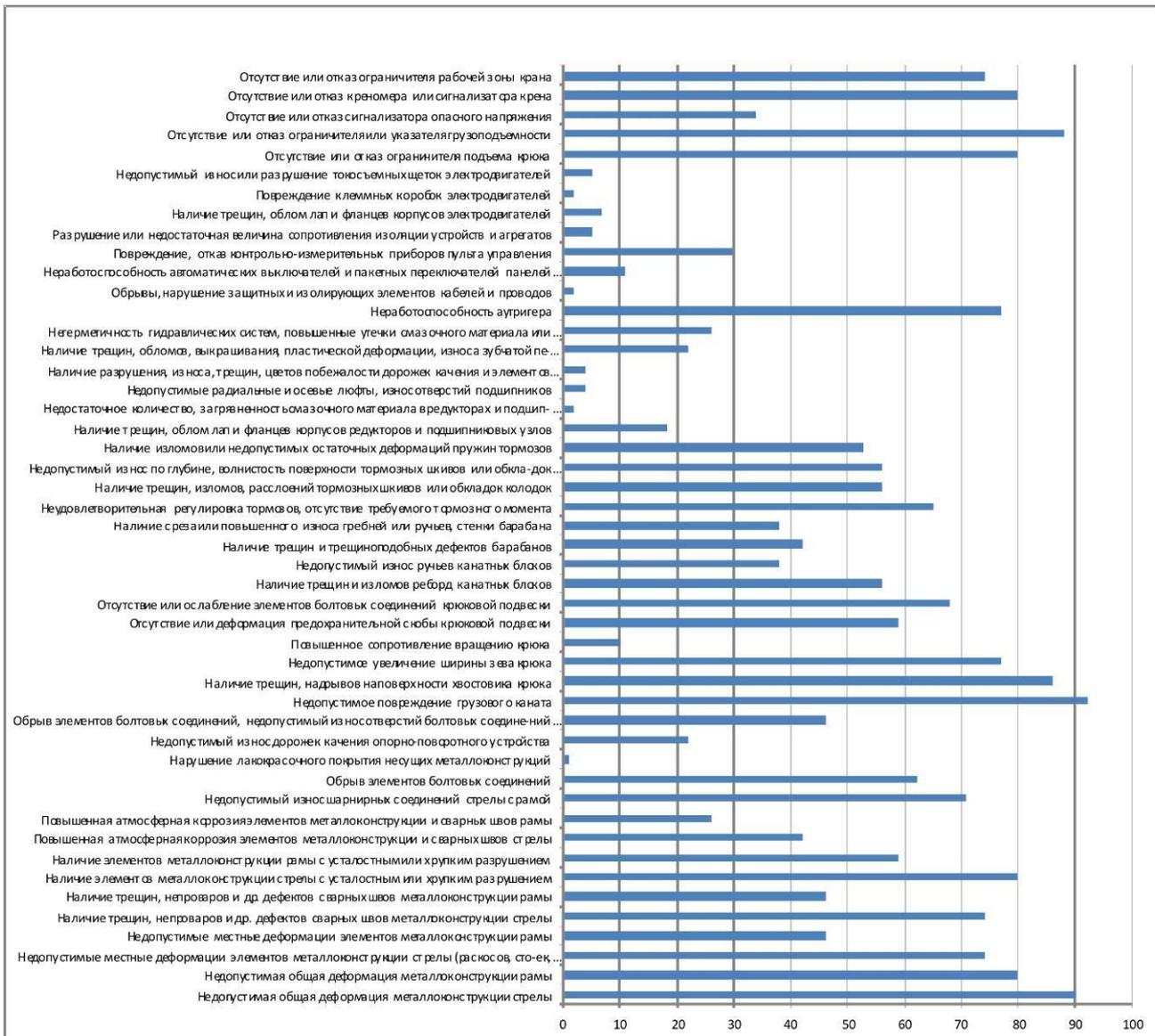


Рис. 6. Результаты средневзвешенной оценки экспертов относительной стоимости повреждения перемещаемого груза, вызванного соответствующим дефектом (в % от стоимости груза)

- отсутствие или ослабление элементов болтовых соединений крюковой подвески ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 68 \%$ );

- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 65 \%$ );

- обрыв элементов болтовых соединений ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 62 \%$ );

- наличие элементов металлоконструкции рамы с усталостным или хрупким разрушением ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 59 \%$ );

- отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 59 \%$ );

- наличие трещин и изломов ребер канатных блоков ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 56 \%$ );

- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 56 \%$ );

- недопустимый износ по глубине, волнистость поверхности тормозных шкивов или обкладок колодок ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 56 \%$ );

- наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов ( $\bar{y}_{ij}^{(3)} = 53 \%$ ).

