

Для цитирования

Василега Н.А. Анализ актуальности методов комплексной оценки рисков / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», Москва, 15 октября 2025 года // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 316–324.

УДК 658.5

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ

Василега Н.А., старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Россия, Тюмень

Настоящее исследование посвящено анализу актуальности методов комплексной оценки рисков на основе данных стандарта ГОСТ Р МЭК 31010–2021 «Надежность в технике. Методы оценки риска» и публикационной активности, связанной с применением методов, применяемых для комплексной оценки рисков в период с 2020 по 2024 год. В работе представлены результаты системного изучения применимости методов оценки рисков и их основные характеристики, в том числе динамика публикаций.

Ключевые слова: оценка рисков, национальный стандарт, публикационная активность.

ANALYSIS OF THE RELEVANCE OF INTEGRATED RISK ASSESSMENT METHODS

Vasilega N.A., Senior Lecturer, Tyumen Industrial University, Russia, Tyumen

This study is devoted to the analysis of the relevance of methods of integrated risk assessment based on data from the GOST R IEC 31010-2021 standard. Reliability in technology. Methods of risk assessment and publication activity related to the application of methods used for comprehensive risk assessment in the period from 2020 to 2024. The paper presents the results of a systematic study of the applicability of risk assessment methods and their main characteristics, including the dynamics of publications.

Keywords: risk assessment, national standard, publication activity.

В современных условиях отдельные технологические процессы и производство в целом, как сложный и динамичный процесс, подвержены проявлению различного вида рисков, которые не всегда могут привести к предсказуемым последствиям. Для анализа рисков в той или иной сфере деятельности применяются стандартизированные методы, которые позволяют выявить потенциально опасные ситуации, определить причины и последствия их проявления для выработки управленческих решений. Для комплексной оценки рисков в различных сферах деятельности необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на выбор соответствующего метода анализа риска.

В рамках исследования представлен сравнительный анализ методов оценки рисков с учетом их характеристик в контексте применимости для достижения поставленных целей, а также частота применения в различных ситуациях на основе анализа литературных источников. Также рассматриваются подходы к анализу рисков в разнородных системах, различающиеся по природе входных и выходных данных: описательные методы (например, обзор литературы, сценарный анализ, качественное описание последствий) и количественные методы, направленные на получение числовых показателей риска.

Выбор способа оценки риска и формата выходных данных должен быть согласован с установленными критериями оценки. В случаях, когда критерии заданы количественно, обосновано применение количественных методов анализа, обеспечивающих выходные данные в требуемых единицах измерения. Математические преобразования и операции

допускается использовать только при условии, что используемые метрики количественно определены и позволяют корректно интерпретировать полученные результаты. Однако даже при полностью количественном подходе исходными данными часто являются экспертные оценки или аппроксимации; следовательно, уровень достоверности результатов определяется точностью и надежностью входных данных и использованных методов.

Для комплексной оценки рисков необходимо осуществление нескольких этапов, таких как идентификация риска, его анализ, включающий всестороннее исследование последствий, вероятности его наступления и возможности установления уровня риска, а также оценка риска в качественном, полуколичественном или количественном выражении. В последней версии национального стандарта ГОСТ Р МЭК 31010–2021 «Надежность в технике. Методы оценки риска», представлены методы для всестороннего анализа риска в условиях неопределенности [1]. По результатам исследования данного стандарта были получены структурированные данные применимости различных методов оценки риска на всех вышеперечисленных этапах. Данные представлены в таблице.

