

Научная статья

УДК 614.8

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТА

✉ Немцов Владимир Сергеевич.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ vova_nemcov@rambler.ru

Аннотация. Данная работа посвящена оценке риска возникновения аварии подъемных сооружений при строительстве моста. Объектом исследования в данной работе является гусеничный кран стрелового типа SENEBOGEN 7700, предметом исследования – оценка риска аварии. Проанализировав статистику аварии при использовании подъёмных сооружений, были выделены основные виды дефектов, приводящие к аварии. С помощью метода «Дерево отказов» были найдены вероятности возникновения аварии на гусеничном кране стрелового типа SENEBOGEN 7770 при перемещении сваи. Затем с помощью метода анализа видов, последствий и критичности отказов (FMECA) производилась оценка приоритетности риска путем проведения экспертного опроса, чтобы выделить наиболее опасные из выбранных видов отказов и провести ранжирование этих дефектов по степени критичности для строительного объекта и человека. После проведения ранжирования в работе были предложены мероприятия, которые позволят снизить риск возникновения аварии на строительном объекте.

Ключевые слова: оценка риска, промышленная безопасность, подъемные сооружения, FTA, FMECA

Для цитирования: Немцов В.С. Оценка риска возникновения аварии грузоподъемных сооружений при строительстве моста // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 25–33.

Scientific article

ASSESSMENT OF THE RISK OF AN ACCIDENT OF LIFTING STRUCTURES DURING THE CONSTRUCTION OF THE BRIDGE

✉ Nemtsov Vladimir S.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia

✉ vova_nemcov@rambler.ru

Abstract. This work is devoted to assessing the risk of an accident of lifting structures during the construction of the bridge. The object of research in this work is a SENEBOGEN 7700 jib type crawler crane, the subject of the study is an accident risk assessment. After analyzing the accident statistics when using lifting structures, the main types of defects leading to an accident were identified. With the help of the «Tree of failures» method, the probabilities of the accident occurrence were found on the SENEBOGEN 7770 boom type crawler crane when moving the pile. Then, using the method of analysis of the types, consequences and criticality of failures (FMECA), the risk priority was assessed by conducting an expert survey to identify the most dangerous of the selected types of failures and to rank these defects according to the degree of criticality for the construction object and the person. After the ranking, measures were proposed in the work that will reduce the risk of an accident at the construction site.

Keywords: risk assessment, industrial safety, lifting structures, FTA, FMECA

For citation: Nemtsov V.S. Assessment of the risk of an accident of lifting structures during the construction of the bridge // Prirodnye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 25–33.

Введение

Строительная отрасль является источником повышенной опасности с высоким уровнем аварийности и наиболее серьезными несчастными случаями с точки зрения полученных рабочими травм.

Авария подъемного сооружения – разрушение сооружений опасного производственного объекта (ОПО), на которых непосредственно установлены подъемные сооружения (ПС), самих ПС, в том числе падение транспортируемого груза или отдельных частей ПС. Согласно п. 6 Приложения 2 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» ОПО, на которых используются грузоподъемные сооружения, относятся к IV классу опасности [1].

Безопасность при эксплуатации грузоподъемных механизмов является важной частью обеспечения безопасной эксплуатации опасного производственного объекта в целом. Существует множество факторов, которые могут спровоцировать возникновение аварии [2–4].

В 2020 г. произошло 30 аварий при эксплуатации подъемных сооружений (пять из них произошли при эксплуатации фасадных подъемников) и 28 несчастных случаев, а в 2019 г. произошло 44 аварии и 30 несчастных случаев. Количество полученных тяжелых травм работниками в 2020 г. составило 21 (в 2019 г. – 22) [5].

