

Для цитирования

Болотов П.А., Василега Н.А., Василега Д.С. Публикационная активность по тематике FMEA: ретроспективный анализ и векторы развития / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 154–160.

УДК 658.562

ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ПО ТЕМАТИКЕ FMEA: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ВЕКТОРЫ РАЗВИТИЯ

Болотов П.А., магистрант, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Василега Н.А., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Василега Д.С., канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Настоящее исследование посвящено комплексному анализу публикационной активности, связанной с применением метода FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) в период с 2020 по 2024 год. В работе представлены результаты системного изучения динамики публикаций по типам источников, их языковому распределению, отраслевой принадлежности и векторам развития. Практическая значимость методологии проиллюстрирована на примере анализа трубных элеваторов моделей ЭТА и ЭДУ, используемых в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: FMEA, анализ видов и последствий отказов, публикационная активность, отраслевое распределение, языковая динамика, машиностроение, трубные элеваторы.

PUBLICATION ACTIVITY ON FMEA: RETROSPECTIVE ANALYSIS AND DEVELOPMENT VECTORS

Bolotov P.A., Master's Student, Tyumen Industrial University, Tyumen

Vasilega N.A., senior lecturer, Tyumen Industrial University, Tyumen

Vasilega D.S., candidate of Technical Sciences, associate professor, Tyumen Industrial University, Tyumen

This study focuses on a comprehensive analysis of publication activity related to the use of the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) method from 2020 to 2024. The study presents the results of a systematic analysis of publication dynamics based on source types, language distribution, industry affiliation, and development trends. The practical significance of the methodology is illustrated through an analysis of the ETA and EDU models of pipe elevators used in the oil and gas industry.

Keywords: FMEA, analysis of failure types and consequences, publication activity, industry distribution, language dynamics, mechanical engineering, and pipe elevators.

Метод анализа видов и последствий отказов (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) представляет собой систематический подход к выявлению потенциальных проблем, оценке рисков и разработке предупреждающих мер в различных отраслях промышленности. Возникнув в середине XX века как инструмент обеспечения надежности в оборонной и аэрокосмической отраслях, FMEA постепенно трансформировался в универсальную методологию управления рисками, применяемую в самых различных сферах – от автомобилестроения до здравоохранения.

Значимость методологии FMEA в современных промышленных условиях объясняется возрастающей сложностью технологических процессов, повышением требований к безопасности и качеству продукции, а также необходимостью предотвращения дорогостоящих простоев и аварий. Метод позволяет проактивно идентифицировать потенциальные отказы на этапах проектирования и производства, оценить их возможное влияние на систему в целом и разработать корректирующие мероприятия до возникновения реальных проблем.

Целью данного исследования является проведение комплексного анализа динамики применения метода FMEA в разрезе типов публикаций, языков публикации и отраслевой принадлежности за период с 2020 по 2024 год, чтобы выявить основные тенденции и приоритетные области применения.

Основу данного исследования составил ретроспективный анализ данных, представленных в электронной библиотеке научных публикаций eLIBRARY.RU, содержащей информацию о публикационной активности, связанной с применением метода FMEA.

В качестве материалов исследования выступили агрегированные данные из научных статей в рецензируемых журналах и материалов международных и национальных конференций, отражающие динамику публикационной активности по теме FMEA за пятилетний период с 2020 по 2024 год. Ежегодный анализ охватывал от 606 до 953 журнальных статей, что в совокупности составило более 4100 публикаций, а также от 158 до 180 материалов конференций в год – с общим охватом свыше 800 работ.

Данные были систематизированы по следующим критериям:

- год публикации;
- тип публикации;
- отраслевая принадлежность;
- язык публикации (русский/иностраные языки);
- локализация упоминания FMEA (название, аннотация, ключевые слова, полный текст).

