



## **ОЦЕНКА НА РИСКА ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА БОРДОВИ КРАНОВЕ**

**Цветелин Цветков**  
[volga\\_71@abv.bg](mailto:volga_71@abv.bg)

**ВТУ „Тодор Каблешков“  
Р. БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** безопасност, бордови кранове, експертна оценка и анализ на риска

**Резюме:** Предложена е методика за оценка на риска при експлоатация на бордови кранове. Процедурата оценка на риска се състои в съпоставяне на разкритите опасности с критериите за приемлив риск. Най-напред се определят условията на работа на крана, неговото състояние и групата на режима на работа. След това се извършва идентификация на опасностите, възникващи при експлоатация с разкриване на всички възможни откази и предизвикващите ги причини (съгласно указанията на Европейския стандарт – EN 12999:2019 – Бордови кранове). Дефектите са класифицирани по два признака: място на възникване и причина за възникване, а вероятностния анализ на безопасността се извършва с метода за анализ на видовете откази и тяхната критичност (FMECA).

Качествената оценка на честотите на неблагоприятното събитие се заключава в позоваване на литературен източник на експертна оценка на група специалисти в дадената област. Методът на експертната оценка на честотите на неблагоприятното събитие се свежда до статистическа обработка на бални оценки на групата квалифицирани специалисти – експерти, отговорили на пет въпроса за относителната тежест на значимите опасности установени при тяхната идентификация. Въз основа на получения индекс на опасностите, се определят качествените и количествени показатели на честотите на неблагоприятното събитие.

В заключение са направени препоръки за намаляване на риска при експлоатация на бордови кранове.

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Бордовите товароподемни кранове с различно конструктивно изпълнение са намерили широко приложение при изпълнението на голяма номенклатура товаро-разтоварни, претоварващи, транспортни, монтажни и складови дейности. Тези кранове се явяват обекти с повишена производствена опасност [1], [3], [4], [12] тъй като при тяхната експлоатация са възможни възниквания на аварийни ситуации, свързани както с негативни технико-икономически, така и със социални последици. Обикновено, аварията с кранове свързани с тежки наранявания и смърт на хора са причинени

основно поради технически неизправности в конструкцията и грешки на персонала при работа. Това налага да се търсят ефективни методи и подходи при оценка на риска и повишаване на безопасността на този тип машини.

Целта на настоящата статия е да се предложи методика за анализ на безопасността и оценка на риска от възникване на опасни откази при експлоатация на бордови кранове, съобразена с новите Европейски нормативни изисквания [8], [9], [10].

## **2. АНАЛИЗ НА РИСКА**

В предложената методика за анализ и оценка на риска са използвани данни от статистически анализ при експертно диагностиране на дефекти на самоходни товароподемни кранове стрелови тип (към този тип кранове могат да се отнесат и бордовите кранове), отработили нормативния срок на експлоатация [3].

В анализа и оценката на риска на бордови кранове са включени следните основни процедури:

- определяне състоянието, условията и режима на работа на изследвания кран;
- идентификация на опасностите, възникващи при експлоатация;
- обосноваване на приемлив риск;
- избор на подходящ метод (методи) за оценка на риска;
- разработване на препоръки за намаляване на риска;
- управление на риска.

### **2.1. Състояние, условия и режим на работа.**

Изследваните кранове са отработили нормативния срок а експлоатация [3] и са работили в леки режими на работа: режим А1-53% от крановете, а останалите 47% - в режим А2.

### **2.2. Идентификация на опасностите.**

Отчитат се значимите опасни ситуации и опасни събития, които могат да доведат до рискове за хората по време на планираната употреба и предвидимата злоупотреба на този тип кранове, включени в списъка от табл. 2 на стандарта [10].

Дефектите, които са потенциална опасност за възникване на откази за този тип кранове са класифицирани по два признака [3]:

а) по причина на възникване:

- разрушаване на конструктивни елементи и упорни пукнатини – 10%
- пластични деформации – 17%
- нарушена експлоатация – 22%
- разхерметизация – 27%

б) по място на възникване

- хидравлична система [11] – 35%
- въжено-ролкова система – 31%
- прибори и устройства за безопасност – 15%
- метална конструкция [13] – 5%
- механизми – 6%
- други – 8%

Подобно е разпределението на дефектите и в изследването на автомобилни кранове [1].

### **2.3. Обосноваване на приемлив риск.**

Обосновката на нивото на приемлив (допустим) риск се осъществява въз основа на критерии по нормативно-правна документация или получени в резултат на статистически анализ на аварии с кранове, като за критерии при определяне на нивото на приемлив риск трябва да служат [6], [7]:

1. Законодателството по промишлена безопасност;

2. Правилата и нормите по техника на безопасност;
3. Допълнителните изисквания на специално упълномощени органи;
4. Статистическите сведения за аварии и последиците от тях;
5. Експлоатационния опит.