Однако в настоящий момент конкретные рекомендации по использованию грузоподъемных сооружений отсутствуют. Например, приказ Ростехнадзора от 26 ноября 2020 г. № 461 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», дает ответы на большинство вопросов, связанных с требованиями к персоналу, проведению ремонтных работ и освидетельствованию грузоподъемных сооружений. Однако найти в нем актуальную информацию по эксплуатации сложно, в документе есть лишь общие рекомендации [6].

Поэтому методы оценки риска являются одним из способов снижения вероятности аварии при использовании грузоподъемных сооружений.

Целью работы является расчет риска с использованием метода «Дерево отказов» и FMECA (анализ видов, последствий и критичности отказов) аварии на кране при строительстве моста и разработка рекомендации по снижению этого риска.

На основании полученных результатов могут быть предложены мероприятия по обеспечению безопасной работы подъемного сооружения, которые позволят уменьшить вероятность возникновения аварии на строительном объекте и защитить человека в случае ее возникновения.

Методы исследования

Оценка риска аварии при использовании подъемных сооружений проводилась с помощью методов: «Дерево отказов» и «Анализ видов, последствий и критичности отказов».

Объектом исследования является гусеничный кран стрелового типа SENEBOGEN 7700, который обширно используется во многих отраслях строительства, в конкретном случае рассматривается стреловой мост, который выполняет операцию по подъему, перемещению и погружению сваи.

Анализ последовательности отказов компонентов системы крана проводился с использованием метода «Дерева отказов» или по-английски: Fault Tree Analysis (FTA).

Метод FTA используется не только для анализа сбоя устройства в системе, но также для анализа особых причин возникновения аварии. FTA является одним из основных методов прогнозирования и предотвращения всех видов аварий [7].

Метод FTA обычно применяется к системе, в которой определен механизм неисправности, и логическая связь неисправностей ясна, поскольку он делает много предположений о состоянии неисправности системы [8].

Также важно отметить, что «дерево» не является в полной мере количественной моделью. Это, прежде всего, качественная модель, которая может оцениваться и количественно.

Вероятность того, что изделие откажет к моменту времени t можно найти по следующей формуле:

$$P(T) = 1 - \exp[-Et], \quad (1)$$

где E – интенсивность отказов, которая равная вероятности того, что авария произойдет после периода безаварийной эксплуатации.

Вероятность наступления конечного события, которая будет связана с логическим оператором «И», определяется по следующей формуле:

$$P(T) = P(E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap \dots \cap E_n) = P(E_1, T)P(E_2, T)P(E_3, T) \dots P(E_n, T),$$

где n – количество начальных событий, которые описаны в «дереве отказов».

Вероятность наступления конечного события, связанная с логическим оператором «ИЛИ», определяется по следующей формуле:

$$P(T) = P(E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup \dots \cup E_n) = P(E_1, T)P(E_2, T)P(E_3, T) \dots P(E_n, T) = 1 - [1 - P(E_1)][1 - P(E_2)][1 - P(E_3)] \dots [1 - P(E_n)]. \quad (2)$$

Основная цель этого анализа заключается в поиске наиболее вероятных сценариев возникновения аварии, используя данные статистики отказа элементов системы.

После определения самих вероятностей отказов элементов, необходимо провести ранжирование этих сценариев с помощью метода анализа видов, последствий и критичности отказа (ФМЕСА).

Особенностью метода ФМЕСА является то, что помимо анализа вида отказа системы и его последствий, он также приводит анализ критичности. Критичность здесь рассматривается как качественная мера оценки последствий каждого из отказов [9].

Определить критичность можно с помощью матрицы, представленной в таблице [10].

