

Интеграция методов менеджмента качества для решения задач управления безопасностью продукции

Юрий Сергеевич Клочков ✉, Андрей Михайлович Тверяков, Никита Олегович Коваль

Тюменский индустриальный университет (ТИУ), г. Тюмень, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Мониторинг качества продукции является сегодня одной из наиболее важных задач, так как иначе невозможно гарантировать как выпуск конкурентоустойчивой продукции, так и обеспечить заданный уровень безопасности. Но сегодня отсутствуют работы, связанные с анализом такой системы мониторинга, оценкой ее соответствия, адекватности и адаптированности к конкретным производственным задачам.

Цель и задачи. Стандартизация системы мониторинга методов менеджмента качества для повышения эффективности интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах за счет решения задач интеграции методов менеджмента качества и оценки валидности системы мониторинга качества продукции.

Методы исследования. Анализ практики применения методов менеджмента качества, математического моделирования применения нескольких методов управления качеством конкурирующих за одни и те же управленческие ресурсы, оценка возможности и примеры интеграции методов между собой для решения задачи грамотной трансляции информации от одного метода к другому.

Заключение. Современные системы мониторинга качества продукции должны отвечать требованиям системности, а именно: целостности, эмерджентности, адаптированности, доступности и другим. Иначе применение методов и специализированных программных продуктов не приведет к повышению качества продукции, обеспечению ее конкурентоустойчивости и соответствия требованиям безопасности.

Ключевые слова: QFD; FMEA; управление рисками; закон Вебера – Фехнера; дымогазонепроницаемые двери

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ по Соглашению между Российским научным фондом, руководителем проекта и организацией о представлении гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований № 25-19-00898 от 27.05.2025.

Для цитирования: Клочков Ю.С., Тверяков А.М., Коваль Н.О. Интеграция методов менеджмента качества для решения задач управления безопасностью продукции // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 6. С. 49–57. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.06.49-57

✉ Клочков Юрий Сергеевич, e-mail: y.kloch@mail.ru

Integration of quality management methods for solving product safety management tasks

Yury S. Klochkov ✉, Andrey M. Tveryakov, Nikita O. Koval

Industrial University of Tyumen (TIU), Tyumen, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Product quality monitoring is an important task today, because it is impossible to guarantee the production of competitive products and to ensure a given level of safety. Nowadays there are no studies analyzing such a monitoring system or assessing its compliance, adequacy, and adaptability to specific production tasks.

Goals and objectives. The aim is to standardize the quality management methods monitoring system to improve the effectiveness of intelligent decision support in organizational systems. This can be achieved by integrating quality management methods and assessing the validity of the product quality monitoring system.

Methods. Analysis of the practical use of quality management methods, mathematical modelling of several quality management methods competing for the same management resources, and feasibility evaluation and examples of integration techniques to solve the problem of transferring information from one method to another.

Conclusions. Modern product quality monitoring systems have to meet the requirements of consistency, such as integrity, emergence, adaptability, accessibility, and other factors. Otherwise, the use of methods and specialized software would not improve product quality, ensure its competitiveness and compliance with safety requirements.

Keywords: QFD; FMEA; risk management; Weber – Fechner law; smoke- and gas-tight doors

Acknowledgements. The research was financed as part of the grant from the Russian Science Foundation under Agreement between the Russian Science Foundation, the project manager, and the organization of a grant for fundamental scientific research and exploratory scientific research No. 25-19-00898 dated May 27, 2025.

For citation: Klochkov Yu.S., Tveryakov A.M., Koval N.O. Integration of quality management methods for solving product safety management tasks. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(6):49-57. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.06.49-57 (rus).