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 4 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о величине предполагаемого экономического ущерба, связанного с воз-

никновением при эксплуатации крана соответствующего дефекта. Результаты приведены на рис. 7, причем величина повреждения представлена как абсолютная величина, т.е. выражена в рублях на момент проведения данного исследования (май 2015 г.). Пере-

чень дефектов на рис. 7 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1. Осредненная оценка абсолютной величины предполагаемого экономического ущерба была рассчитана по зависимости (2).

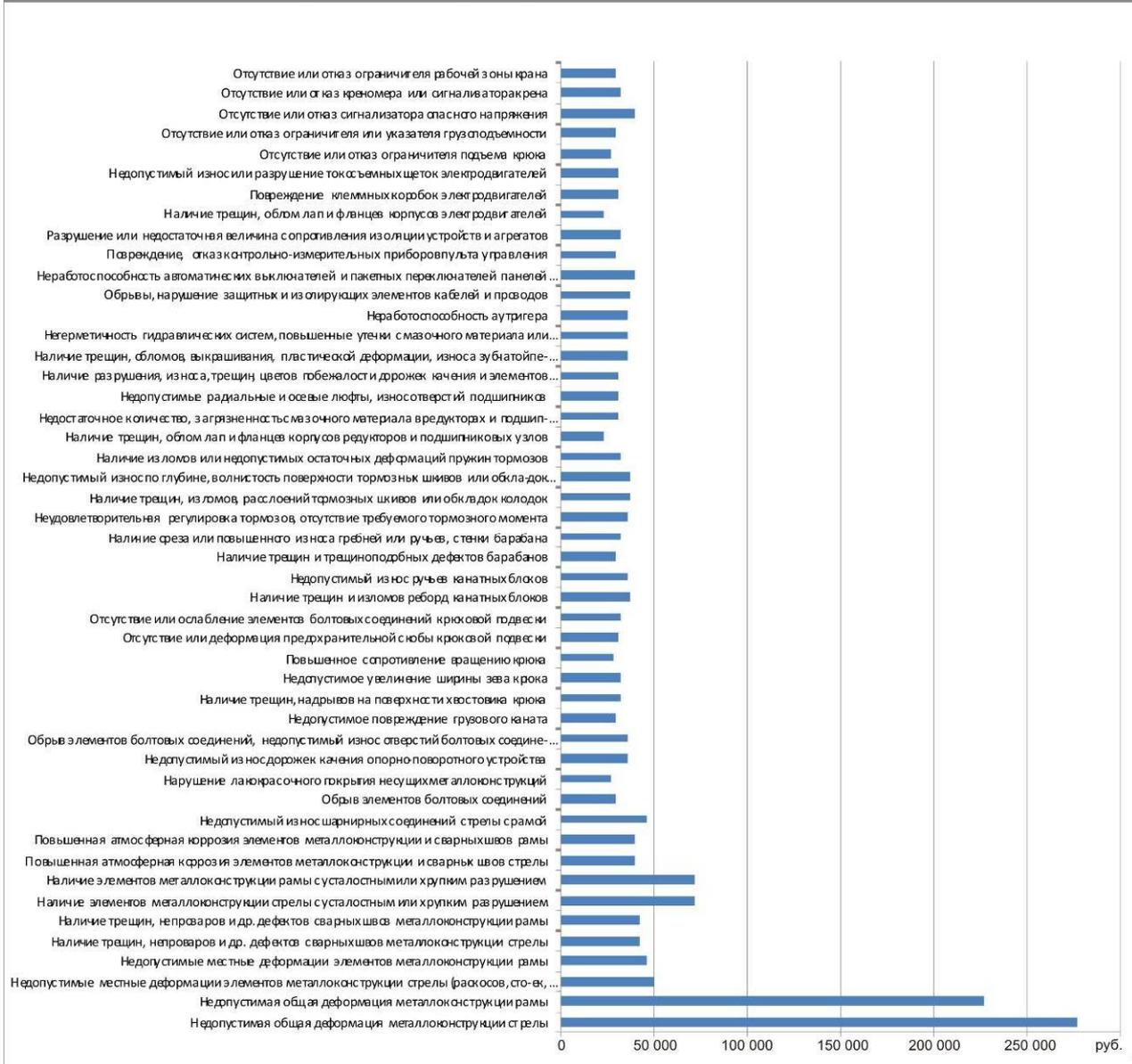


Рис. 7. Результаты средневзвешенной оценки экспертами величины предполагаемого экономического ущерба, вызванного соответствующим дефектом

