

## РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРИБОРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Каминский Л.С.<sup>1</sup>, Каминский Ф.Л.<sup>2</sup>, Пятницкий И.А.<sup>3</sup>, Федоров И.Г.<sup>4</sup> ©

<sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, кандидат технических наук, заместитель руководителя Научно-инженерного центра «Лазерные измерительные системы и технологии» (НИЦ «ЛИСТ»);

<sup>2</sup>ООО "Научно-производственное предприятие "ЭГО", инженер;

<sup>3</sup>ООО "Научно-производственное предприятие "ЭГО", главный конструктор;

<sup>4</sup>ООО "Арзамасский электромеханический завод", Нижегородская область, кандидат технических наук, Председатель Совета директоров

### *Аннотация*

*Представлена методика количественной оценки риска возникновения отказа приборов безопасности (ПБ) грузоподъемных кранов, основанная на классификации ПБ в соответствии с определенными критериями конструирования и особым поведением ПБ в условиях сбоя. Показано, что категории и уровни эффективности защиты можно применять к элементам системы управления крана, связанным с безопасностью, в частности к ограничителям, указателям, регистраторам.*

**Ключевые слова:** опасный производственный объект, кран грузоподъемный, ограничитель грузоподъемности, индикатор, регистратор параметров работы, встроенное программное обеспечение функций безопасности, элемент безопасности, оценка риска

## A RISK-BASED APPROACH TO THE DESIGN OF SAFETY DEVICES FOR CRANES

Kaminskiy Leonid Stanislavovich<sup>1</sup>, Kaminskiy Filipp Leonidovich<sup>2</sup>, Pyatnitskiy Igor Andreevich<sup>3</sup>, Fedorov Igor Germanovich<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography, Cand.Tech. Sci., deputy head, Scientific and Engineering Center "Laser Measuring Systems and Technologies" (SEC "LIST")

<sup>2</sup>Research and Manufacturing Company " EGO ", Engineer

<sup>3</sup>Research and Manufacturing Company " EGO ", Chief designer

<sup>4</sup>Arzamas Electromechanical Plant, Cand.Tech. Sci., chairman of the Board of Directors

### *Summary*

*It is declared about method of the quantitative assessment of the risk of failure of crane safety devices (SD) based on the SD classification in accordance with specific design criteria and special SD behavior in failure conditions. It is shown that the Denotation of categories and Performance level can be applied to the safety-related part of crane control system, in particular, to rated capacity limiters, indicators and parameter loggers.*

**Keywords:** hazardous production facility, crane, rated capacity limiter, indicator, operating parameters logger, safety-related embedded software, safety-related part, risk assessment.

В целях оптимального использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов, задействованных при осуществлении государственного контроля (надзора), снижения издержек юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и повышения результативности своей деятельности органы государственного контроля (надзора) при

организации отдельных видов государственного контроля (надзора), определяемых Правительством Российской Федерации, в соответствии со статьей 8.1 Федерального закона от 26 декабря 2008 года N 294-ФЗ "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля" (в редакции Федерального закона от 13.07.2015 N 246-ФЗ) применяют риск-ориентированный подход (РОП). Он представляет собой метод организации и осуществления государственного контроля (надзора), при котором в предусмотренных указанным Федеральным законом случаях выбор интенсивности (формы, продолжительности, периодичности) проведения мероприятий по контролю, мероприятий по профилактике нарушения обязательных требований определяется отнесением деятельности юридического лица, индивидуального предпринимателя и (или) используемых ими при осуществлении такой деятельности производственных объектов к определенной категории риска либо определенному классу (категории) опасности. РОП является методологией, обеспечивающей целевое воздействие надзорных функций на объекты контроля, основанные на анализе состояния технических устройств, риска их аварий и инцидентов в соответствии со значимостью последствий таких аварий и инцидентов для безопасности и здоровья населения [1].

Анализ риска машины (технического устройства, грузоподъемного крана) отличается от анализа риска опасного производственного объекта. В первом случае он разрабатывается проектировщиком машины с целью обеспечения безопасной эксплуатации машины. Во втором – проектировщиком опасного производственного объекта (площадки, здания, сооружения и т.п.), на котором эта машина или оборудование может эксплуатироваться как отдельный элемент. А так как на объекте, как правило, эксплуатируется комплекс машин и оборудования, то анализ риска опасного производственного объекта будет включать в себя и риски от их совместного применения.