Применимость методов оценки рисков

№ п/п	Инструменты и методы	Процесс оценки риска					№ п/п Стандарта
		Идентификация риска	Анализ рисков			Оценка риска	
			Последствия	Вероятность	Уровень риска		
1	Анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA) <i>Failure modes and effects and criticality analysis</i>	SA	SA	SA	SA	SA	B.2.3
2	Анализ сценариев <i>Scenario analysis</i>	SA	SA	A	A	A	B.2.5
3	Структурированный метод «что, если?» (SWIFT) <i>Structured "What if?" (SWIFT)</i>	SA	SA	A	A	A	B.2.6
4	Анализ галстук-бабочка <i>Bow tie analysis</i>	A	SA	A	A	A	B.4.2
5	Анализ причин и последствий (CCA) <i>Cause-consequence analysis</i>	A	SA	SA	A	A	B.5.5
6	Анализ надежности человеческого фактора (HRA) <i>Human reliability analysis</i>	SA	SA	SA	SA	A	B.5.8
7	Анализ влияния конфиденциальности/данных, оценка влияния конфиденциальности (PIA/DPIA) <i>Privacy impact analysis/ data privacy impact assessment (PIA/DPIA)</i>	A	SA	A	A	SA	B.5.11
8	Оценка токсикологического риска <i>Toxicological risk assessment</i>	SA	SA	SA	SA	SA	B.7.1
9	F-N диаграммы <i>F-N diagrams</i>	A	SA	SA	A	SA	B.8.3

№ п/п	Инструменты и методы	Процесс оценки риска					№ п/п Стандарта
		Идентификация риска	Анализ рисков			Оценка риска	
			Последствия	Вероятность	Уровень риска		
10	Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность (RCM) <i>Reliability centred maintenance</i>	A	A	A	A	SA	B.8.5

A: применимо; SA: строго применимо; NA: не применимо.

Согласно данным таблицы только десять из представленных в стандарте методов отвечают необходимым требованиям для комплексной оценки риска. Одним из первых в порядке упоминания в тексте стандарта, соответствующим комплексной оценке риска, является метод анализа видов и последствий отказов (FMEA – Failure Modes and Effects Analysis). Этот метод оценки рисков является комбинированным и включает анализ видов и последствий отказов (FMEA) и анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA). Последний является строго применимым на всех этапах процесса оценки рисков. Метод FMEA представляет собой систематическую процедуру идентификации потенциальных видов отказов элементов системы (функций, компонентов, процессов), их причин и ожидаемых последствий с целью раннего выявления уязвимостей и обоснования мер по снижению риска. Вариант с оценкой значимости – FMECA дополняет FMEA ранжированием или измерением значимости критичности каждого вида отказа для приоритизации мероприятий [4]. К основным принципам и этапам данного метода можно отнести в первую очередь разложение объекта анализа на более мелкие составные части: идентификация потенциальных отказов для каждого элемента, выявление причин и оценивание локальных и системных последствий (функциональные потери, безопасность, качество, экономический ущерб), выявляемость и существующие меры обнаружения отказа до его критического воздействия, а также текущие барьеры/компенсации и перечень корректирующих действий. В процессе анализа все результаты документируются, верифицируются экспертной группой и пересматриваются по мере получения новых данных. FMEA/FMECA – структурированный, гибкий и широко применимый метод для раннего выявления и приоритизации потенциальных отказов и связанных с ними последствий [5]. Его научная ценность заключается в формировании системной базы знаний о надежности и уязвимостях системы. Для повышения точности и надежности выводов рекомендуется комбинировать FMEA с количественными данными, учитывать неопределенности, применять современные статистические и моделирующие приемы и избегать формального следования значению приоритетного числа рисков (RPN) без критической оценки его ограничений.

Метод анализа сценариев (Scenario Analysis) также применим на всех этапах оценки риска. При этом на этапе идентификации риска и выявления его последствий является строго применимым. Можно сказать, что этот метод объединяет различные подходы, которые рассматривают вариативные исходы различных событий. Данный метод может быть применим как на стратегическом, так и на тактическом уровне планирования. В ходе реализации данного метода прогнозируются варианты последствий тех или иных событий как с отрицательной, так и с положительной стороны и вырабатываются необходимые стратегии реагирования. Разработка стратегий, которые позволят организации успешно адаптироваться к каждому сценарию, может включать меры по смягчению рисков, использованию возможностей и повышению устойчивости. Также осуществляется постоянный мониторинг ключевых индикаторов и адаптация стратегий, в зависимости от того, какой сценарий начинает разворачиваться. Анализ сценариев является ценным инструментом для оценки рисков и планирования в условиях неопределенности. Его ценность заключается в способности учитывать различные будущие возможности, стимулировать творческое мышление и улучшать принятие решений.