✉ Yury Sergeevich Klochkov, e-mail: y.kloch@mail.ru

Введение

Решение задач управления безопасностью продукции охватывает весь цикл создания, эксплуатации и утилизации продукции. На каждом этапе, начиная уже с проектирования, применяются методы менеджмента качества [1, 2], цель которых — обеспечение максимальной эффективности и результативности конкретного этапа жизненного цикла продукции [3, 4]. Так, например, на этапах разработки продукции применяется методология развертывания функций качества, которая позволит перейти от ожиданий потребителя к конкретным техническим характеристикам продукции [5, 6]. Далее зарекомендовал себя анализ рисков и последствий потенциальных несоответствий (FMEA), который учитывает опыт экспертов, статистические оценки и тренды, позволяет обнаружить и устранить риски эксплуатации продукции, а также влияет на сроки изготовления [7, 8]. На этапах производства применяются методы контроля качества продукции, которые позволяют обнаруживать брак, а также управлять производственным процессом в реальном режиме времени, но без применения QFD это невозможно [9].

Но возникает проблема в том, что методы менеджмента качества должны работать синхронно. Любой из семи методов контроля качества, либо управления качеством самостоятельно может показать очень неплохие результаты [10], но если их не увязать в единую систему мониторинга качества выпускаемой продукции, то можно получить обратный эффект. Например, индексы воспроизводимости C_p и C_{pk} при анализе производственных процессов в случае, когда значения выше чем 1,66, демонстрируют высокое качество технологических операций [11], но при этом контрольные карты Шухарта могут показывать, что технологическая операция статистически неуправляема, тогда как нужно принять решение о качестве конкретной технологической операции, какой из методов должен быть в приоритете. То есть возникает задача валидации системы методов управления качеством.

Цель и задачи исследования

Стандартизация системы мониторинга методов менеджмента качества для повышения эффективности интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах

за счет решения задач интеграции методов менеджмента качества и оценки валидности системы мониторинга качества продукции.

Методы исследования

Нужно отметить, что применение методов менеджмента качества всегда будет сопровождаться передачей части управленческих решений от руководства персоналу на местах [12]. Это связано с тем, что потребуются соответствующим образом собирать информацию о качестве, например метрологическую, статистическую, за счет проведения наблюдений, фиксации данных и их структурирования. Даже вопрос группирования данных очень серьезным образом может повлиять на построение контрольных карт Шухарта, а следовательно, на результаты принятия решений [13]. Кроме того, любой метод менеджмента качества потребует дополнительного времени и знаний, т.е. понадобится выделить соответствующие ресурсы для его эффективного применения, например, приобретение соответствующего пакета прикладных программ и обучение пользованию им [14]. То есть, с одной стороны, внедрение методов менеджмента качества повышает самоорганизацию, с другой, требует дополнительных условий для правильного внедрения новых методов управления. Поэтому так важно, чтобы методы менеджмента качества были интегрированы друг с другом.

Рассмотрим математическую модель взаимодействия методов менеджмента качества на основе моделей Лотки – Вольтера [15, 16]. Данные модели часто используют для анализа нескольких конкурентов. Составим систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_1}{dt} = C_1\varphi_1 + a_{12}\varphi_1\varphi_2 + a_{11}\varphi_1^2 \\ \frac{d\varphi_2}{dt} = C_2\varphi_2 + a_{21}\varphi_1\varphi_2 + a_{22}\varphi_2^2 \end{cases},$$

где $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ — характеризуют затрачиваемые ресурсы, в том числе управленческие в конкретный момент времени t .

Если $C_i > 0$, то внимание к соответствующему методу менеджмента качества растет, если $C_i < 0$, то уменьшается. $a_{ii}\varphi_i^2$ в данной системе уравнений отвечает за оценку конкуренции методов менеджмента качества между собой, если $a_{ii} > 0$, то мы доби-

лись, что методы интегрированы, благоприятно влияют на развитие выпускаемой продукции. Если же a_{ii} отрицательны, то методы менеджмента качества конфликтуют между собой и конкурируют за управленческие ресурсы. Если $a_{12} > 0$ и $a_{21} > 0$, то один из методов менеджмента качества основывается на результатах работы предыдущего.