Для обработки данных применялся комплекс методов статистического и содержательного анализа. Основу методики составил дескриптивный статистический анализ, позволивший рассчитать абсолютные показатели динамики публикационной активности по годам и типам публикаций. Сравнительный анализ был использован для выявления тенденций в отраслевом распределении применения FMEA, при этом анализировались данные по 15 отраслям, включая машиностроение, энергетику, медицину, пищевую промышленность и другие. Для определения направлений изменения количества публикаций на русском и иностранных языках был применен тренд-анализ, что позволило оценить степень интернационализации исследований. Контент-анализ использовался для изучения распределения упоминаний метода в различных разделах публикаций, включая название, аннотацию, ключевые слова и основной текст.

Анализ, представленный в таблице и на рис. 1, динамики публикационной активности, связанной с методологией FMEA, позволяет выявить устойчивую положительную динамику за период с 2020 по 2024 год. Общее количество публикаций, включая научные статьи в рецензируемых журналах и материалы конференций, в которых FMEA упоминается в различных структурных элементах – названии, аннотации, ключевых словах или основном тексте, – демонстрирует последовательный рост. Это свидетельствует о сохраняющейся и возрастающей актуальности методологии в научно-исследовательском дискурсе.

Анализ динамики публикационной активности

Год	Статьи в журналах				Материалы конференций			
	В полном тексте	В названии публикации	В ключевых словах	В аннотации	В полном тексте	В названии публикации	В ключевых словах	В аннотации
2020	606	176	53	414	158	31	32	44
2021	730	233	55	536	190	30	34	46
2022	834	254	48	598	153	26	33	29
2023	919	343	43	753	163	24	30	38
2024	953	332	54	706	180	23	29	38

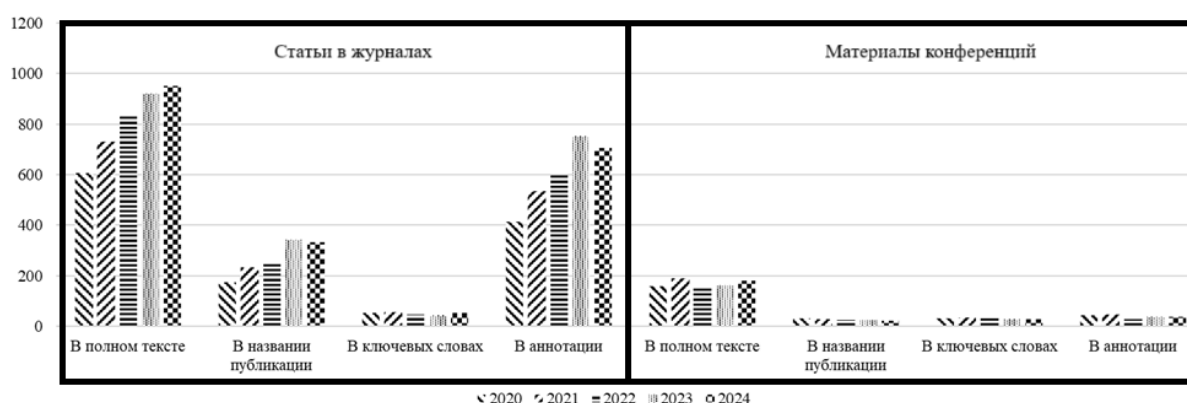


Рис. 1. Анализ динамики публикационной активности

Наиболее показательным является рост числа журнальных статей: если в 2020 году было зафиксировано 606 публикаций, то к 2024 году их количество достигло 953. Это указывает на углубленную теоретическую проработку метода, его адаптацию к новым областям знаний и активное использование в рамках долгосрочных исследований, результаты которых способствуют совершенствованию производственных систем и способствуют оптимизации ключевых отраслевых процессов.

В отличие от явного тренда роста журнальных публикаций количество материалов конференций – докладов, тезисов и статей в сборниках трудов – демонстрирует относительную стабильность с незначительными межгодовыми колебаниями. Данная тенденция позволяет сделать вывод о том, что FMEA остается востребованной темой для оперативного представления результатов прикладных исследований и обмена опытом на профессиональных площадках.