Структурированный метод оценки рисков «что, если?» (SWIFT), как и анализ сценариев, применим на всех этапах оценки риска и строго применим на этапе идентификации риска и выявления его последствий. SWIFT (Structured What-If Technique) – это метод идентификации рисков, основанный на структурированном мозговом штурме. Он может как применяться самостоятельно, опираясь на когнитивные принципы и навыки участников анализа, так и быть источником дополнительной информации для методов оценки рисков, образующих иерархическую структуру на следующих этапах. В ходе применения метода оценки рисков «что, если?» используют вспомогательные слова для формирования вероятных сценариев с учетом имеющихся средств контроля. Метод может являться частью обширного процесса управления рисками, предоставляя входные данные для последующих этапов, таких как анализ рисков, оценка рисков и разработка планов управления рисками. Выходными данными данного метода могут быть как риски, так и возможности, представленные в качественном или полуколичественном виде.

Еще один из методов, применимых для комплексной оценки рисков, является метод «галстук-бабочка». Этот метод применим на всех этапах процесса оценки риска и строго применим для идентификации последствий. В результате реализации данного метода на выходе можно получить упрощенную графическую диаграмму, на которой центральным элементом является рассматриваемое событие (узловая точка), слева от него представлены основные причинные ветви (пути риска), а справа – возможные исходы и их последствия. На диаграмме обозначаются расположение и типы средств контроля, а также факторы и сценарии, при которых данные средства контроля могут не сработать. Дополнительно фиксируются предполагаемые пост-событийные действия, направленные на изменение хода событий или смягчение последствий. Метод «галстук-бабочка» обеспечивает ясную причинно-следственную наглядность и позволяет систематизировать элементы управления риском в единой схеме. При этом формат выходных данных ориентирован прежде всего на качественную интерпретацию и коммуникацию ключевых связей между причинами, барьерами и последствиями. Метод обладает высокой наглядностью и интуитивной понятностью, что облегчает интерпретацию результатов и обмен информацией между специалистами разных сфер деятельности [3]. Однако методологически «галстук-бабочка» плохо отражает ситуации с логической зависимостью причинных структур; при наличии коррелированных или композитных системных взаимодействий схема может неадекватно представлять реальную картину риска. При попытке провести количественную оценку сложных сценариев простая графическая структура может привести к чрезмерному упрощению и неверной интерпретации численных результатов; соответственно, применение количественных процедур требует аккуратной проверки корректности предположений и пригодности шкал измерений.

Метод «галстук-бабочка» представляет собой эффективный инструмент для визуализации путей риска, барьеров и последствий, полезный для коммуникации и идентификации пробелов в методах контроля, однако его применимость ограничена в случаях сложных логических взаимосвязей и при строгих требованиях к количественной достоверности, что требует интеграции с более формальными аналитическими методами.

Метод анализа причин и последствий (ССА) является строго применимым как при выявлении последствий риска, так и при вероятности его наступления, а также применим на остальных этапах процесса оценки риска. ССА позволяет сопоставить элементы анализа дерева неисправностей (FTA) и анализа дерева событий (ETA) для получения комплексного представления путей развития отказа от инициирующего события через последовательности состояний до разнообразных исходов. Цель метода – адекватно отразить как причинную структуру возникновения критического события, так и временную динамику, множество возможных последствий, когда ни FTA, ни ETA по отдельности не дают удовлетворяющего представления. Метод анализа причин и последствий целесообразно применять в ситуациях, когда выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- построить последовательность событий (временную цепочку) проще и информативнее, чем детализировать все причинно-логические связи;
- дерево неисправностей становится чрезмерно большим и трудноуправляемым;
- анализ выполняют разные группы, каждая из которых отвечает за отдельные участки (модульный подход);
- необходимо одновременно учитывать причинность и временные зависимости/периоды простоя/включения резервных подсистем;
- значимость возможных последствий высока и оправдывает усложненную модель.