Результаты и обсуждение

Развертывание функций качества (QFD, рис. 1) нацелено на обеспечение конкурентноустойчивого производства [17], поэтому сначала проводится детальный анализ пожеланий потребителей, показателей конкурентов и требований ГОСТов, а затем проектируется система производства.

Нужно сказать, что QFD уже интегрирует в себе несколько методов менеджмента качества, например квалитметрию, стратификацию и т.д. При этом развитие методов квалитметрии как отдельной науки не учитывается при QFD. Следовательно, расчет значимости характеристик продукции осуществляется неверно. В качестве рекомендаций предложим учет закона Вебера – Фехнера при указанных расчетах, а также стоит понимать, какие методы менеджмента качества будут применяться для обеспечения нужных характеристик, что как раз и станет основой для построения грамотной, комплексной системы мониторинга качества выпускаемой продукции.

Учет закона Вебера – Фехнера стоит делать в том случае, когда потребитель использует органолептические методы оценки качества продукции. Тогда при QFD необходимо линейные оценки характеристик заменить на логарифмические, что соответствует оценкам интенсивности ощущений на раздражителя. Кроме того, отметить, что потребитель-пользователь, в отличие от потребителя-профессионала, совершенно иначе подходит к суждениям о качестве продукции.

Если ожидание потребителя зависит только от одной характеристики, то можно записать такое уравнение:

$$K_{\text{потр.пол}} = K \cdot \ln \left(\frac{P_{\text{хар.прод}}}{P_{\text{нач}}} \right),$$

где K — константа конкретной характеристики продукции, степень ее влияния на ощущения потребителя-пользователя;

$P_{\text{хар.прод}}$ — величина конкретной характеристики продукции;

$P_{\text{нач}}$ — величина конкретной характеристики продукции, при которой оценка качества будет нулевой или минимальной.

Фактически предлагается с точки зрения квалитметрии изменить правила оценки, оставив при этом

ту же базу сравнения и предмет исследования. Новые правила оценки коренным образом изменят значимость каждой характеристики продукции, что позволит комплексно обеспечить конкурентоустойчивость продукции на рынке.

Таким образом, интеграция новых подходов в квалитметрическом анализе с существующими методами развертывания функций качества позволяет принципиально по новому оценивать продукцию, учитывать мнения потребителя-пользователя для обеспечения конкурентоустойчивости продукции.

Рассматривая следующий основной метод управления качеством — анализ видов и последствий потенциальных несоответствий, — согласимся с тем, что его практика применения и адаптации к современным технологиям производства проходит гораздо быстрее и эффективнее [18]. Способствует этому развитие международного стандарта ISO 9001¹, в котором риск-ориентированный подход поставлен как основной. Тем не менее при расчетах приоритетного числа рисков до сих пор не учитывают их взаимовлияние, что для обеспечения безопасности продукции является серьезной недоработкой.

Нежелательные события, которые возникают при чрезвычайных ситуациях, динамически меняют свои оценки вероятности возникновения и возможности обнаружения, что явно нелинейно отражается на расчетах приоритетного числа риска, а также оценки последствий данных событий. Предложенные модели оценки одновременно происходящих нежелательных событий можно строить по-разному, но фактически все сведется к формуле расчета приоритетного числа риска при анализе зависимых несоответствий, их причин, либо последствий:

$$\text{ПЧР}_{\text{зав.соб}} = \prod_{i=1}^n \text{П}^{\text{макс}}; \text{Ч}_i; \text{O}_i,$$

где $\text{ПЧР}_{\text{зав.соб}}$ — приоритетное число риска зависимого нежелательного события;