#### 2.4. Оценка на риска.

За анализ и оценка на риска е използван индуктивния метод – *метод за анализ на вида, последствията и критичност на отказите* (FMECA) [2], [8], [9]. Процедурата оценка на риска се състои в съпоставяне на разкритите опасности с критериите за приемлив риск. Стремехът при провеждане на FMECA е за се снижи стойността на коефициента на действителни риск (КДР) под тази на коефициента на пределния риск (КПР), чрез промяна на останалите три коефициента, т.е.

$$\text{КДР} = \text{КВВ} \times \text{КТП} \times \text{КВО} \leq \text{КПР} ,$$

където КВВ е коефициент отчитащ вероятността за възникване на отказа –  $P_0$ , обикновено  $P_0 = 1 - P_B$ , където  $P_B$  е вероятността за отсъствие на отказ [2] – табл. 1;

КТП – коефициент отчитащ тежестта на последствията от отказа – табл. 2;

КВО – коефициент отчитащ вероятността за откриване на отказа – табл. 3.

Таблица 1 – Видове откази в съответствие с честотата вероятността на възникване

Характеристика на възникването на вида отказ	Честота на възникване на отказа	Вероятност $\tau$	Ранг
Много ниска – малко вероятно е да има отказ	1:100000	$\leq 10^{-5}$	1
Ниска – относително малко откази	1:10000	$10^{-4}$	2
	1:2000	$5 \cdot 10^{-5}$	3
Умерена – възможни са откази	1:1000	$10^{-3}$	4
	1:500	$2 \cdot 10^{-3}$	5
	1:200	$5 \cdot 10^{-3}$	6
Висока – наличие на повторни откази	1:100	$10^{-2}$	7
	1:50	$2 \cdot 10^{-2}$	8
Много висока – почти неизбежен отказ	1:20	$5 \cdot 10^{-2}$	9
	1:10	$\geq 10^{-1}$	10

Всеки от тези три коефициента може да има стойности от 1 до 10 (ранг на коефициента), за това коефициента на действителния риск КДР приема стойности от 1 до 1000.

Отделянето на най-значимите откази се осъществява посредством сравняване на критичността на  $i$ -тия отказ –  $C_i$ , изразен чрез  $\text{КДР}_i$  с някаква гранична стойност  $C_{\text{КР}}$  – изразен съответно с  $\text{КПР}_i$ .

Ако  $\text{КДР}_i > \text{КПР}_i$ ,  $i$ -тия отказ се приема за критичен и подлежи на обезателно отстраняване. Ако  $\text{КДР}_0 < \text{КДР}_i < \text{КПР}_i$ , тогава са необходими коригиращи мерки за намаляване на критичността, например изменение на регламента за техническо обслужване и ремонт. Отказите от такъв тип се нанасят в съответния списък за следващ анализ и контрол. Отказите за които  $\text{КДР}_i < \text{КДР}_0$ , се признават за незначими относно безопасността и не изискват разработка на допълнителни мерки. Обикновено се приема  $\text{КПР} = 125 = 5 \times 5 \times 5$  (произведение от средните стойности на отделните коефициенти), а  $\text{КДР}_0 \leq 8$ .

За правилен е приет подходът, при който се работи първо върху отстраняване на причините за дефектите, а след това върху възможностите за навременното им откриване и намаляване на последствията от тях.

Най-опасните откази от дефекти при самоходни товароподемни кранове стрелови тип (способни да доведат до летален изход или травми с голяма степен на тежест на хората управляващи крана или намиращи се в непосредствена близост до него) съгласно експертната оценка на риска [3] са дадени в табл. 4. В същата таблица в последните четири колонки са дадени стойностите на отделните коефициенти от извършен FMECA анализ за всеки отказ.

**Таблица 2 – Критерии за откриване на отказа**

Характеристика на откриването	Критерий – възможност за откриване на отказа въз основа на предвиден контрол	Вероятност	Ранг
Практически възможно	Предвиденият контрол почти винаги открива потенциална причина и отказа	$5 \cdot 10^{-1}$	1
Много добро	Много висок шанс за откриване на отказа	$1,25 \cdot 10^{-1}$	2
Добро	Висок шанс за откриване на отказа	$5 \cdot 10^{-2}$	3
Умерено добро	Умерено висок шанс за откриване на отказа	$2,5 \cdot 10^{-2}$	4
Умерено	Умерен шанс за откриване на отказа	$1,25 \cdot 10^{-2}$	5
Слабо	Нисък шанс за откриване на отказа	$2,5 \cdot 10^{-3}$	6
Много слабо	Много нисък шанс за откриване на отказа	$1 \cdot 10^{-3}$	7
Лошо	Малко вероятно е откриването на отказа	$2,5 \cdot 10^{-4}$	8
Много лошо	Почти невероятно е откриването на отказа	$5 \cdot 10^{-5}$	9
Практически невъзможно	Предвидения контрол не може да открие потенциалната причина и отказа	$1 \cdot 10^{-6}$	10

**Таблица 3 – Тежест на последствията от вида на отказа**

Тежест на последствията	Критерий	Ранг
Отсъства	Няма последствия	1
Незначителна	Минимални последствия	2
	Много малки последствия	3
Ниска	Малки последствия	4
	Незначителни последствия	5
Умерена	Умерени последствия	6
Висока	Значителни последствия	7
Много висока	Много значителни последствия	8
Опасна с предупреждения за опасности	Тежки последствия – опасни за здравето на хората	9
Опасна без предупреждение за опасности	Много тежки последствия – опасни за живота на хората	10

Заклучителен етап от анализа на риска на бордови кранове се явява разработката на препоръки по намаляване на риска (управление на риска) [5].