Для подтверждения соответствия продукции (в виде сертификации или декларирования) требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011) разрабатываемое проектировщиком крана обоснование безопасности должно содержать анализ риска. Оценка риска возникновения отказа начинается с определения условий работы крана, его состояния и группы режима работы, после чего проводится идентификация опасностей, возникающих при эксплуатации, а именно - выявление всех возможных отказов и вызывающих их причин. Далее, выбрав наиболее подходящий метод (методы) [2,3] и используя данные о статистике отказов, оценивается риск отказа каждого узла в отдельности и его вклад в общий риск отказа крана в целом [4].

Программой работ по межгосударственной стандартизации на 2016-2018 годы (ПМС 2016-2018) предусмотрена разработка стандарта «Краны грузоподъемные. Методы и процедуры оценки и снижения рисков. Часть 1. Общие положения» [шифр задания ПМС: RU.1.513-2015, шифр задания по программе национальной стандартизации (ПНС): 1.2.289-2.006.15-RU, код по международному классификатору стандартов (МКС): 53.020.20].

Новацией применительно к приборам безопасности для грузоподъемных кранов (ГПК) явилась разработка, утверждение и введение в действие с 01.04.2017г. межгосударственных стандартов ГОСТ 32575.1-2015 «Краны грузоподъемные. Ограничители и указатели. Часть 1. Общие положения» и ГОСТ 33712-2015 «Краны грузоподъемные. Ограничители грузоподъемности. Общие требования». В данных стандартах, во-первых, указано, что ограничители грузоподъемности (ОГП), как, впрочем, и другие приборы безопасности, для повышения эффективности использования кранов в целом могут быть объединены (интегрированы) с другими подсистемами управления (двигателем, шасси, трансмиссией и другим электрогидрооборудованием) кранов (с непосредственным, дистанционным и автоматическим воздействием на органы управления механизмами) с целью формирования бортовых комплексных многофункциональных систем, выполняющих функции безопасности, контроля, управления и мониторинга.

*\*Примечание. Система управления крана - это комплекс устройств, предназначенных для преобразования и передачи команд машиниста (оператора) крана аппаратам, механическим устройствам непосредственного управления или командоаппаратам (контроллерам) автоматического управления. К ним относятся, в частности, системы управления исполнительными механизмами крана (в том числе крановых электроприводов и тормозных устройств), коробками отбора мощности, двигателем базового автомобиля из кабины машиниста (для автомобильных кранов), устройства защитного отключения и блокировок, автоматического наведения крюковой обоймы на заданную цель, контроля грузоподъемности, диагностики, индикации, противопросядки поднимаемого груза, дистанционного управления (включая аппаратуру радиоуправления), предотвращения раскачивания груза и т.п.*

А, во-вторых, что более важно, говорится о современном риск-ориентированном подходе к проектированию приборов безопасности (в частности ограничителей грузоподъемности) для ГПК: «особенности проектирования и применения ОГП должны быть адекватны степени опасности эксплуатации крана с учетом анализа риска возникновения отказов его конструктивных элементов». При этом, делается ссылка на стандарты ISO 13849-1:2015 «Безопасность оборудования. Элементы систем управления, связанные с безопасностью. Часть 1. Общие принципы конструирования» (ISO 13849-1:2015 «Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design») и ГОСТ ISO 12100-2013 «Безопасность машин. Основные принципы конструирования. Оценки риска и снижения риска» (ISO 12100-2013 «Safety of machine tools. General principles for design. Risk assessment and risk reduction»).

Элемент системы управления крана, связанный с обеспечением безопасности согласно ISO 13849-1:2015 - элемент или компонент(ы) элемента (SRP/CS – «safety-related part of a control system») в системе управления крана, которые реагируют на входные сигналы и вырабатывают выходные сигналы, связанные с обеспечением безопасности крана. Исходя из оценки риска для конкретного ГПК, конструктор должен определить вклад в снижение риска, который необходимо обеспечить с помощью каждого SRP/CS. Ограничитель грузоподъемности является комбинированным элементом системы управления крана, связанным с обеспечением безопасности эксплуатации крана, начинает действовать в точках, где возникают сигналы, имеющие отношение к безопасности крана, и заканчивает - на выходе силовых управляющих элементов. ОГП также включает в себя подсистему контроля.