Таблица

Матрица критичности

Частота возникновения события, год ⁻¹	Тяжесть последствий возникновения опасных событий на объекте			
	События со смертельным исходом	Критическое событие	Некритическое событие	Событие с малыми последствиями
>1	1	1	1	3
1 – 10 ⁻²	1	1	2	3
10 ⁻² – 10 ⁻⁴	1	2	2	3
10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	1	2	3	4
<10 ⁻⁶	2	3	3	4

Прежде чем приступить к оценке критичности с помощью матрицы, необходимо определить самые опасные причины возникновения отказа с помощью расчета значения приоритетности риска (RPN), определяющегося как произведение трех коэффициентов, которые являются экспертными оценками по десятибалльной шкале, по следующей формуле:

$$RPN = S * O * D, \quad (3)$$

где S – значение тяжести последствий, то есть влияния отказа на систему или пользователя. Ранг тяжести будет определяться для каждого из видов отказов с помощью определение последствий этого отказа для системы; O – вероятность того, что причина, если она возникнет, приведет к отказу системы. Для определения ранга будут использоваться вероятности отказа каждого из элементов системы, используемые при использовании дерева отказов; D – субъективная оценка обнаружения причины или режима отказа системы до того, как появятся последствия для заказчика. Предполагается, что отказ уже произошел.

После сравнения RPN и критичности каждого из видов отказов между собой производится ранжирование сценариев с помощью матрицы критичности по их приоритетности к предпринимаемым действиям.

Результаты исследования и их обсуждение

Для построения «Дерева отказов» для последующей оценки риска автором были выбраны следующие группы отказов:

- износ каната, его обрыв или изначальный дефект;
- неисправность гидравлической системы;
- неисправность башенного-стрелового оборудования;
- неисправность системы защиты крана.

Результат построения дерева отказов представлен на рисунке.

