

УДК 621, 658.5

2.5.5 Технология и оборудование механической
и физико-технической обработки
(технические науки)

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С УЧЕТОМ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Н. А. Василега

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

ADAPTATION OF THE RISK ASSESSMENT METHOD FOR THE OPERATION OF COLLECTING CUTTING TOOLS, TAKING INTO ACCOUNT THE DETECTION OF OPPORTUNITIES

Natalia A. Vasilega

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. При эксплуатации сборного режущего инструмента возникают различные риски, что может привести к снижению его производительности. Для повышения работоспособности инструмента в процессе резания необходимо выявить, оценить и по возможности минимизировать негативное влияние последствий тех или иных рисков. Для этого был проведен анализ методов оценки рисков в разрезе промышленных предприятий, в результате которого выявлены наиболее эффективные и востребованные в различных отраслях решения.

В ходе рассмотрения одного из таких методов – анализа видов и последствий потенциальных отклонений (FMEA) – представлен обзор его актуальных изменений, а также предложена авторская методика на основе данного метода для оценки

Abstract. A variety of risks arises during the operation of a collecting cutting tool, which can lead to a decrease in its output. To increase the serviceability of the tool in the process of cutting it is necessary to identify, evaluate and, if possible, to minimize the negative impact of the consequences of one risks or another. For this purpose, an analysis of risk assessment methods in the context of industrial enterprises was conducted. As a result the most effective and popular in various industries solutions were identified.

During consideration of one of such methods – failure mode and effects analysis (FMEA) – an overview of its current changes is presented. In addition, the author proposes her own method based on the FMEA method for risk assessment during the operation of collecting cutting tool,

рисков при эксплуатации сборного режущего инструмента, которая включает, в том числе, выявление возможностей и их численную интерпретацию.

Ключевые слова: оценка рисков, сборный режущий инструмент, анализ видов и последствий потенциальных отказов, выявление возможностей

which includes, among other things, the detection of opportunities and their numerical interpretation.

Key words: risk assessment, collecting cutting tool, failure mode and effects analysis, detection of opportunities

Для цитирования: Василега, Н. А. Адаптация метода оценки рисков при эксплуатации сборного режущего инструмента с учетом выявления возможностей / Н. А. Василега. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-88-96. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 88–96.

For citation: Vasilega, N. A. (2023). Adaptation of the risk assessment method for the operation of collecting cutting tools, taking into account the detection of opportunities. Architecture, Construction, Transport, (2(104)), pp. 88-96. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-88-96.

Введение

Производственный процесс сопряжен с возникновением различных видов рисков. Поломка оборудования, выход из строя инструмента, поставка некачественного сырья и материалов могут нанести предприятию значительный финансовый и репутационный ущерб. Существующие методы оценки рисков дают широкие возможности для их обнаружения и предотвращения негативных последствий каких-либо событий на ранних стадиях [1, 2]. Из большого числа методов оценки рисков можно выделить ряд наиболее эффективных и несложных, использующих доступные ресурсы, что является важным для любого производства. В машиностроительном производстве при эксплуатации сборного режущего инструмента оценка рисков не менее актуальна, при этом могут быть применены различные методы, в том числе методы анализа рисков ситуаций, оптимизированные под данный процесс.

Объект и методы исследования

Применение методов оценки рисков позволяет предприятиям избежать производственных потерь за счет уменьшения брака и поломок оборудования и тем самым повысить произво-

дительность в целом. В ходе проведенного анализа существующих методов оценки рисков [3, 4] выявлено, что большинство предприятий отдают предпочтение группе методов анализа сценариев, а также методам функционального анализа рисков ситуаций, которые позволяют на основе вероятностных оценок выявить худшие сценарии и определить методы реагирования для их предотвращения (рис. 1). Именно упреждающие действия позволяют избежать значительных потерь при возникновении рисков.

К наиболее востребованным методам оценки рисков, согласно представленным данным, можно отнести метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA). Он позволяет провести функциональный анализ, идентифицировать риск, оценить его вероятностные характеристики, уровень риска и его последствия, а также провести сравнительную оценку риска. При этом для сбора информации могут быть использованы вспомогательные методы, такие как мозговой штурм или метод интервью.