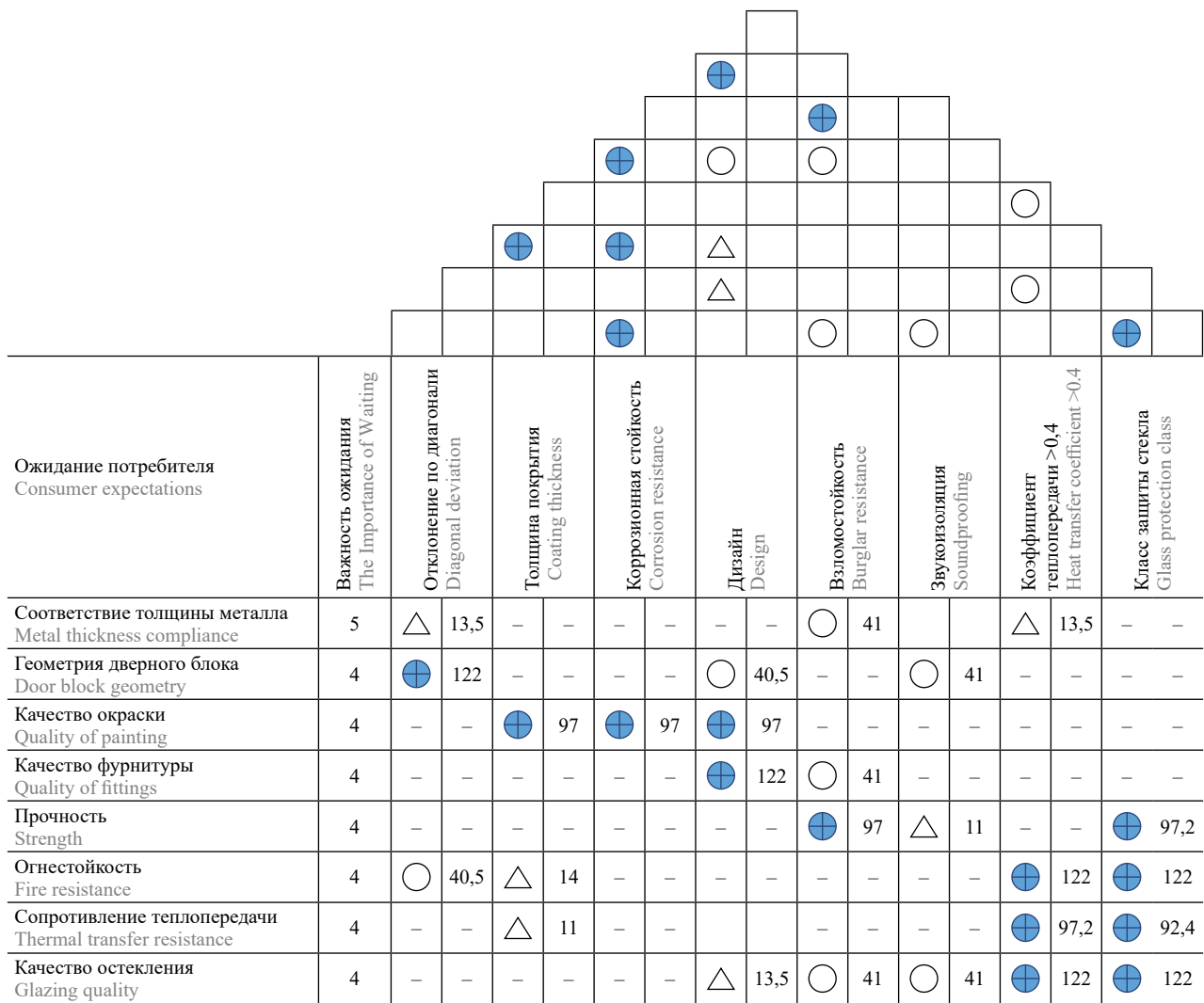
$\text{П}^{\text{макс}}$ — максимальная оценка последствий, которые могут произойти при возникновении нежелательного события;

Ч_i — оценка вероятности возникновения зависимого нежелательного события;

O_i — оценка возможности обнаружения зависимого нежелательного события, либо его последствия или причины.