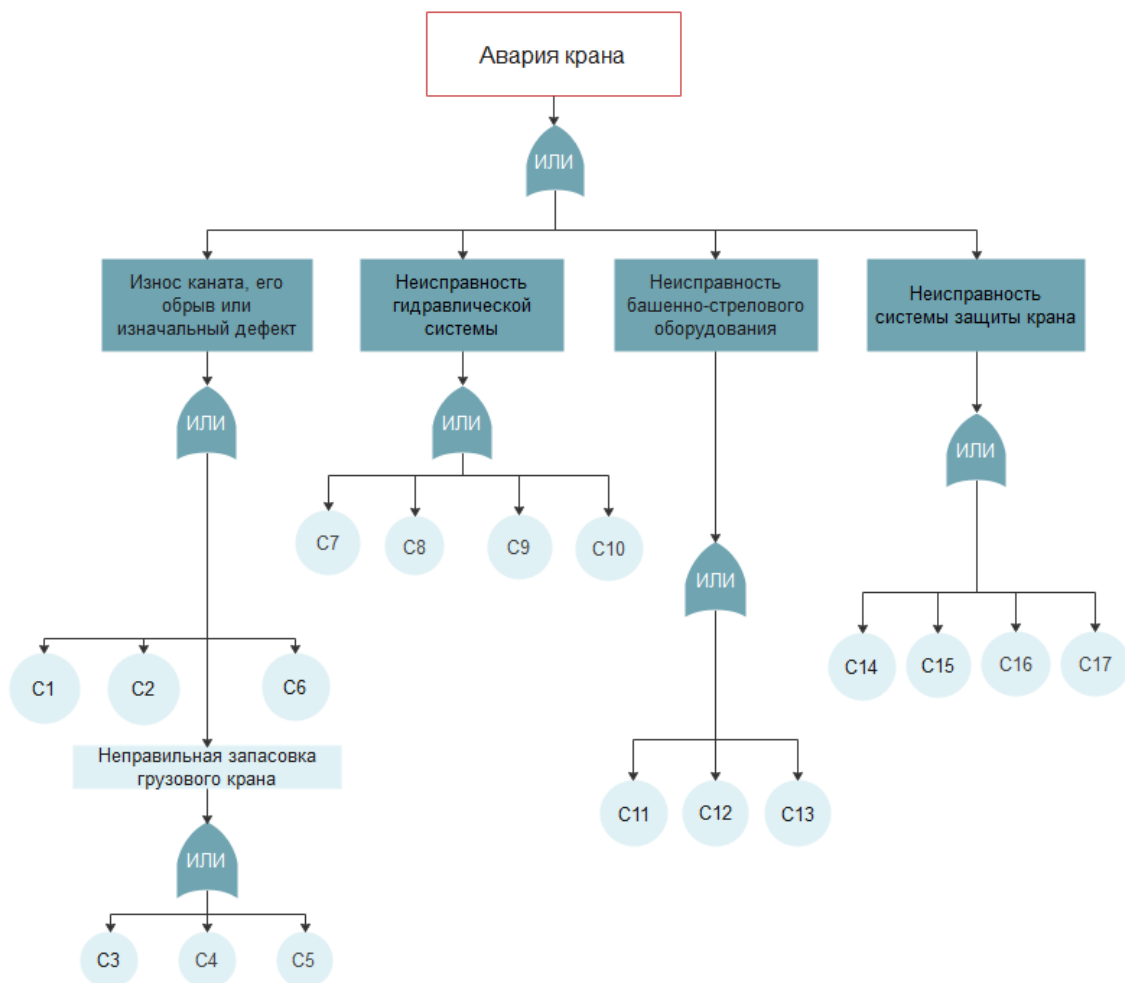


Рис. «Дерево отказов»

Для простоты отображения «Дерева отказов» базовые события, приводящие к аварии, были записаны с использованием индексов С1–С17, где С1 – скол роликов на оголовке стрелы; С2 – состояние смазки канатов неудовлетворительное; С3 – неправильная запасовка грузового каната на оголовке стрелы; С4 – неправильная запасовка стрелового каната на поворотной платформе; С5 – неправильная запасовка стрелового каната на крюковой подвеске; С6 – отсутствует вращение опорных роликов корневой секции стрелы; С7 – разрушение обоймы шарнира гидроцилиндра подъема в узле крепления к стреле; С8 – разрушение втулок подшипника гидроцилиндра подъема стрелы в месте соединения с поворотной платформой; С9 – повреждение покрытия гидрошлангов; С10 – утечка масла из гидроцилиндра подъема стрелы; С11 – коррозионный износ до 15 % при допуске 10 %; С12 – деформация раскосов стрелы; С13 – тормоз механизма подъема стрелы не работает; С14 – отсутствие координатной защиты на кране; С15 – не работает ограничитель грузоподъемности (ОГП); С16 – концевой выключатель на подъем стрелы не работает; С17 – состояние указателя наклона крана неработоспособное.

Исходя из статистики аварий кранов стрелового типа, была найдена вероятность возникновения этих дефектов на 300 кранов.

Вероятность того, что изделие откажет к моменту времени t определяем по формуле (1), она будет равна $P(T) = 3 \cdot 10^{-3}$.

Аналогичным образом были получены вероятности для остальных дефектов: $P_2 = 8 \cdot 10^{-4}$; $P_3 = 3,2 \cdot 10^{-4}$; $P_4 = 1 \cdot 10^{-4}$; $P_5 = 8 \cdot 10^{-4}$; $P_6 = 1,1 \cdot 10^{-3}$; $P_7 = 2 \cdot 10^{-4}$; $P_8 = 1,6 \cdot 10^{-4}$; $P_9 = 5,6 \cdot 10^{-3}$; $P_{10} = 2 \cdot 10^{-3}$; $P_{11} = 1 \cdot 10^{-3}$; $P_{12} = 5 \cdot 10^{-3}$; $P_{13} = 6,3 \cdot 10^{-4}$; $P_{14} = 2,4 \cdot 10^{-3}$; $P_{15} = 1 \cdot 10^{-2}$; $P_{16} = 6,2 \cdot 10^{-3}$; $P_{17} = 5,1 \cdot 10^{-3}$.

Далее найдем вероятности возникновения аварии по каждой группе выбранных дефектов по формуле (2), так как все дефекты крана обозначены оператором «ИЛИ».