Результаты

В ходе применения метода анализа видов и последствий потенциальных отказов осуществля-

ется идентификация вероятного отказа, тяжести последствий в случае его наступления, вероятности того, что он случится, а также оценивается вероятность его обнаружения. Метод FMEA может быть применен как для технической системы в целом, так и для отдельной конструкции или процес-

са (рис. 2). Каждый вид FMEA имеет определенные взаимосвязи, что позволяет охватить все этапы жизненного цикла оборудования. Анализ включает оценку критичности по каждому виду отказа как по качественным, так и по количественным показателям, а также по смешанной шкале.

Используемые методы оценки рисков

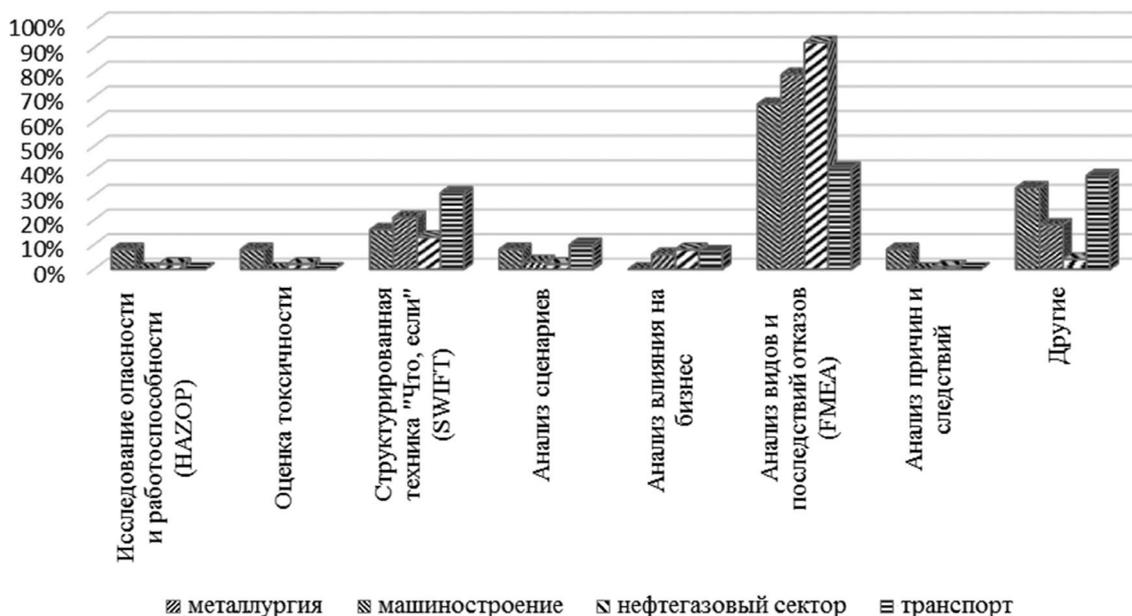


Рис. 1. Анализ методов оценки рисков
Fig. 1. Analysis of risk assessment methods

	Несоответствия	Последствия	Причины
FMEA системы	несоответствие функций системы	проблема в работе всей системы	причины проблемы для системы в целом
	←		
FMEA конструкции	причины проблемы (по результатам FMEA системы)	проблемы для каждого элемента конструкции	причины проблемы для каждого элемента конструкции
	←		
FMEA процесса	причины проблемы (по результатам FMEA конструкции)	проблемы для процесса производства каждого элемента конструкции	причины проблемы для каждой операции процесса

Рис. 2. Виды FMEA
Fig. 2. Types of FMEA

Таблица 1
Table 1

Квалиметрические шкалы значений *S*, *O* и *D*
Qualimetric scales of *S*, *O* and *D* values