Анализ, представленный на рис. 2, отраслевого распределения публикационной активности, посвященной методу FMEA за пятилетний период, с 2020 по 2024 год, показывает, что наибольшее применение метод находит в машиностроении [5, стр. 88; 9, стр. 107324; 12, стр. 1263; 8, стр. 220]. Также значительная доля публикаций приходится на энергетику и социально значимые отрасли, демонстрирующие динамичный рост внедрения данной методологии.

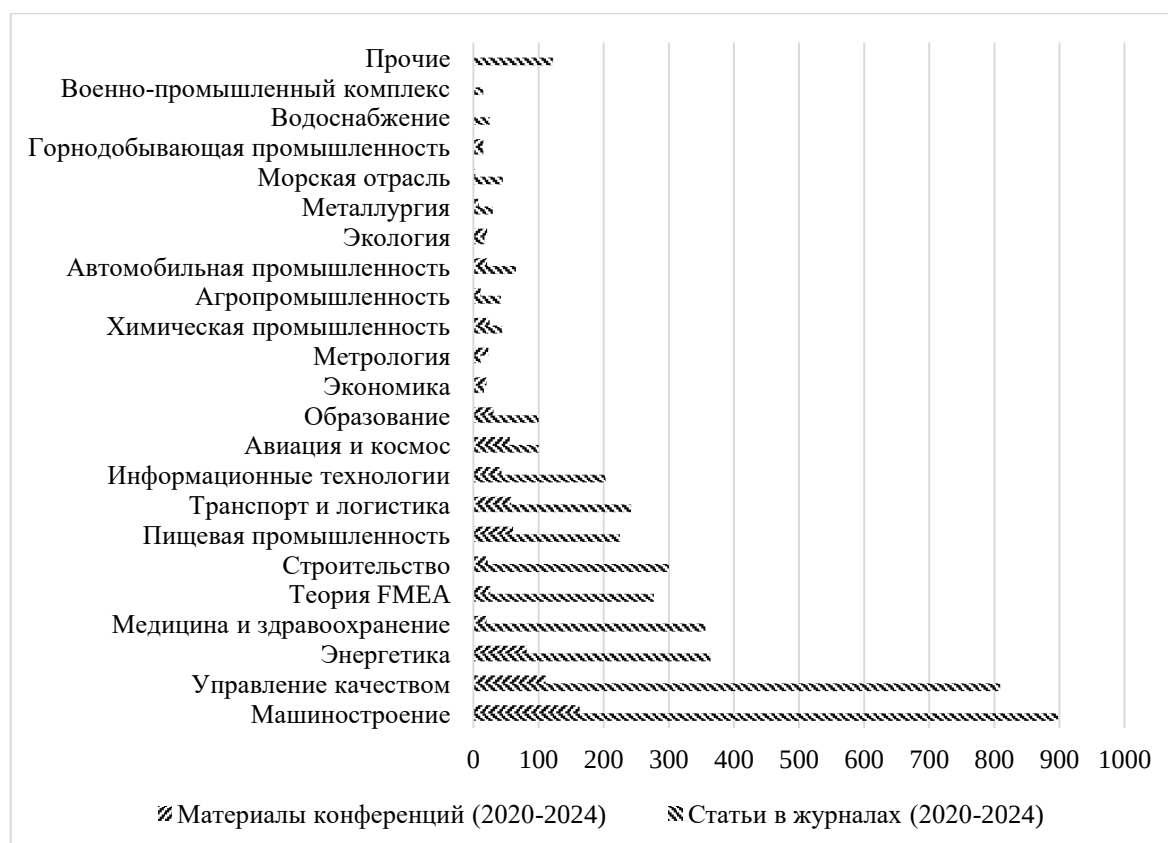


Рис. 2. Анализ отраслевого распределения публикационной активности

Что касается журнальных публикаций, то в машиностроении метод FMEA является ключевым инструментом анализа отказов оборудования, проектирования надежных систем и оптимизации технологических процессов [1, стр. 81; 10, стр. 107911]. Незначительно отстаёт сфера управления качеством, в которой метод прочно интегрирован в системы обеспечения качества, управления рисками и практики непрерывного улучшения, что обусловлено в том числе требованиями стандарта ISO 9001:2015 [4, стр. 183]. Со значительным отрывом следует энергетика, где метод применяется для повышения надёжности генерирующего оборудования и управления рисками сложных инженерных систем, а также медицина и здравоохранение, демонстрирующие одну из наиболее впечатляющих траекторий роста благодаря применению FMEA для анализа медицинских ошибок и оценки рисков оборудования [11, стр. 201]. Замыкает пятерку лидеров строительная отрасль, где метод используется для управления проектами и оценки рисков на всех этапах жизненного цикла объектов.

В отличие от журнальных статей материалы конференций отражают более прикладной и оперативный характер исследований. Здесь также сохраняется лидерство машиностроения и управления качеством, однако особенно показательным является представление отраслей, где внедрение метода имеет выраженную практическую направленность [13, стр. 109261]. Так, пищевая промышленность и транспорт с логистикой демонстрируют растущий интерес к FMEA как инструменту обеспечения безопасности продукции и управления рисками в глобальных цепочках поставок.

Анализ языковой динамики публикационной активности по теме FMEA за пятилетний период, представленный на рис. 3, выявляет устойчивую тенденцию к интернационализации исследований. Данные свидетельствуют о значительном преобладании публикаций на иностранных языках, преимущественно английском, что указывает на интеграцию методологии в глобальное научное пространство.