Таблица 4 – FMECA анализ

№	Опасни дефекти и откази	КВВ	КТД	КВО	КДР
1	Отсъствие или отказ на ограничителя за товароподемност	5	9	3	135
2	Отсъствие или отказ на сигнал за опасно напрежение	5	9	3	135
3	Повредени кабели и изоляции	4	8	4	128
4	Недопустими повреждания на товароподемното въже	5	8	4	160
5	Недопустима деформация на металната конструкция на стрелата	4	8	5	160
6	Неработоспособност на изнасящите се опори	4	8	4	128
7	Наличие на пукнатини по куката	5	8	4	160
8	Наличие на пукнатини и счупвания по спирачните дискове	4	7	4	112
9	Отсъствие или отказ на креномера	4	7	4	112
10	Незадоволително регулиране на спирачката	4	7	4	112

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена е методика за оценка на риска и анализ на безопасността при бордови кранове, съобразена с новите Европейски нормативни изисквания.

Идентифицирваните опасни дефекти и откази с тази методика, трябва да бъдат подложени на задължителен контрол и корекция, което значително ще намали риска от авария.

### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Анцев В.Ю. и др., Дефекты и отказы автомобильных кранов, Известия ТулГУ., Технические науки, 2016, выпуск 7, ч.1, стр. 88-92.
- [2] Брагин В.В, Ф. Чабон, Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкции, процессов, Ярославль, 1997.
- [3] Лагерев А.В. и др., Оценка риска при эксплуатации самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа в условиях недостаточной информации, Научно-технический вестник Брянского ГУ, 2017, №2.
- [4] Лагерев И.А., А.В. Лагерев Современная теория манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов. Конструкции и условия эксплуатации, Брянск, РИО БГУ, 2018
- [5] Короткий А.А., Управление промышленной безопасностью подъемных сооружений, Вестник Владикавказского научного центра, том 8, №3, 2008 г., 65-73 с.
- [6] Котельников В.С., А.А. Короткий и др. Диагностика и риск-анализ металлических конструкций грузоподъемных кранов, ЮРГТУ, Новочеркасск, 2006, 4,5,6 с.
- [7] Коцев Н., Л. Лазов, Безопасност и оценка на риска при товароподемни кранове, НКМУ по Авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии, BulTrans – 2014, Созопол, сборник доклади, 110-114 с.
- [8] ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Методы оценки риска. М., Стандартинформ, 2012.
- [9] ГОСТ Р 51901.12-2007 Метод анализа видов и последствий откозов, М., Стандартинформ, 2008.
- [10] prEN 12999:2019 Cranes – loader cranes, March 2019
- [11] Boris Petkov, The influence of the stiffness coefficient of the hydraulic liquid on the dynamical behaviour of the system “hydraulic cylinder – load”, II International Scientific and Practical Conference "Methodology of Modern Research, “World science” (March 28 – 29,

2016, Dubai, UAE), ISSN 2413-1032x

[12] П.Захариев, Б. Петков, Е. Йончев, В. Василев , Защита от сблъскване на два кранови механизми работещи на общ релсов път, X11 Научна Конференция с Международно Участие „ТРАНСПОРТ 2002”, стр. 405-409.x

[13] Г.Петкова, Пл.Ташев, Ел.Ташева "Анализ на възможностите за механизация и автоматизация на заваръчните технологии при използване на различни методи на заваряване", Научна конференция "Дни на безразрушителен контрол 2015" - Научни известия том XXIII, брой2, Юни 2015, 2015г.

## **ABOUT RISK ASSESMENT OF MOBILE LOADER CRANES**

**Cvetelin Cvetkov**

[volga\\_71@abv.bg](mailto:volga_71@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport  
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.  
BULGARIA*

**Key words:** *safety, loader cranes, expert evaluation and risk analysis*

**Abstract:** *This paper proposes a method for risk assessment of mobile cranes exploitation. The proposed method consists comparing between the revealed dangerouses and the criterias for acceptable risk level. The first step is determining of the operating conditions of the cranes, its duty cycles and the cranes physical condition. The second step consist the identification of the dangerous occur in the exploitation, the possible faults and the causes had leads to them (according EN 12999:2019 - Cranes - Loader cranes). The faults are classified by two attributes: place of occurrence and cause of occurrence, and the probability analysis of the safety is performed with the FMECA method.*

*The evaluation of the frequencies of the adverse events, that are qualitative assessed, is based on a reference to a literature source of expert assessment of a group of specialists in the field. The method of the expert assessment of the adverse event frequencies is limited to the statistical processing of score ratings by a group of qualified experts who answered five questions about the relative severity of the significant dangers identified in their estimation. On the basis of the hazard index obtained, the qualitative and quantitative indicators of the adverse event frequencies are determined.*

*In conclusion, recommendations have been made to reduce the risk in the loader cranes exploitations.*