Баллы значимости <i>S</i>	Баллы значимости <i>O</i>	Баллы значимости <i>D</i>
1 – очень низкая (почти нет проблем)	1 – очень низкая	1 – почти наверняка дефект будет обнаружен
2 – низкая (проблемы решаются работником)	2 – низкая	2 – очень хорошее обнаружение
3 – незначительная	3 – не очень низкая	3 – хорошее обнаружение
4 – очень слабая	4 – ниже средней	4 – умеренно хорошее обнаружение
5 – слабая	5 – средняя	5 – умеренное обнаружение
6 – умеренная	6 – выше средней	6 – слабое обнаружение
7 – важная	7 – близка к высокой	7 – очень слабое обнаружение
8 – очень важная	8 – высокая	8 – плохое обнаружение
9 – опасная с предупреждением	9 – очень высокая	9 – очень плохое обнаружение
10 – опасная без предупреждения	10 – 100%-ная	10 – дефект почти невозможно обнаружить

В ходе реализации FMEA для определения уровня значимости тяжести последствий *S*, вероятности их наступления *O* и вероятности обнаружения *D* командой экспертов разрабатывается шкала рангов значимости. Команда формируется на предварительном этапе из опытных специалистов предприятия, которые проводят анализ процесса или конструкции, но также могут быть привлечены и сотрудники сторонних организаций, имеющие необходимый опыт и знания.

Ранги значимости для *S*, *O* и *D*, как правило, выставляются по 10-балльной шкале, где баллы изменяются от 1 до 10. Значение ранга 1 балл означает наименьшую тяжесть последствий *S*, а 10 баллов, соответственно, критическое значение тяжести последствий. Также и для вероятности, или частоты возникновения, рисковог о события *O*: 1 балл назначается для самых редких и маловероятных событий, а 10 баллов – для наиболее часто возникающих рисков. Для вероятности обнаружения *D* какого-либо дефекта или рисковог о события 1 балл означает, что дефект или рисковог о событие будет обнаружено почти наверняка, а 10 баллов – что его практически невозможно

обнаружить с учетом имеющихся средств контроля. Типовые квалиметрические шкалы для рассматриваемых показателей представлены в таблице 1.

После идентификации рисковог о событий и назначения им баллов в соответствии с установленными рангами значимости, рассчитывается приоритетное число рисков (ПЧР), которое представляет количественную оценку комплексного риска. Значение ПЧР определяется посредством перемножения баллов значимости по каждому виду риска в соответствии с формулой:

$$ПЧР = S \times O \times D.$$

Полученный результат, как правило, сравнивается с установленным экспертами рабочей группы граничным значением ПЧР_{гр}, после чего разрабатываются меры реагирования на те риски, значение ПЧР которых превышает граничное. Зачастую для снижения предельного числа рисков разрабатываются меры воздействия на один из сомножителей *S*, *O* или *D*, что не всегда способствует предотвращению наступления

опасного события или уменьшению тяжести его последствий.

Общее значение приоритетного числа рисков, которое превышает предельное, может быть снижено за счет одного или нескольких показателей. Как правило, легче всего снизить ранг значимости для D , применив дополнительные средства контроля и тем самым увеличив вероятность обнаружения рисков события [5–7]. Однако вероятность возникновения и, что наиболее важно, тяжесть или критичность последствий могут остаться на прежнем уровне несмотря на общее снижение ПЧР. Исходя из этого эксперты в области оценки риска в различных отраслях все чаще приходят к заключению о возможности пренебречь показателем вероятности обнаружения риска D в пользу значений тяжести последствий рисков события S и вероятности его наступления O .

Такой подход нашел отражение в новом руководстве по FMEA, представленном для компаний-автопроизводителей в 2019 году. Данное руководство было опубликовано как результат совместной работы представителей рабочей группы автомобильной промышленности (AIAG) и немецкого союза автопроизводителей (VDA).