Вероятность того, что авария произойдет по причине износа каната, его обрыва или изначального дефекта будет равна следующему значению:

$$P_{\text{канат}}(T) = 6,1 \cdot 10^{-3}.$$

По причине неисправности гидравлической системы:

$$P_{\text{ГС}}(T) = 8,1 \cdot 10^{-3}.$$

По причине неисправности башенного-стрелового оборудования:

$$P_{\text{башня}}(T) = 6,7 \cdot 10^{-3}.$$

По причине неисправности системы защиты крана:

$$P_{\text{СЗ}}(T) = 2,4 \cdot 10^{-2}.$$

Следовательно, вероятность возникновения аварии крана будет равна:

$$P_{\text{крана}}(T) = 4,4 \cdot 10^{-2}.$$

После анализа «Дерева отказов», необходимо провести ранжирование каждого дефекта посредством анализа каждого сценария с помощью метода FMECA. Это поможет выявить те дефекты, которые имеют наибольший риск для объекта строительства и людей, которые находятся на нем.

Для того чтобы провести ранжирование воспользуемся формулой определения RPN (3). Для этого определим баллы S, O, D для каждого из приведенных в «Дереве отказов» сценария. Чтобы определить эти значения, используются методы экспертных оценок по десятибалльной шкале.

После сравнения полученных значений RPN и значения тяжести последствий, выберем те причины отказа, которые в каждой из категорий отказов получили наибольшее значение RPN, определим критичность с помощью матрицы, представленной в таблице критичности.

После определения критичности производится ранжирование с учетом критичности и RPN, где причины с одинаковым уровнем критичности будут ранжироваться по RPN, а в случае если RPN равны, ранжирование будет происходить по тяжести последствий.

Исходя из расчета RPN и определения критичности с помощью матрицы, получилось следующее ранжирование причин отказов:

1. Не работает ОГП.
2. Состояние указателя наклона крана неработоспособное.
3. Неправильная запасовка стрелового каната на поворотной платформе.
4. Состояние смазки канатов неудовлетворительное.
5. Скол роликов на оголовке стрелы.
6. Коррозионный износ 15 % при допуске 10 %.
7. Неправильная запасовка грузового каната на оголовке стрелы.
8. Концевой выключатель на подъем стрелы не работает.
9. Разрушение втулок подшипника гидроцилиндра в месте соединения с поворотной платформой.
10. Разрушение обоймы шарнира гидроцилиндра подъема в узле крепления к стреле.
11. Утечка масла из гидроцилиндра подъема стрелы.
12. Повреждение покрытия гидрошлангов.

После получения результатов применения методов ФТА и FMESCA были разработаны мероприятия, которые позволят снизить вероятность аварий на объекте строительства с использованием подъемных сооружений или уменьшить тяжесть последствий от потенциальной аварии.

Для того чтобы снизить вероятность возникновения аварии по причине обрыва строп, необходимо выполнить следующие мероприятия:

1. Стальные канаты, которые применяются в качестве грузовых или стреловых, должны соответствовать государственным стандартам, а также иметь сертификат об испытании канатов в соответствии с ГОСТ 3241 и ГОСТ 18899. Если канат изготовлен по международным стандартам, то он должен пройти сертификацию у соответствующей организации.

2. Крепления канатов должны регулярно смазываться, чтобы избежать перетирания о части металлоконструкции, а также их крепление и расположение должно быть спроектировано так, чтобы избежать спадания с роликов.

3. Петли на конце каната при креплении его на кране, при сопряжении с крюком крана, должны быть выполнены:

- с применением коуша и заплеткой свободного конца каната или установкой зажимов;
- с применением стальной кованой, штампованной, литой втулки с закреплением клином;
- путем заливки легкоплавким сплавом.

4. Для того чтобы была возможность заменить канат, его крепление к барабану должно производиться с применением прижимных планок, их количество должно быть не менее двух. Длина свободного конца каната от прижимной планки на барабане должна составлять не менее двух диаметров каната.