ОГП и их компоненты, связанные с обеспечением безопасности (в частности входящие в состав ОГП указатели, регистраторы и пр.), должны быть разработаны, сконструированы, выбраны, смонтированы и соединены таким образом, чтобы они выдерживали ожидаемые воздействия, а также – соответствовать требованиям не ниже категории 2, установленной в ISO 13849-1:2015. Очевидно, что приборы безопасности для кранов различной грузоподъемности, типов, видов, модификаций – должны отличаться.

Категория - это классификация элементов системы управления крана, связанных с обеспечением безопасности крана, по их устойчивости к неисправностям и их последующему поведению в неисправном состоянии. Такое поведение достигается за счет структурной схемы расположения элементов и (или) их надежности. Безопасность системы управления крана - способность элементов системы управления крана, связанных с обеспечением безопасности, выполнять свои функции безопасности в течение определенного времени в соответствии с их заданной категорией.

Вероятность опасного отказа функции безопасности ПБ зависит от многих факторов: структуры технических средств и программного обеспечения, диапазона механизмов обнаружения неисправности [диагностического охвата (DC – «Diagnostic coverage»)], надежности компонентов [среднего времени наработки на опасный отказ (MTTF<sub>d</sub> - «Mean time to dangerous failure»)], отказа по общей причине (CCF- «Common cause failure»)],

процесса конструирования, рабочего напряжения, условий окружающей среды и производственных процессов.

ОГП категории 2 должны быть разработаны так, чтобы их функции проверялись системой управления крана через соответствующие интервалы. Должны применяться хорошо проверенные принципы безопасности. Проверку функций безопасности ОГП следует осуществлять:

- при пуске машины;
- до возникновения любой опасной ситуации, например, запуск нового цикла и/или периодически в процессе работы, если оценка риска и характер работы указывают на ее необходимость.

Запуск процедуры проверки может осуществляться автоматически. Любая проверка функции(й) безопасности должна:

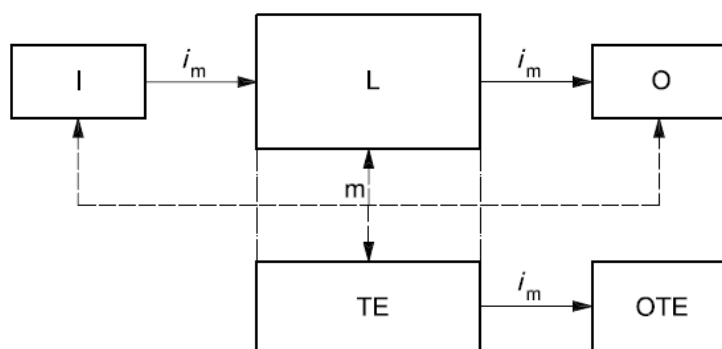
- разрешать работу, если не было обнаружено никаких неисправностей;
- выработать выходной сигнал, который вызывает соответствующее управляющее воздействие, если обнаружена неисправность.

Когда это возможно, выходной сигнал ОГП должен обеспечивать безопасное состояние. Безопасное состояние должно поддерживаться до момента устранения неисправности. При невозможности соблюдения безопасного состояния (например, при сварке контакта в конечном устройстве коммутации) выходной сигнал должен обеспечивать предупреждение об опасности. Структурное построение категории 2 показано на рисунке 1. Пунктирные линии означают обнаружение неисправности, целесообразное с практической точки зрения.

Сама проверка безопасности ОГП не должна создавать опасную ситуацию (например, вследствие увеличения времени срабатывания). Контролирующие устройства могут быть неотъемлемой частью или находиться отдельно от элемента(ов) ОГП, выполняющего(их) функцию безопасности.

Максимально возможный уровень эффективности защиты (PL – «Performance level») с категорией 2 –  $PL = d$  (согласно таблице 1 из ISO 13849-1:2015). Поведение системы управления категории 2 допускает, что:

- возникновение неисправности может вызывать потерю функции безопасности между проверками;
- потерю функции безопасности обнаруживают проверкой.