Нововведения документа коснулись критериев оценки значимости тяжести последствий S при проведении FMEA конструкции (DFMEA), где вместо появления отказа «без предупреждения» для максимального ранга 10 баллов выделены последствия, в случае наступления которых возникает опасность для жизни людей. При этом наступление отказа «с предупреждением» приравнивается к вероятности невыполнения требований государства. Для значимости последствий более низкого ранга (от 2 до 4) в обновленной версии документа также предложены новые критерии, отражающие «нежелательность» наступления того или иного события для потребителя [8]. При оценке FMEA процесса (PFMEA) критерии значимости совпадают по многим позициям с DFMEA за исключением значения ранга $S = 8$, который характеризует как безопасность сотрудников, так и нарушение требований государственных органов. Также ряд изменений внесен и в оценку вероятности возникновения рисков события O . В данном документе предлага-

ется осуществить прогноз наступления несоответствия, оценить принимаемые меры управления и предупреждения наступления риска.

Наряду с указанными изменениями в рангах значимости баллов экспертных оценок, изменения коснулись и общей оценки приоритетного числа рисков. В данном случае предлагается использовать не общее значение ПЧР, а установление приоритета для первоочередного реагирования на риски на основе данных S и O при определенном значении D . Это нововведение обусловлено тем, что полученный результат предельного числа рисков не всегда достоверно отражает вклад каждого значения, и снижение общего значения ПЧР за счет уменьшения того или иного показателя не сможет предотвратить тяжелые последствия в случае наступления рисков или нивелировать результат их воздействия [9, 10].

В машиностроительном производстве при эксплуатации сборного режущего инструмента именно определение приоритетных рисков, работа с которыми должна проводиться в первую очередь, позволит повысить производительность технической системы, в том числе за счет предупреждения наступления рисков события и его негативных последствий.

Однако следует отметить, что резание металлов – сложный и многофакторный процесс, и наступление тех или иных рисков может привести к различным последствиям. Наступление некоторых из них может быть интерпретировано как положительное последствие, которое при дальнейшем анализе может указать на необходимые системные изменения в работе сборного режущего инструмента или его конструкции, что позволит улучшить производственный процесс.

Учитывая данную особенность процесса резания, была предложена методика оценки рисков и возможностей (РиВ). В ходе разработки новой методики были учтены основные требования и элементы метода FMEA, который вошел в ее основу и был адаптирован для анализа работы сборного режущего инструмента. Востребованность этого метода оценки рисков на многих предприятиях позволит избежать дополнительных затрат для внедрения методики оценки РиВ

при использовании сборного режущего инструмента.

Одной из основных особенностей методики оценки РИВ является идентификация и оценка положительного последствия риска, определенного как возможность. Сделать это позволяет введение дополнительных показателей рангов значимости оценки возможностей S , которые также определяются от 1 до 10 баллов, но с отрицательным знаком, где -1 балл означает отсутствие последствий, а -10 баллов – это потенциальная возможность. При этом ранги -2 и -3 оцениваются как очень незначительное и незначительное последствие соответственно, приводящее к некоторым улучшениям, значение ранга значимости -4 и -5 как очень слабое и слабое последствие, но наступление которого может

привести к значительному повышению результативности процесса резания, а значения от -6 до -9 могут, при их наступлении, существенно повысить производительность при использовании сборного режущего инструмента.

В ходе реализации методики полученные экспертные баллы тяжести последствий S и вероятности возникновения отказа O перемножаются для оценки результирующего значения ПЧР. Полученное значение также сравнивается с установленным ранее граничным ПЧР_{гр}, но при этом предусмотрена процедура отдельной оценки значимости последствий S , так как тяжесть критического последствия может нанести непоправимый ущерб даже при низкой вероятности его наступления. И в данном случае также определяется приоритетность действий реагирующего