Чтобы снизить вероятность деформации и разрушения стрелы, необходимо:

1. Установить приборы и устройства безопасности, такие как:
 - ОГП крана;
 - концевой выключатель;
 - ограничители вылета;
 - ограничитель высоты подъема крюка.

2. Не выключать систему оповещения груза, чтобы контролировать перегруз стрелы и избежать ее деформации или выхода механизма из строя.

3. Организовать опорные точки и выполнять работу по перемещению груза плавно, чтобы избежать высоких динамических перегрузок.

4. Проводить проверку гидрооборудования крана, чтобы обеспечить правильную работу стрелы крана.

Чтобы избежать опрокидывания крана, необходимо выполнить следующие рекомендации:

1. Не допускать превышение грузоподъемности крана и поднимать грузы исходя из максимально допустимой грузоподъемности крана в зависимости от длины его стрелы.

2. Установить на кране указатель угла наклона, который будет помогать контролировать установку крана. Обеспечить правильную установку крана с применением выносных опор и не устанавливать его на свеженасыпанный грунт.

3. Не допускать к работе с применением крана при скорости ветра, которая превышает максимально установленную скорость ветра в паспорте.

Немаловажным фактором для успешного выполнения этих мероприятий для снижения риска возникновения аварии по каждому из приведенных выше сценариев является производственная дисциплина на объекте. Для обслуживания подъемных сооружений необходимы квалифицированные специалисты, прошедшие качественную подготовку и переподготовку при работе с подъемным сооружением.

Следующий фактор, который негативно влияет на безопасную эксплуатацию и выполнение мероприятий по снижению риска, – финансовое положение компании. Не каждый руководитель может, а иногда не хочет выделять средства для реализации мер по безопасной эксплуатации крана.

Подводя итоги, можно сказать, что разработка мероприятий по снижению риска возникновения аварий является неотъемлемой частью функционирования ОПО, на которых эксплуатируются подъемные сооружения, которая проводится на основе оценки риска аварий. Разработка таких мероприятий поможет снизить вероятность возникновения аварий при использовании подъемных сооружений, а также защитит человека от последствий таких аварий.

Заключение

Стреловые краны, используемые при строительстве мостов, являются источником повышенной опасности для здоровья работников, объекта строительства в целом и окружающей среды из-за возможности падения крана или утечки топлива в воду. Поэтому для стреловых кранов необходимы мероприятия по снижению вероятности возникновения аварий при его использовании.

Учитывая отсутствие конкретных рекомендаций для безопасного использования грузоподъемных сооружений, методы оценки риска аварий являются одним из немногих способов определения степени опасности и заблаговременного предупреждения возникновения аварий при использовании грузоподъемных сооружений.

Основные причины аварий при использовании стреловых кранов связаны с выходом крана из строя из-за каких-либо его дефектов или из-за действий оператора крана.

В ходе написания работы было изучено состояние промышленной безопасности в строительстве при использовании подъемных сооружений, а также такие методы оценки риска, как «Дерево отказов» и «Анализ видов, последствий и критичности отказов».

После изучения методики оценки риска и статистики аварийности и травматизма при использовании подъемных сооружений был проведен расчет риска возникновения аварии при использовании гусеничного крана стрелового типа.

В ходе расчета риска аварии были получены следующие значения:

1. Вероятность реализации определенного сценария аварии подъемного сооружения с помощью построенного «Дерева отказов».

2. Значение тяжести последствий.

3. Вероятность появления отказа для заданного или установленного периода времени, которая была определена как ранг по матрице риска, а не как фактическое значение вероятности появления отказа.

4. Вероятность обнаружения отказа, которая представляет собой оценку шанса идентифицировать и устранить отказ до появления последствий для системы или заказчика.

5. Значение приоритетности риска.

6. Уровень критичности по матрице риска.