Рис. 3. Анализ языковой динамики публикационной активности по теме FMEA за пятилетний период

Приведенные данные позволяют сделать несколько ключевых выводов. Во-первых, отмечается стабильное преобладание публикаций на иностранных языках, причем их количество показывает последовательный рост с 500 в 2020 году до 823 в 2024 году. Это отражает активное участие исследований по FMEA в международном диалоге и их востребованность в мировом научном сообществе [15, стр. 959].

Во-вторых, публикации на русском языке, хотя и менее многочисленны, вносят существенный вклад в развитие методологии, адаптируя и развивая метод FMEA для русскоязычного профессионального сообщества. Сохранение устойчивого потока таких публикаций подчеркивает важность метода для решения практических задач в региональном контексте и свидетельствует о его успешной интеграции в национальную практику управления рисками.

Анализ наиболее цитируемых статей по тематике FMEA позволяет выявить ключевые векторы развития данного метода. Основной тренд заключается в стремлении преодолеть главное ограничение классического FMEA – субъективность экспертных оценок [6, стр. 26; 16, стр. 1786]. Это достигается за счет активной интеграции с методами многокритериального принятия решений (MCDM) и использованием аппарата нечеткой логики, которые обеспечивают более строгое и обоснованное ранжирование рисков [14, стр. 106134]. Указанные методологические усовершенствования находят применение при решении задач анализа рисков в высокотехнологичных областях, что подтверждает растущую сложность анализируемых систем [17, стр. 399].

Для подтверждения актуальности и практической значимости методологии FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) был проведен детальный анализ двух моделей трубных элеваторов, широко используемых в нефтегазовой отрасли: модели ЭТА и модели ЭДУ [3, стр. 282]. Данное исследование позволило не только выявить критические недостатки существующих конструкций, но и продемонстрировать эффективность FMEA как инструмента превентивного управления рисками в области промышленного оборудования.

В ходе анализа модели ЭТА были выявлены следующие критические проблемы:

- разрушение корпуса элеватора вследствие циклических нагрузок и усталостных напряжений в материале конструкции;
- повреждения ключевых несущих элементов – деформации и трещины в деталях, воспринимающих основную эксплуатационную нагрузку, что создавало риск внезапного отказа и аварийной ситуации.