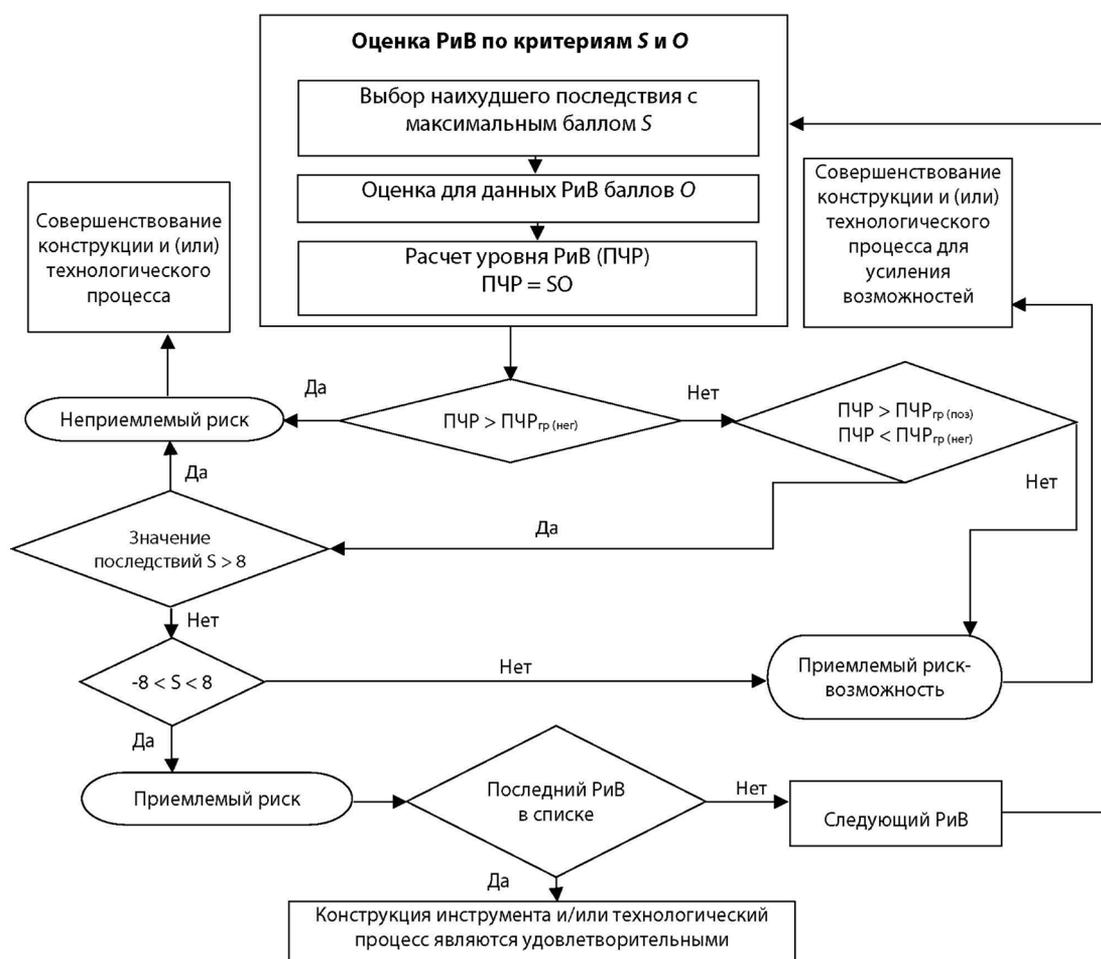


Рис. 3. Блок-схема интерпретации значения ПЧР
 Fig. 3. Flowchart of interpretation of the value of the priority number of risks

ния на риск. Алгоритм работы по оценке риска представлен в виде блок-схемы (рис. 3), согласно которой производится выбор худшего последствия с максимальным баллом значимости, оценка вероятности его возникновения и расчет ПЧР для идентифицированного риска или возможности для назначения ему статуса: неприемлемый риск, приемлемый риск, приемлемый риск-возможность.

При этом следует отметить, что граничное значение ПЧР устанавливается как для положительного значения ПЧР_{гр (поз)'} так и для отрицательного ПЧР_{гр (нег)'}. Выставленные экспертами баллы значимости последствий при наступлении либо риска, либо возможности, а также вероятности возникновения позволяют определить уровень рисков и возможностей.

В соответствии с принятыми нормами граничных значений, устанавливаемых базовым методом FMEA, в предлагаемой методике устанавливается граничное значение для общего предельного числа рисков и отдельно для значимости или тяжести последствий риска или возможности. В данном случае в качестве предельного принимается ранг значимости $S = 8$ (для рисков) или $S = -8$ (для возможностей), т. е. когда важность последствия высока и может представлять угрозу либо последствие может оказывать существенное положительное влияние.