Данные значения позволили провести оценку этих сценариев с последующим ранжированием по тяжести последствий и вероятности возникновения. После проведения ранжирования сценариев аварии были предложены мероприятия, направленные на снижение риска возникновения аварии, которые позволят защитить объект строительства и человека.

Список источников

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ (в ред. от 8 дек. 2020 г.) // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1997. № 30. Ст. 3588.

2. Причины травматизма, аварий и несчастных случаев, связанных с нарушением безопасной эксплуатации подъемных сооружений / А.А. Васильев [и др.] // Научные труды КУБГТУ. 2015. № 9. С. 102–111.

3. Shapira, A., Lyachin, B. Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes // Journal of Construction Engineering and Management. 2009. № 135 (1). P. 24–33. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:1(24).

4. Li R.Y.M., Chau K.W., Zeng F.F. Ranking of Risks for Existing and New Building Works // Sustainability. 2019. № 11 (10). P. 2863.

5. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Годовой%20отчет%20за%202020%20год.pdf (дата обращения: 20.02.2022).

6. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»: приказ Ростехнадзора от 26 нояб. 2020 г. № 461 // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультатПлюс».

7. ГОСТ Р 27.302–2009. Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.12.2022).

8. Zheng Y., Zhao F., Wang Z. Fault diagnosis system of bridge crane equipment based on fault tree and Bayesian network // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. № 105. P. 3605–3618. DOI: 10.1007/s00170-019-03793-0.

9. Gardijan Petar. Mogućnosti realizacije metoda analize otkaza za mašinsko sredstvo // Vojnotehnički glasnik. 2001. № 49 (4-5). № 412–423.

10. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 3 нояб. 2022 г. № 387. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультатПлюс».

References

1. O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov: Feder. zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 116-FZ (v red. ot 8 dek. 2020 g.) // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 1997. № 30. St. 3588.

2. Prichiny travmatizma, avarij i neschastnyh sluchaev, svyazannyh s narusheniem bezopasnoj ekspluatacii pod'emnyh sooruzhenij / A.A. Vasil'ev [i dr.] // Nauchnye trudy KUBGTU. 2015. № 9. С. 102–111.

3. Shapira, A., Lyachin, B. Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes // Journal of Construction Engineering and Management. 2009. № 135 (1). P. 24–33. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:1(24).

4. Li R.Y.M., Chau K.W., Zeng F.F. Ranking of Risks for Existing and New Building Works // Sustainability. 2019. № 11 (10). P. 2863.

5. Godovoj otchet o deyatelnosti Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 godu. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Godovoj%20otchet%20za%202020%20god.pdf (data obrashcheniya: 20.02.2022).

6. Ob utverzhenii federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov, na kotoryh ispol'zuyutsya pod"emnye sooruzheniya»: prikaz Rostekhnadzora ot 26 noyab. 2020 g. № 461 // Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tatPlyus».

7. GOST R 27.302–2009. Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Analiz dereva neispravnostej // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.12.2022).

8. Zheng Y., Zhao F., Wang Z. Fault diagnosis system of bridge crane equipment based on fault tree and Bayesian network // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. № 105. P. 3605–3618. DOI: 10.1007/s00170-019-03793-0.

9. Gardijan Petar. Mogućnosti realizacije metoda analize otkaza za mašinsko sredstvo // Vojnotehnički glasnik. 2001. № 49 (4-5). № 412–423.

10. Ob utverzhenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah»: prikaz Rostekhnadzora ot 3 noyab. 2022 g. № 387. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tatPlyus».

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 12.01.2023

Принята к публикации: 30.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 12.01.2023

Accepted for publication: 30.01.2023

Информация об авторах:

Немцов Владимир Сергеевич, магистрант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: vova_nemcov@rambler.ru

Information about the authors:

Nemtsov Vladimir S., master student of the Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), e-mail: vova_nemcov@rambler.ru