Согласованное мнение экспертов о величине предполагаемого экономического ущерба, связанного с возникновением при эксплуатации крана соответствующего дефекта, показывает, что наиболее экономически опасными ( $\bar{y}_{ij}^{(4)} \geq 200\ 000$  руб.) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов:

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ( $\bar{y}_{ij}^{(4)} = 278\ 000$  руб.);

- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы ( $\bar{y}_{ij}^{(4)} = 228\ 000$  руб.).

Статистическая обработка ответов экспертов на вопрос 5 опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени предполагаемого влияния последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих краном или находящихся в непосредственной близости от

него. Результаты приведены на рис. 8, причем степень влияния выражена средним значением баллов, поставленных экспертами. Перечень дефектов на рис. 8 приведен в той же последовательности, что и в табл. 1. Осредненная оценка степени влияния была рассчитана по зависимости (1).

Согласованное мнение экспертов о степени предполагаемого влияния последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих краном или находящихся в непосредственной близости от него, показывает, что наиболее социально опасными (способными привести к летальному исходу или



Рис. 8. Результаты средневзвешенной оценки экспертов балла, характеризующего степень предполагаемого влияния последствий возникновения соответствующего дефекта крана на жизнь и здоровье людей, управляющих краном или находящихся в непосредственной близости от него

травмам тяжелой степени тяжести, т.е.  $\bar{x}_{ij}^{(5)} \geq 4$ ) являются последствия аварий вследствие возникновения следующих дефектов (расположены в порядке убывания среднего значения балла):

- отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,7$ );
- отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,6$ );
- обрывы, нарушение защитных и изолирующих элементов кабелей и проводов ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,5$ );
- недопустимое повреждение грузового каната ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,4$ );
- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,3$ );
- неработоспособность аутригера ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,3$ );
- наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,2$ );
- наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,2$ );
- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,1$ );
- неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента ( $\bar{x}_{ij}^{(5)} = 4,0$ ).

Статистические данные о частоте встречаемости того или иного дефекта, получаемые при анализе ведомостей дефектов обследуемого массива стреловых самоходных кранов, являются основой для расчета вероятности его возникновения в пределах некоторого временного промежутка времени эксплуатации, например, одного календарного года. Ориентировочные

оценки указанной вероятности для  $ij$ -го дефекта могут быть выполнены с помощью следующего соотношения

$$p_{ij} \approx \frac{1}{L_{cr}} \sum_{l=1}^{l=L_{cr}} \frac{n_{ij}}{\Delta T_l},$$

где  $L_{cr}$  - общее число обследованных кранов;  $\Delta T_l$  - промежуток времени, выраженный в календарных годах, между двумя диагности-

ческим обследованиями  $l$ -го крана;  $n_{ij}$  - число раз возникновения  $ij$ -го дефекта за промежуток времени  $\Delta T_l$ .

Наряду с имеющимися результатами средневзвешенной оценки экспертами величины предполагаемого экономического ущерба, вызванного соответствующим дефектом, знание вероятностей  $p_{ij}$  позволяет выполнить ориентировочную оценку величины технического риска [15] при эксплуатации стреловых самоходных кранов с помощью зависимости:

$$R_T = \sum_{ij} R_{Tij} = \sum_{ij} p_{ij} \bar{y}_{ij}^{(4)}, \quad (3)$$

где  $R_{Tij}$  - технический риск вследствие отказа из-за возникновения  $ij$ -го дефекта;  $p_{ij}$  - вероятность возникновения  $ij$ -го дефекта в пределах одного календарного года.

Расчет технического риска по формуле (3) применительно к обследованным стреловым самоходным кранам с учетом приведенных выше экспериментальных статистических данных и экспертных оценок показал, что величина  $R_T \sim 53\,000$  руб./год.