Итоговый расчет приоритетного числа риска сводится к суммированию всех ранее рассчитанных значений. Интеграции QFD и FMEA осуществляются за счет формирования матрицы оценки рисков по указанным в Доме качества характеристикам (табл. 1).

¹ ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Национальный стандарт Российской Федерации системы менеджмента качества (дата введения: 2015-11-01).



Суммарная оценка Overall score	175,5	121,3	97	272,5	178,2	91,8	340,2	432,6
Приоритетность, % Priority, %	10,3	7,1	5,7	15,9	10,4	5,4	19,9	25,3
Единицы измерения Units of measurement	мм mm	мкм microns	мкм/год m/year	балл score	класс type	дБ dB	Вт/м²·К W/m²·K	класс type
Наша продукция Our products	2	130	20	8	2	32	0,4	СМ4
Продукция конкурентов Competitors' products	3	100	30	7	2	29	0,4	СМ3
Целевое значение Target value	3	100	20	10	3	32	0,4	СМ4
ПЧРн RPNd	70	120	45	94	106	80	82	125
ПЧР* RPN*	35	54	20	56	48	40	64	50

Оценка Grade				Целевое значение Target value	Степень улучшения Degree of improvement	Весомость Weightiness	Весомость, % Weightiness, %
4	-	5	-	-	-	-	-
-	-	5	5	5	1	5	13,5
-	5	-	5	5	1,25	5	13,5
5	5	-	-	4	1	4	10,8
5	5	-	-	5	1,25	5	13,5
-	5	-	4	4	1	4	10,8
5	-	-	5	5	1,25	5	13,5
5	-	-	4	4	1	4	10,8
5	-	-	5	5	1,25	5	13,5
						37	100

⊕ 9; ○ 3; △ 1; ■ ■ Конкуренты / Competitors

Рис. 1. Фрагмент результатов QFD стальных, дымогазонепроницаемых дверей
Fig. 1. Fragment of QFD results for steel, smoke- and gas-tight doors

Таблица 1. Интеграция результатов QFD и FMEA
Table 1. Integration of QFD and FMEA results

Суммарная оценка Overall score	175,5	121,3	97	272,5	178,2	91,8	340,2	432,6
Приоритетность, % Priority, %	10,3	7,1	5,7	15,9	10,4	5,4	19,9	25,3
Единицы измерения Units of measurement	мм mm	мкм microns	мкм/год µm/year	балл score	класс type	дБ dB	Вт/м²·К W/m²·K	класс type
Наша продукция Our products	2	130	20	8	2	32	0,4	СМ4
Продукция конкурентов Competitors' products	3	100	30	7	2	29	0,4	СМ3
Целевое значение Target value	3	100	20	10	3	32	0,4	СМ4
ПЧРн RPNd	70	120	45	94	106	80	82	125
ПЧР* RPN*	35	54	20	56	48	40	64	50

Такой подход позволит грамотно наследовать результаты QFD при проведении FMEA, иначе результаты двух методов не будут работать эффективно [16]. Это не означает, что при FMEA следует учитывать только те характеристики, которые имеются в Доме качества, но таким образом формируется минимальный перечень характеристик, обязательных к рассмотрению и анализу, так как они напрямую влияют на конкурентоустойчивость продукции [19].

Таким образом, общий подход к оценке системы применяемых методов менеджмента качества (рис. 2) основан на оценках актуальности методов, их доступности конкретному работнику (в том числе за счет

активной стандартизации) [20], интеграции в существующие подходы и культуру производства и адаптации под конкретные задачи.