Метод анализа надежности человеческого фактора (HRA) строго применим на этапе идентификации и анализа риска и применим при его оценке. Метод HRA с научной точки зрения можно рассматривать как инструмент для моделирования и оценки человеческого фактора в сложных системах. В ходе реализации метода оценивается вероятность ошибок человека при реализации тактических задач, которые могут выражаться не только в снижении его производительности, но и при установлении повышенных значений тех или иных показателей. Метод HRA позволяет получить формализованный реестр рисков деятельности человека, как ключевого элемента сложной системы, на основе когнитивных структур для дальнейшей выработки корректирующих мероприятий.

Метод анализа влияния конфиденциальности (PIA)/анализа влияния защиты данных (DPIA) является применимым для идентификации риска, определения его вероятности и уровня риска и строго применим при выявлении последствий и оценке риска. Данный метод представляет собой научно обоснованный подход к управлению рисками, связанными с обработкой персональных данных. В его основе лежит фундаментальный принцип управления рисками – идентификация, оценка и минимизация рисков. В данном случае фокус смещен на риски, связанные с конфиденциальностью и защитой персональных данных. Метод стремится к проактивному выявлению потенциальных угроз и уязвимостей до того, как они приведут к инцидентам. Хотя PIA/DPIA фокусируется на конфиденциальности, он тесно связан с более широкими принципами информационной безопасности, такими как обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности (CIA-триада) данных. Данный метод рассматривает обработку данных не как изолированный акт, а как часть сложной системы, включающей процессы, ресурсы (людей, оборудование, ИТ), взаимозависимости, цепочки поставок и аутсорсинговые соглашения. Это позволяет выявлять риски на различных уровнях и в различных точках взаимодействия. Метод предусматривает структурированный процесс, который включает: скрининг базовых рисков, углубленный анализ риска для процессов в наиболее критических областях, который, в свою очередь, включает стандартные методы сбора информации, систематизированный сбор данных, интервью, коллективное выявление и анализ рисков с участием различных экспертов. После чего осуществляется анализ документации и оценка последствий, касающихся нарушения конфиденциальности для человека в рамках личных, финансовых, правовых и других аспектов, что указывает на подход, основанный на анализе комплексного воздействия, и является стандартной практикой в риск-менеджменте. Метод PIA/DPIA представляет собой эволюцию подходов к управлению рисками, адаптированную к уникальным вызовам, связанным с конфиденциальностью данных. Его научная ценность заключается в его структурированности, проактивности, интегрированности с принципами конфиденциальности и способности обеспечивать подотчетность. Несмотря на некоторые ограничения, связанные с субъективностью и сложностью измерения, PIA/DPIA является критически важным инструментом в современном цифровом мире, способствующим более безопасному и этичному обращению с персональными данными.