Представленная в данной работе методика оценки технического риска стреловых самоходных кранов позволяет выполнять приближенные оценки или экспресс-оценки значения технического риска в процессе эксплуатации указанных грузоподъемных машин в условиях недостаточности необходимой информации о величине слагаемых риска – вероятностях возникновения отказов вследствие проявления тех или иных характерных дефектов металлоконструкции, механизмов движения, систем энергообеспечения и безопасности, а также связанного с этим экономических потерь. Повышение достоверности оценки технического риска может быть достигнуто как увеличением объема первичной статистической информации о частоте возникновения дефектов на основе расширения числа и типоразмеров обследованных стреловых самоходных кранов, так и повышением качества экспертных оценок.

### Список литературы

1. Вайнсон, А.А. Подъемно-транспортные машины / А.А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.

2. Белецкий, Б.Ф. Технология и механизация строительного производства / Б.Ф. Белецкий. – Ростов н/Д.: Феникс, 2004. – 752 с.
3. Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов / И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с.
4. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
5. Котельников, В.С. Диагностика и риск-анализ металлических конструкций грузоподъемных кранов / В.С. Котельников, А.А. Короткий, А.Н. Павленко, И.И. Еремин. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2006. – 315 с.
6. Лагерев, А.В. Оптимальное управление техническим риском при проектировании гидропривода грузоподъемных машин / А.В. Лагерев, Е.А. Лагерева // Известия МГТУ «МАМИ». - 2015. – Т.1. - № 3. – С. 60-66.
7. Кобзев, Р.А. Методы оптимального проектирования козловых кранов высокого класса ответственности: дис. ... доктора техн. наук / Кобзев Роман Анатольевич. – Саратов, 2014. – 384 с.
8. Емельянова, Г.А. Методология повышения надежности грузоподъемного оборудования при обеспечении требуемых критериев риска: дис. ... доктора техн. наук / Емельянова Галина Александровна. – Москва, 2017. – 384 с.
9. Горынин А.Д., Анцев В.Ю., Толоконников А.С. Методика анализа риска отказа металлоконструкции пролетного строения мостового крана на базе имитационного моделирования процесса эксплуатации // Механизация строительства. - 2015. - № 8 (854). - С. 9-10.
10. Лагерев, А.В. Вероятностная оценка надежности гидропривода кранов-манипуляторов путем имитационного моделирования потока отказов элементов / А.В. Лагерев, Е.А. Лагерева, И.А. Лагерев // Приводы и компоненты машин. - 2012.- № 2-3.- С. 2-5.
11. Лагерев, А.В. Прогнозирование кинетики показателей надежности гидроприводов подъемно-транспортной техники на основе имитационного моделирования потока отказов элементов / А.В. Лагерев, В.И. Аверченков, Е.А. Лагерева // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2012. - № 2.- С. 8-16.
12. Анцев, В.Ю. Дефекты и отказы автомобильных кранов / В.Ю. Анцев, П.В. Витчук, К.Ю. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. -2016. - № 7-1. - С. 88-93.
13. Анцев, В.Ю. Классификация дефектов и отказов грузоподъемных машин / В.Ю. Анцев, П.В. Витчук, К.Ю. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2015. - № 10. - С. 121-128.
14. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
15. Вишняков, Я.Д. Общая теория рисков / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – М.: Академия, 2008. – 368 с.

#### Сведения об авторах

Лагерев Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», [bsu-avl@yandex.ru](mailto:bsu-avl@yandex.ru).

Кончиц Сергей Владимирович - аспирант ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», [st0974@mail.ru](mailto:st0974@mail.ru).

Блейшмидт Леонид Израйлович – кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора ООО «Промбезопасность», [lblshdt@rambler.ru](mailto:lblshdt@rambler.ru).