В итоге вся система мониторинга качества продукции и процессов должна отвечать требованиям валидности. В данной статье установим следующие определения оценки валидности системы мониторинга качества:

- *внешняя валидность* — отвечает на вопрос обобщения результатов оценки для других продуктов и процессов;
- *операционная валидность* — частный случай внешней валидности, отвечает на вопрос,

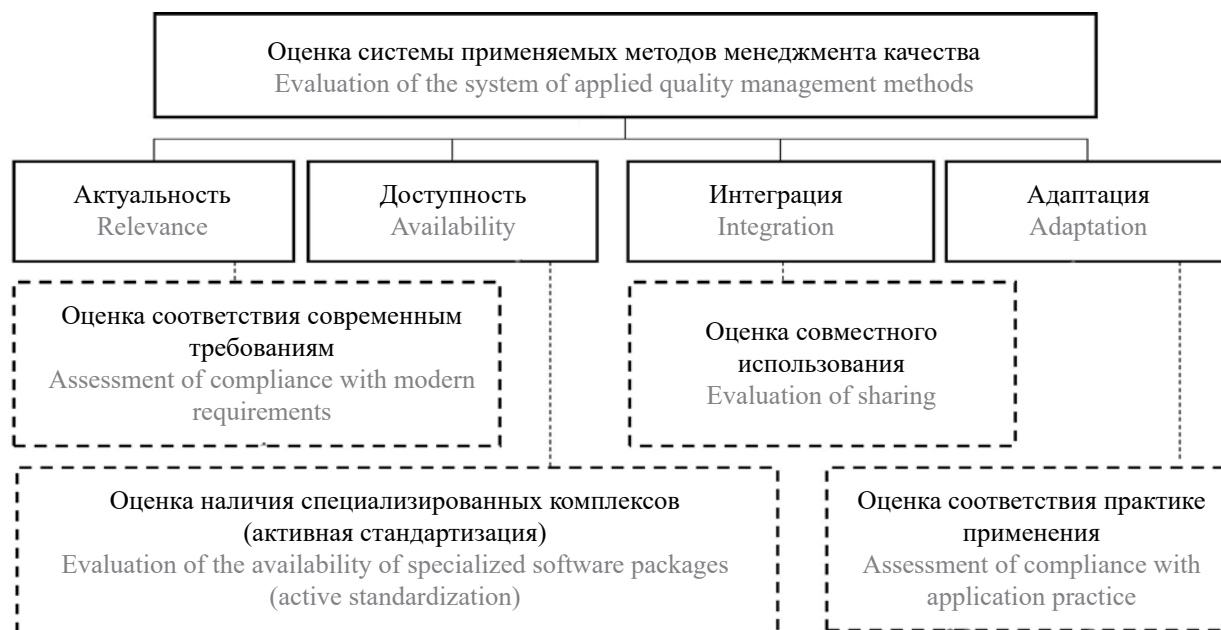


Рис. 2. Основные направления оценки системы применяемых методов менеджмента качества
Fig. 2. Main directions for evaluating the system of applied quality management methods

Таблица 2. Оценка валидности методов управления качеством (семь новых методов)
Table 2. Evaluation of the quality management methods validity (seven new methods)

Методы менеджмента качества Quality management methods	Предложенные типы валидности Proposed types of validity				
	Внешняя External	Операционная Operational	Конструктивная Constructive	Методическая Methodological	Инкрементная Incremental
Диаграмма сродства Affinity diagram	Средняя Average	Высокая High	Высокая High	Высокая High	Средняя Average
Диаграмма связей Interrelationship diagram	Низкая Low	Средняя Average	Высокая High	Высокая High	Высокая High
Дерево решений Tree diagram	Средняя Average	Средняя Average	Высокая High	Высокая High	Высокая High
Матричная диаграмма Matrix diagram	Низкая Low	Низкая Low	Средняя Average	Высокая High	Средняя Average
Стрелочная диаграмма Arrow diagram	Средняя Average	Высокая High	Средняя Average	Высокая High	Высокая High
PDPC	Низкая Low	Высокая High	Высокая High	Высокая High	Высокая High
Матрица приоритетов Prioritization matrix	Высокая High	Высокая High	Средняя Average	Высокая High	Средняя Average

насколько результаты оценки первой партии продукции можно распространять на последующие (примером может быть выборочный контроль, т.е. насколько метод менеджмента качества позволяет отойти от стопроцентного контроля);

- *конструктивная валидность* — отвечает на вопрос, в достаточной ли степени результаты применения метода менеджмента качества соответствуют реальной изменчивости показателей качества;
- *методическая валидность* — отвечает на вопрос, действительно ли оценивается тот параметр, который необходим;
- *инкрементная валидность* — отвечает на вопрос правильности классификации продукции по уровню качества.