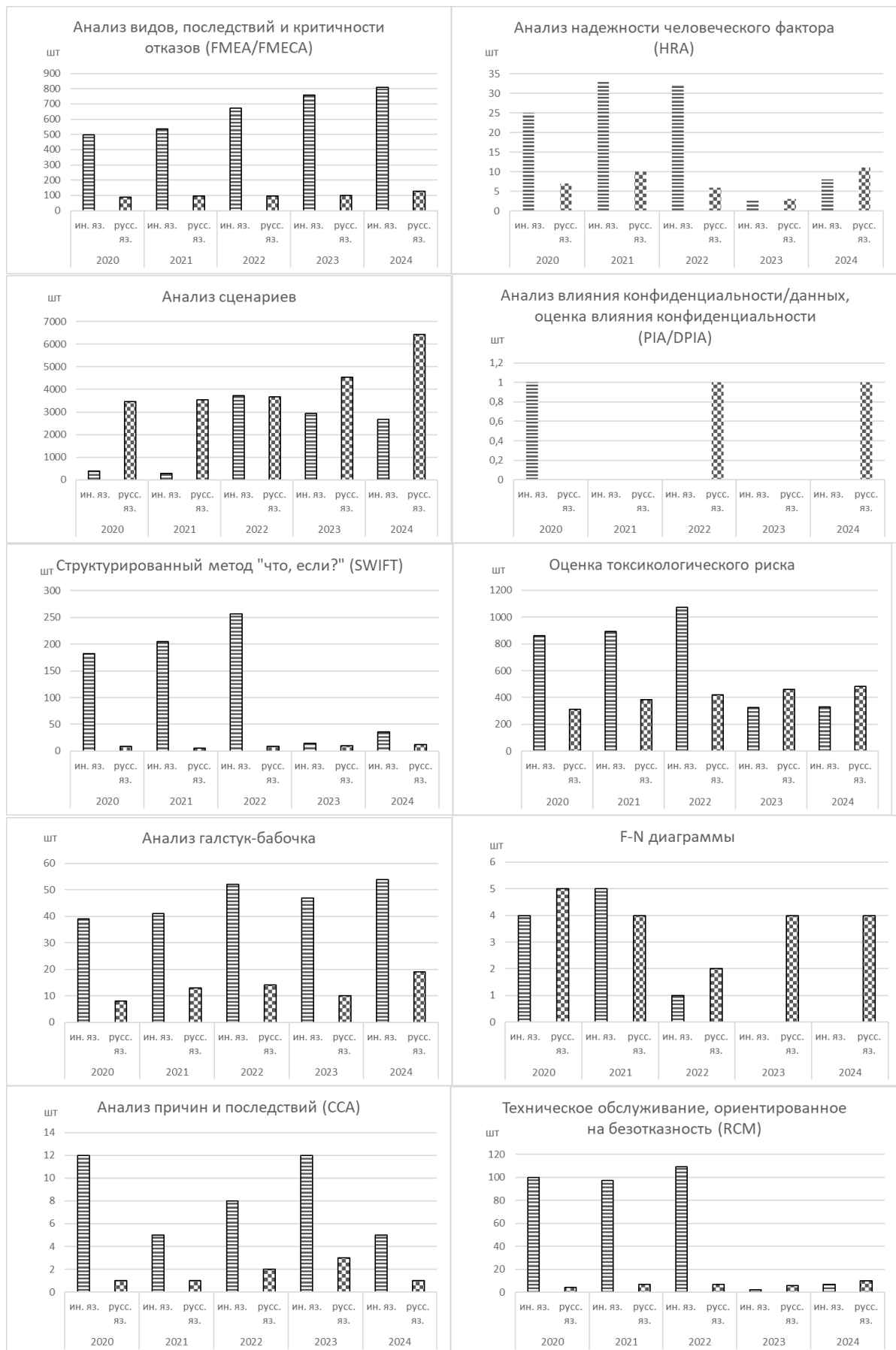
Метод оценки токсикологического риска позволяет выявить риски для человека и окружающей среды как в качественном, так и в количественном представлении, в том числе в виде границ допустимых пределов опасности. Он является строго применимым на всех этапах процесса оценки риска. Метод позволяет количественно оценить риск воздействия вредных веществ на здоровье человека или окружающую среду. Результаты анализа кривых (доза-

реакция) могут быть использованы для принятия обоснованных решений о регулировании воздействия вредных веществ. Также метод оценки токсикологического риска позволяет устанавливать стандарты и нормативы для допустимых уровней загрязнения окружающей среды. В целом оценка токсикологического риска представляет собой структурированный процесс, использующий научные принципы для оценки потенциального вреда от воздействия токсических веществ на живые организмы и экосистемы. С научной точки зрения этот подход можно рассматривать как применение принципов токсикологии, эпидемиологии и управления рисками для принятия обоснованных решений о защите здоровья человека и окружающей среды.