## RISK ASSESSMENT DURING OPERATING SELF-PROPELLED LIFTING JIB CRANES IN CONDITIONS OF INSUFFICIENT INFORMATION

Lagerev A.V.<sup>1</sup>, Konchits S.V.<sup>2</sup>, Bleyshmidt L.I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

<sup>2</sup> - Bryansk State Agricultural University, Bryansk, Russian Federation

<sup>3</sup> - Limited Society «Prombezopasnost», Bryansk, Russian Federation

Presents the results of statistical analyses identified by the expert diagnostics of defects of the self-propelled lifting jib cranes, spent a normative term of exploitation. The greatest number of defects associated with the destruction and deterioration of structural elements, the occurrence of fatigue cracks and a violation of the conditions of operation of the equipment. The greatest number of defects occurs in the hydraulic system of cranes, the rope-block system, and rarely in steel structures. To conduct risk analysis of self-propelled jib cranes in case of insufficient information, proposed the method of expert estimations. It allows to assess the impact of potential defects on self-propelled jib cranes on the value of the economic damage of the crane and moving cargo and the value of the traumatic exposure on men. The proposed list of possible defects self-propelled lifting jib cranes and a checklist of questions about the degree of influence of these defects. Proposed calculated dependences to the approximate calculation of the magnitude of technical risk in the operation of self-propelled jib cranes. The results of statistical analysis of expert estimations for each possible defect and performed their ranking in terms of impact on the magnitude of the economic damage of the crane and moving loads, the value of the traumatic exposure. Was calculated the value of technical risk for the surveyed taps.

**Key words:** safety, self-propelled lifting jib crane, defect, expert evaluation, risk analysis, diagnostics.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-02-203-220

### References

1. Vaynson A.A. *Podemno-transportnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. 536 p. (In Russian)
2. Beletskiy B.F. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Technology and mechanization of construction production]. Rostov-na-Donu, Feniks, 2004. 752 p.
3. Lagerev I.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov manipulyatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselevykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov* [Modeling of work processes in manipulation systems for mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 371 p. (In Russian)
4. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman, 2000. 552 p. (In Russian)
5. Kotelnikov V.S., Korotkiy A.A., Pavlenko A.N., Eremin I.I. *Diagnostika i risk-analiz metallicheskih konstruktivnykh gruzopodemnykh kranov* [Diagnosis and risk analysis of metal structures of cranes]. Novocherkassk: UPC «Nabla» YuRGTU (NPI), 2006. 315 p. (In Russian)
6. Lagerev A.V., Lagereva E.A. Optimal management of technical risk the design of the hydraulic lifting machines drive. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2015, Vol.1, No.3, pp. 60-66. (In Russian)
7. Kobzev R.A. Methods of optimal design gantry cranes with high-class responsibility. *Doct. Diss. (Engineering)*. Saratov, 2014. 384 p. (In Russian)
8. Emelyanova G.A. Methodology to enhance reliability of lifting equipment in ensuring the desired risk criteria. *Doct. Diss. (Engineering)*. Moscow, 2017. 384 p. (In Russian)
9. Gorynin A.D., Antsev V.Yu., Tolokonnikov A.S. The method of analysis of the risk of failure of steel structures of the superstructure of the bridge crane on the basis of imitating modeling of process of operation. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2015, No.8, pp. 9-10. (In Russian)
10. Lagerev A.V., Lagereva E.A., Lagerev I.A. Probabilistic estimation of reliability of the hydraulic drive of crane-manipulators simulation-based flow of element failures. *Pryvody i komponenty mashin*, 2012, No.2-3, pp. 2-5. (In Russian)
11. Lagerev A.V., AVerchenkov V.I., Lagereva E.A. Prediction of kinetics of dependability indices hydraulic drive of load-haul-dump machines simulation-based flow of element failures. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No.2, pp. 8-16. (In Russian)
12. Antsev V.Yu., Vitchuk P.V., Krylov K.Yu. Defects and failures of truck cranes. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo univer-*

*siteta. Tekhnicheskie nauki*, 2016, No.7-1, pp. 88-93. (In Russian)

13. Antsev V.Yu., Vitchuk P.V., Krylov K.Yu. Classification of defects and failure of lifting machines. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2015, No.10, pp. 121-128. (In Russian)

14. Litvak B.G. *Ekspertnye otsenki i prinyatie resheniy* [Expert assessment and decision-making]. Moscow, Patent, 1996. 271 p. (In Russian)

15. Vishnyakov Ya.D., Radaev N.N. *Obshchaya teoriya riskov* [General theory of risks]. Moscow, Akademiya, 2008. 368 p. (In Russian)

#### **Authors' information**

Alexander V. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *bsu-avl@yandex.ru*.

Sergey V. Konchits – postgraduate at Bryansk State Agricultural University, *st0974@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):  
25.06.2017