При исследовании модели ЭДУ был обнаружен потенциальный отказ иного характера: недостаточное количество степеней защиты против случайного раскрытия замковых механизмов, что создавало угрозу падения буровой колонны с серьезными последствиями для безопасности людей, оборудования и окружающей среды.

На основе проведенного FMEA-анализа был предложен комплекс корректирующих мероприятий, направленных на устранение выявленных дефектов и минимизацию рисков. Ключевым решением стало проектирование и внедрение новой, усовершенствованной модели элеватора, в которой были учтены все выявленные недостатки. В новую конструкцию включены: усиленный корпус с повышенным запасом прочности и дополнительные предохранительные механизмы.

Для подтверждения его эксплуатационных характеристик был проведен анализ напряженно-деформированного состояния конструкции под нагрузкой [7], соответствующей заявленной грузоподъемности. Исследование включало в себя расчеты деформаций, главных напряжений и коэффициента запаса прочности, что позволило оценить надежность элеватора в условиях реальной эксплуатации [2, стр. 240]. Максимальные перемещения усовершенствованного элеватора под нагрузкой 100 тонн составляют 0,8 мм. Такой уровень деформации является допустимым и свидетельствует о высокой жесткости конструкции, что подтверждает соответствие заявленной грузоподъемности. Максимальные главные напряжения под нагрузкой 100 тонн равны 696,1 МПа. Данный показатель максимальных главных напряжений находится в допустимых пределах и подтверждает высокую жесткость конструкции, что соответствует заявленной грузоподъемности.

Проведенное исследование выявило устойчивую положительную динамику развития методологии FMEA в 2020–2024 гг. Количество публикаций в рецензируемых журналах возросло с 606 до 953 статей в год, что свидетельствует о растущей актуальности метода в научном сообществе.

Анализ отраслевого распределения показывает лидерство машиностроения по применению FMEA, одновременно отмечается активное внедрение метода в медицине и энергетике. Языковая динамика отражает процесс интернационализации исследований – преобладание публикаций на иностранных языках (рост с 500 до 823 статей) свидетельствует об интеграции методологии в глобальное научное пространство.

Современное развитие FMEA характеризуется интеграцией с методами многокритериального принятия решений и аппаратом нечеткой логики, что позволяет преодолевать субъективность экспертных оценок.

Практическая значимость методологии подтверждена результатами анализа трубных элеваторов для нефтегазовой отрасли, где применение FMEA позволило разработать усовершенствованную конструкцию с подтвержденными характеристиками надежности.

Список литературы / References

1. Артамонов Е.В., Остапенко М.С., Василега Н.А. Определение эффективной скорости резания сборным инструментом на основе оценки рисков низкой обрабатываемости материала и потери работоспособности режущего инструмента // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. Т. 26. № 1 (117). С. 81–91.
Artamonov E.V., Ostapenko M.S., Vasilega N.A. Determination of the effective cutting speed by a composite tool based on the assessment of the risks of low machinability of the material and loss of the cutting tool performance // Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2024. Vol. 26. No. 1 (117). P. 81–91.
2. Болотов П.А. Повышение качества элеватора трубного // В сборнике: Новые технологии — нефтегазовому региону. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах. Отв. редактор В.А. Чейметова. Тюмень, 2023. С. 238–241.
Bolotov P.A. Improvement of the quality of the tube elevator // In the collection: New technologies for the oil and gas region. Materials of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students, and Young Scientists. In 2 volumes. Edited by V.A. Cheimetova. Tyumen, 2023. P. 238–241.