Метод оценки риска F-N диаграмм – прозрачный и мощный инструмент для отображения рисков ситуаций и учета летальных исходов по частоте их проявления. Данные инцидентов представляются в графическом виде с отображением допустимых факторов риска. Метод F-N диаграмм является строго применимым для выявления последствий, определения вероятности и оценки риска и применим для идентификации риска и установления его уровня. Научная надежность результатов определяется полнотой сценариев, качеством и объемом данных, корректностью модели частот и адекватной оценкой неопределенности. Для ответственных выводов рекомендуется использовать F-N вместе с подробными сценарными моделями и статистическими методами, такими как Monte-Carlo, байесовский апдейт, EVT, представлять интервалы неопределенности, нормализовать и документировать критерии при сравнении вариантов и дополнять анализ сопутствующими параметрами и качественными оценками воздействия на уязвимые группы.

Еще один метод, соответствующий комплексной оценке риска, – это метод технического обслуживания, ориентированного на безотказность (RCM). Данный метод является строго применимым только на этапе непосредственной оценки риска и применим на всех остальных этапах, включая идентификацию и анализ. Техническое обслуживание, ориентированное на надежность (RCM), представляет собой структурированный метод, основанный на принципах управления рисками и ориентированный на оптимизацию стратегий технического обслуживания. RCM использует принципы теории надежности, которая занимается изучением и прогнозированием надежности систем и компонентов. Он включает такие понятия, как частота отказов, среднее время наработки на отказ (MTBF) и вероятность безотказной работы. Данный метод стремится к оптимизации использования ресурсов для технического обслуживания. Для этого он определяет наиболее эффективные стратегии для каждого компонента исходя из его критичности и характера отказов, вместо того чтобы применять одинаковые стратегии ко всему оборудованию. RCM учитывает жизненный цикл оборудования, от проектирования до эксплуатации и вывода из эксплуатации, что позволяет разрабатывать стратегии технического обслуживания, которые максимально эффективны на протяжении всего жизненного цикла. В рамках реализации метода оборудование рассматривается как часть сложной системы и учитываются взаимосвязи между компонентами. Это позволяет выявлять каскадные отказы и другие системные эффекты. В целом применение метода RCM позволяет повысить эксплуатационную готовность оборудования за счет сокращения времени простоя и более эффективно использовать ресурсы, такие как персонал, материалы и оборудование.

Несмотря на фактор применимости или строгой применимости указанных методов анализа риска, для его комплексной оценки в реальном секторе применяются далеко не все методы [2]. Для выявления наиболее востребованных и актуальных методов оценки рисков был проведен ретроспективный анализ литературных источников по базе eLIBRARY.RU на предмет их упоминания в научных статьях, журналах и материалах конференций как на русском, так и английском языках за период с 2020 по 2024 год. Результаты литературного анализа представлены на рисунке.



Анализ литературных источников

Согласно данным, представленным на рисунке, анализ видов и последствий отказов (FMEA) и анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA) имеют стабильный рост

как в англоязычных источниках, так и в публикациях на русском языке от почти 500 до 800 публикаций и с 88 до 126 упоминаний соответственно. Такая популярность метода говорит о его востребованности для комплексной оценки риска в различных сферах деятельности.

Анализ сценариев также имеет положительную динамику количества публикаций. При этом в 2022 году среди источников на иностранном языке имеет место скачкообразный прирост с 288 до 3655 упоминаний. При этом публикации на русском языке имеют стабильно высокое значение на протяжении всего анализируемого периода. Популярность данного метода оценки риска также может быть объяснима его универсальностью в определении потенциальных событий в рамках реализации того или иного сценария.

Структурированный метод «что, если?» (SWIFT), напротив, имеет спад в количестве публикаций на иностранном языке после 2022 года. При этом с 2020 по 2022 год имеется стабильный рост со 183 до 256 публикаций. Упоминания данного метода оценки риска в русскоязычных источниках имеет незначительную, но положительную динамику.

Метод оценки риска галстук-бабочка довольно часто упоминается как в публикациях на иностранном языке (от 39 до 56 источников), так и в русскоязычных источниках (от 10 до 20 упоминаний).

Анализ причин и последствий при оценке риска представляет бимодальное распределение количества публикаций с пиками в 2020 и 2023 годах. Такая тенденция сохраняется как для иностранных публикаций, так и для русскоязычных.