Оценка риска с учетом полученного ПЧР, в случае если оно больше предельного критического, позволяет сразу отнести его в категорию неприемлемого. Также и в случае, когда величина тяжести последствия $S > 8$. При этом если величина тяжести последствий S находится в пределах $-8 < S < 8$, то риск считается приемлемым. В случае, когда полученный экспертами ПЧР больше предельного позитивного значения либо меньше предельного негативного, необхо-

димо провести дополнительную оценку величины тяжести последствий для присвоения риску определенного уровня. В противном случае риск можно рассматривать как приемлемый риск-возможность.

Производя оценку рисков при эксплуатации сборного режущего инструмента экспертами выявлены риски потери его работоспособности в результате назначения нерациональных режимов резания. Одним из приоритетных рисков с предельным числом риска ПЧР = 27, который больше граничного ПЧР_{гр (нег)} = 12, идентифицирован риск назначения скорости резания, приводящей к критическим последствиям. Дальнейшая интерпретация в соответствии с указанной блок-схемой по модернизированной методике данного риска экспертной группой указывает, что это риск, работа с которым является первостепенной и требует немедленного принятия решения по его устранению. При этом риск определения оптимальной скорости резания идентифицируется как возможность, которая может быть использована при выборе инструментального твердого сплава.

Выводы

В ходе анализа существующих методов оценки рисков были выявлены наиболее востребованные и эффективные для предприятий различных видов деятельности. В качестве основы для оценки рисков и выявления возможностей при использовании сборного режущего инструмента предложен метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA). С учетом основных принципов осуществления данного метода составлен алгоритм оценки работы режущего инструмента для выявления рисков и возможностей с возможностью их численной интерпретации.

Библиографический список

1. Артамонов, Е. В. Методика оценки рисков и возможностей при эксплуатации сборных режущих инструментов / Е. В. Артамонов, Н. А. Василега. – Текст : непосредственный // Инновации в машиностроении (ИнМаш – 2021) : Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Рахимянова Хариса Магсумановича, Новосибирск, 07–09 октября 2021 года / под редакцией С. И. Василевской,

- Ю. С. Кудрявцевой. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2021. – С. 137–142.
2. Определение температуры максимальной работоспособности инструментальных твердых сплавов в рамках методики оценивания качества применения сборных металлорежущих инструментов / Д. С. Василега, М. С. Остапенко, Н. А. Василега, В. В. Ершов. – Текст : непосредственный // Нефть и газ Западной Сибири : материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 02–03 ноября 2017 года. Том 2. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 25–27.
 3. Klochkov, Y. Development of FMEA method with the purpose of quality assessment of can stock production / Y. Klochkov, A. Its, I. Vasilieva. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.684.473. – Текст : непосредственный // Key Engineering Materials. – 2016. – № 684. – P. 473–476.
 4. Василега, Д. С. Разработка методики оценивания рисков и возможностей в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001:2015 / Д. С. Василега, М. С. Остапенко, Н. А. Василега. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – 2019. – № 5 (131). – С. 183–188.
 5. Ostapenko, M. S. Method of evaluation of quality of metal-cutting tool / M. S. Ostapenko, D. S. Vasilega. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.49. – Текст : непосредственный // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – № 379. – P. 49–55.
 6. Клочков, Ю. С. Модель современной процедуры FMEA / Ю. С. Клочков. – Текст : непосредственный // Казанская наука. – 2010. – № 10. – С. 42–45.
 7. Панюков, Д. И. Эффективное применение метода анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (FMEA) в автомобилестроении : монография / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский. – Самара : Издательство Самарского научного центра, 2016. – 202 с. – Текст : непосредственный.
 8. Касторская, Л. В. Новое руководство по FMEA: изменения в подходе к анализу рисков конструкции и процесса / Л. В. Касторская, Д. И. Цвиркунов, В. В. Шашков. – Текст : непосредственный // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 10. – С. 24–29.
 9. Петровский, Э. А. Применение метода FMEA (failure mode and effect analysis) для обеспечения надежности и работоспособности оборудования нефтегазового комплекса / Э. А. Петровский, М. В. Гагина. – Текст : непосредственный // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : X Международная научно-техническая конференция, Вологда, 24–25 марта 2015 года. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2015. – С. 149–154.
 10. Муха, А. А. Управление процессом разработки сложных технических систем и процессов. Особенности применения FMEA-анализа / А. А. Муха. – Текст : непосредственный // Математичні машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 168–176.