3. Болотов П.А., Василега Д.С. FMEA анализ элеватора трубного модели ЭДУ // В сборнике: Новые технологии – нефтегазовому региону. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах. Тюмень, 2024. С. 282–283.
Bolotov P.A., Vasilega D.S. FMEA Analysis of the Elevator of the EDU Pipe Model // In the collection: New Technologies for the Oil and Gas Region. Materials of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students, and Young Scientists. In 2 volumes. Tyumen, 2024. P. 282–283.
4. Василега Д.С., Остапенко М.С., Василега Н.А. Разработка методики оценивания рисков и возможностей в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001:2015 // Естественные и технические науки. 2019. № 5 (131). С. 183–188.
Vasilega D.S., Ostapenko M.S., Vasilega N.A. Development of a methodology for assessing risks and opportunities in accordance with the requirements of the ISO 9001:2015 standard // Natural and Technical Sciences. 2019. No. 5 (131). P. 183–188.
5. Василега Н.А. Адаптация метода оценки рисков при эксплуатации сборного режущего инструмента с учетом выявления возможностей // Архитектура, строительство, транспорт. 2023. № 2 (104). С. 88–96.
Vasilega N.A. Adaptation of the method for assessing risks during the operation of a composite cutting tool, taking into account the identification of opportunities // Architecture, Construction, Transport. 2023. No. 2 (104). P. 88–96.
6. Ключков Ю.С., Фокин Г.А., Сыровацкий О.В. Учет неопределенности при проведении процедуры FMEA-анализа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23. № 6 (104). С. 26–32.
Klochkov Yu.S., Fokin G.A., Syrovatsky O.V. Accounting for Uncertainty in the FMEA Analysis Procedure // Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021. Vol. 23. No. 6 (104). P. 26–32.
7. Ansys Engineering Simulation Software : программное обеспечение для инженерного моделирования, версия 2024 R2 / ANSYS, Inc. – URL: <https://www.ansys.com/> (дата обращения: 02.06.2025).
8. Artamonov E., Vasilega N., Yadygin A. Analysis of factors affecting operability to assess risks and opportunities in the operation of built-up cutting tools // Key Engineering Materials. 2022. Т. 910 KEM. P. 220–225.
9. Chang Ch.H., Kontovas Ch., Yu Q., Yang Z. Risk assessment of the operations of maritime autonomous surface ships // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 207. P. 107324.
10. Ding R., Liu Z., Xu J., Sui Y., Men X., Meng F. A novel approach for reliability assessment of residual heat removal system for HPR1000 based on failure mode and effect analysis, fault tree analysis, and fuzzy Bayesian network methods // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 216. P. 107911.
11. Jahangoshai Rezaee M., Yousefi S., Eshkevari M., Valipour M., Saberi M. Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy inference system and fuzzy DEA // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2020. Vol. 34, № 1. P. 201–218.
12. Klochkov Y., Antipov D., Savich E., Syrovatsky O., Glushkov S. FMEA quality improvement method of flame spraying thermal insulation // International Journal for Quality Research. 2021. Т. 15. № 4. P. 1263–1276.
13. Li He., Díaz H., Guedes Soares C. A failure analysis of floating offshore wind turbines using AHP-FMEA methodology // Ocean Engineering. 2021. Vol. 234. P. 109261.
14. Qin J., Xi Ya., Pedrycz W. Failure mode and effects analysis (FMEA) for risk assessment based on interval type-2 fuzzy evidential reasoning method // Applied Soft Computing. 2020. Vol. 89. P. 106134.
15. Sujath R., Chatterjee J.M., Hassanien A.E. A machine learning forecasting model for COVID-19 pandemic in India // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2020. Vol. 34, № 7. P. 959–972.
16. Wu D., Tang Y. An improved failure mode and effects analysis method based on uncertainty measure in the evidence theory // Quality and Reliability Engineering International. 2020. Vol. 36, № 5. P. 1786–1807.
17. Zhou B., Chen J., Wu Q., Pamučar D., Wang W., Zhou L. Risk priority evaluation of power transformer parts based on hybrid FMEA framework under hesitant fuzzy environment // Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering. 2022. Vol. 20, № 2. P. 399.