Метод анализа надежности человеческого фактора (HRA) при оценке рисков в публикациях на иностранном языке имеет резкий спад после 2022 года с 32 до 8 упоминаний в 2024 году. В русскоязычных источниках публикации с упоминанием данного метода оценки риска имеют стабильный рост с 7 до 11 источников.

Анализ влияния конфиденциальности (PIA)/анализа влияния защиты данных (DPIA) для оценки риска в начале анализируемого периода упоминается только в публикациях на иностранном языке. В русскоязычных источниках данный метод фигурирует начиная с 2022 года.

Оценка токсикологического риска имеет самые высокие значения по количеству публикаций (с 860 до 1073) с 2020 по 2022 год, что можно объяснить увеличением количества исследований в сфере медицины. Рост за исследуемый период публикаций в русскоязычных источниках не такой резкий. Так, с 2020 по 2024 год количество упоминаний возросло с 310 до 485.

Метод оценки риска с использованием F-N диаграмм также имеет провал в количестве публикаций на иностранном языке после 2022 года, при этом самое большое количество упоминаний не превышает 5.

Оценка риска с использованием метода технического обслуживания, ориентированного на безотказность (RCM), имеет стабильное значение количества публикаций на русском языке за период с 2020 по 2024 год (от 4 до 10 упоминаний), при этом публикации на иностранном языке также имеют резкий спад после 2022 года, со 109 до 7 публикаций в 2024 году.

Таким образом, исходя из данных анализа публикаций можно сделать вывод, что наиболее актуальными методами для комплексной оценки рисков являются методы анализа видов, последствий и критичности отказов (FMEA/FMECA), анализ сценариев и оценка токсикологического риска. При этом два последних метода оценки рисков имеют определенный спад количества упоминаний в публикациях с 2022 по 2024 год. Это может быть связано с выходом ряда отраслевых стандартов или новой версии стандарта ГОСТ Р МЭК 31010–2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Методы оценки риска», а также его англоязычной версии.

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 31010–2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Методы оценки риска». – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 94 с.

2. Киселев Э.В. Выбор методов управления технико-производственными рисками машиностроительного предприятия / Э.В. Киселев, В.А. Трошкин // Вестник РГТА имени П. А. Соловьева. 2022. № 3 (62). С. 101–108.
3. Николаева, Н.Г. Внедрение риск-ориентированного подхода в практику испытательной лаборатории / Н.Г. Николаева, С.М. Горюнова, Р.Н. Исмаилова // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. № 8. С. 85–89.
4. Панюков, Д.И. Проблемы приоритизации риска в рамках метода FMEA / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, О.В. Никишов // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении. IV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: сборник докладов. Тула, 2023. – С. 290–294.
5. 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 // Key Engineering Materials. – 2016. – № 684. – Pp. 473–476.

References

1. GOST R IEC 31010–2021. The national standard of the Russian Federation. Reliability in technology. Risk assessment methods. (IEC 31010:2019 Risk management – Risk assessment techniques, IDT). Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. – 94 p.
2. Kiselev E.V. The choice of methods for managing technical and production risks of a machine-building enterprise / E.V. Kiselev, V.A. Troshkin // Bulletin of the Russian State Technical University named after P.A. Solovyov. 2022. No. 3 (62). Pp. 101–108.
3. Nikolaeva, N.G. The introduction of a risk-based approach to the practice of the testing laboratory / N.G. Nikolaeva, S.M. Goryunova, R.N. Ismailova // Bulletin of the Technological University. 2020. Vol. 23. No. 8. Pp. 85–89.
4. Panyukov, D.I. Problems of risk prioritization within the framework of the FMEA method / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovsky, O.V. Nikishov // In the collection: Domestic and foreign experience of quality assurance in mechanical engineering. IV All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation: collection of reports. Tula, 2023. Pp. 290–294.
5. 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 // Key Engineering Materials. – 2016. – № 684. – Pp. 473–476.