$i_m$  - средства связи;

$I$  - входное устройство, например, датчик;

$L$  - логический блок;

$m$  - мониторинг;

$O$  - выходное устройство, например, главный контактор;

$TE$  - испытательное оборудование;

$OTE$  - выходные сигналы испытательного оборудования.

### Рис. 1. Структурное построение для категории 2

Принцип, который обеспечивает действие функции категории 2, заключается в том, что принятое техническое обеспечение и, например, выбор частоты проведения контроля, может снизить вероятность возникновения опасной ситуации.

Стоит отметить, что для более высокой категории ПБ (например, четвертой) при возникновении одиночной неисправности функция безопасности должна выполняться всегда, например за счет дублирования функций ПБ. При этом, обнаружение накопленных неисправностей сокращает вероятность потери функции безопасности. Неисправности должны обнаруживаться своевременно, чтобы предотвращать потерю функции безопасности.

SRP/CS категории 4 должны быть разработаны так, чтобы:

- одиночная неисправность в любом из этих элементов не приводила к потере функции безопасности;

- одиночная неисправность обнаруживалась во время или до следующего требования по функции безопасности, например, сразу при включении, при окончании рабочего цикла машины и т.д.

Если такое обнаружение невозможно, то накопление неисправностей не должно приводить к потере функции безопасности.

Таблица 1

#### Уровень эффективности защиты

Уровень эффективности защиты (PL)	Средняя вероятность возникновения опасного отказа в час
<i>a</i>	$\geq 10^{-5}$ до $< 10^{-4}$
<i>b</i>	$\geq 3 \times 10^{-6}$ до $< 10^{-5}$
<i>c</i>	$\geq 10^{-6}$ до $< 3 \times 10^{-6}$
<i>d</i>	$\geq 10^{-7}$ до $< 10^{-6}$
<i>e</i>	$\geq 10^{-8}$ до $< 10^{-7}$

Примечание – Кроме среднего значения вероятности возникновения опасного отказа в течение часа для достижения необходимого PL нужно так же учитывать и другие критерии.

При разработке ПБ конструктор должен включить в документацию нижеприведенную информацию:

- функция(и) безопасности, выполняемая(ые) ПБ;
- характеристики каждой функции безопасности;
- точное расположение точек, в которых начинает(ют) и завершает(ют) свою работу элемент(ы) обеспечения безопасности;
- условия окружающей среды;
- уровень эффективности защиты (PL);
- выбранная категория или категории;
- параметры, связанные с надежностью;
- меры по устранению систематических ошибок;
- применяемая технология или технологии;
- все учтенные неисправности, связанные с безопасностью;
- обоснование исключения неисправностей;
- обоснование структурной комбинации (например, учтенные неисправности, исключенные неисправности);
- документация по программному обеспечению;
- меры, направленные на предотвращение предсказуемой неправильной эксплуатации.

\*Примечание. Данная документация считается предназначенной для внутреннего использования производителем, а не для распространения среди пользователей.

Представленная выше классификация приборов безопасности в соответствии с определенными критериями конструирования и особым поведением ПБ в условиях сбоя позволяет сформулировать конкретные требования к проектированию и внедрению элементов систем управления, связанных с обеспечением безопасности. Эти требования могут быть объективно оценены, например, с помощью третьей стороны, собственных (внутренних) средств или независимого испытательного органа.

### Литература

1. Короткий А.А., Кинжибалов А.А., Панфилов А.В., Курилкин Д.А. Риск-ориентированный подход к организации надзорной деятельности в области промышленной безопасности. – Безопасность труда в промышленности. 2016. №2. С.58-63.
2. Котельников Владимир Семенович. Методы диагностики и риск-анализа металлоконструкций грузоподъемных машин в управлении их безопасностью. - Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.05.04 / Котельников Владимир Семенович; [Место защиты: ГОУВПО "Южно-Российский государственный технический университет"]. - Новочеркасск, 2006.- 374 с.
3. Короткий А.А., Котельников В.С., Маслов В.Б. Экспертиза промышленной безопасности и оценка риска для обоснования безопасности грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы. – Безопасность труда в промышленности. 2013. №2. С.68-74.
4. Анцев В.Ю., Голоконников А.С., Горынин А.Д. Автоматизация расчета рисков возникновения отказов грузоподъемных кранов. – Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып.7. Ч.1. С.214-220.