References

1. Artamonov, E. V., & Vasilega, N. A. (2021). Methodology for assessing risks and opportunities in the operation of prefabricated cutting tools. *Innovatsii v mashinostroenii (InMash - 2021): Sbornik trudov XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora Rakhimyanova Kharisa Magsumanovicha, October, 07-09. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University Publ.*, pp. 137-142. (In Russian).
2. Vasilega, D. S., Ostapenko, M. S., Vasilega, N. A., & Ershov, V. V. (2017). *Opredelenie temperatury maksimal'noy rabotosposobnosti instrumental'nykh tverdykh splavov v ramkakh metodiki otsenivaniya kachestva primeneniya sbornykh metallovezhushchikh instrumentov. Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, November, 02-03. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ.*, 2, pp. 25-27. (In Russian).

3. Klochkov, Y., Its, A., & Vasilieva, I. (2016). Development of FMEA method with the purpose of quality assessment of can stock production. *Key Engineering Materials*, (684), pp. 473-476. (In English). DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.684.473.
4. Vasilega, D. S., Ostapenko, M. S., & Vasilega, N. A. (2019). Development of methods for assessing risks and opportunities in accordance with the requirements of ISO 9001:2015. *Natural and technical sciences*, (5(131)), pp. 183-188. (In Russian).
5. Ostapenko, M. S., & Vasilega, D. S. (2013). Method of evaluation of quality of metal-cutting tool. *Applied Mechanics and Materials*, (379), pp. 49-55. (In English). DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.49.
6. Klochkov, Yu. S. (2010). Model' sovremennoy protsedury FMEA. *Kazan science*, (10), pp. 42-45. (In Russian).
7. Panyukov, D. I., & Kozlovskiy, V. N. (2016). Effektivnoe primeneniye metoda analiza vidov, posledstviy i prichin potentsial'nykh defektov (FMEA) v avtomobilestroenii. Samara, Izdatel'stvo Samarskogo nauchnogo tsentra, 202 p. (In Russian).
8. Kastorskaya, L. V., Tsvirkunov, D. I., & Shashkov, V. V. (2019). New FMEA handbook: changes to the approach for risk analysis of design and process. *Methods of Quality Management*, (10), pp. 24–29. (In Russian).
9. Petrovskiy, E. A., & Gagina, M. V. (2015). Primeneniye metoda FMEA (failure mode and effect analysis) dlya obespecheniya nadezhnosti i rabotosposobnosti oborudovaniya neftegazovogo kompleksa. Avtomatizatsiya i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologiya i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniya: X Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, March, 24-25. Vologda, Vologda State University Publ., pp. 149-154. (In Russian).
10. Mukha, A. A. (2012). Upravleniye protsessom razrabotki slozhnykh tekhnicheskikh sistem i protsessov. Osobennosti primeneniya FMEA-analiza. *Matematichni mashini i sistemi*, (2), pp. 168-176. (In Russian).

Сведения об авторах

Василега Наталья Александровна, аспирант, ассистент кафедры станков и инструментов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: natashavasilega@mail.ru

Information about the authors

Natalia A. Vasilega, Postgraduate, Assistant at the Department of Machines and Tools, Industrial University of Tyumen, e-mail: natashavasilega@mail.ru

Получена 17 апреля 2023 г., одобрена 24 мая 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.

Received 17 April 2023, Approved 24 May 2023, Accepted for publication 13 June 2023