Оценка валидности методов менеджмента качества будет носить экспертно-статистический характер, для упрощения результаты оценки сведем в табл. 2. В итоге получим комплексной анализ методов менеджмента качества, что позволит понимать их преимущества и недостатки.

Заключение

Группа методов мониторинга качества продукции, особенно относящейся к управлению безопасностью продукции, должна обладать всеми признаками системы, т.е. быть целостной, отвечать поставленным целям и задачам, быть результативной и эффектив-

ной, эмерджентной, актуальной и адаптивной. Иначе применение методов отдельно друг от друга приводит к конфликтам не только ресурсов и времени, но и управленческих решений. Без интеграции методов между собой, например, QFD и FMEA характеристики продукции рассматриваются без учета предыдущих этапов, предыдущих результатов оценки важности характеристик, рисков, связанных с ними как при производстве, так и при эксплуатации.

Построение системы мониторинга должно начинаться с оценки предлагаемых методов менеджмента качества, их валидности и возможностей. Следует отметить, что интеграция методов менеджмента качества может происходить как за счет наследия результатов применения методов, так и за счет изменения логики, а следовательно, подходов и формул расчетов показателей качества.

Дальнейшее развитие методов менеджмента качества будет происходить за счет их совместного применения на конкретных этапах жизненного цикла. Методы менеджмента качества отвечают такому запросу, так как обладают очень высокой степенью адаптации к конкретным условиям и требованиям. Фактически грамотность применения метода зависит от персонала, который его использует, важным моментом является то, что следует отказаться от практики применения метода менеджмента качества ради самого метода и ответить на вопрос, какую задачу он решает.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Frolova E., Gazizulina A., Eskina E., Ostarenko M., Aidarov D. Development of QFD Methodology // Springer Proceedings in Business and Economics. 2018. Pp. 121–128. DOI: 10.1007/978-981-10-5577-5_10. EDN FVRQOS.
2. Fazeli H.R., Peng Q. Integrated approaches of BWM-QFD and FUCOM-QFD for improving weighting solution of design matrix // Journal of Intelligent Manufacturing. 2023. No. 34 (3). Pp. 1003–1020. DOI: 10.1007/s10845-021-01832-w. EDN NBIMGE.
3. Tian Z.P., Nie R.X., Wang J.Q., Li L. Group multigranular linguistic QFD for prioritizing service designs with combined weighting method // Expert Systems. 2019. No. 36 (4). P. e12419. DOI: 10.1111/exsy.12419. EDN ONXTFO.
4. Hartanti L.P.S., Mulyono Ju., Mayang V. Penerapan FMEA dan fuzzy FMEA dalam penilaian Risiko lean waste di industri manufaktur // JST (Jurnal Sains dan Teknologi). 2022. No. 11 (2). Pp. 293–304. DOI: 10.23887/jstundiksha.v11i2.50552. EDN BAXEXJ.
5. Ivančan J., Lisjac D. New FMEA Risks Ranking Approach Utilizing Four Fuzzy Logic Systems // Machines. 2021. No. 9 (11). P. 292. DOI: 10.3390/machines9110292. EDN WZTXBN.
6. Klochkov Yu., Samorukov D., Samorukov V. Quality management models and methods improvement for an expanding competitive range of leather and footwear products // Proceedings on Engineering Sciences. 2024. No. 6 (2). Pp. 629–636. DOI: 10.24874/pes06.02.019. EDN GNSWRI.
7. Liu Q., Chen X., Tang X. Spherical fuzzy bipartite graph based QFD methodology (SFBG-QFD): Assistive products design application // Expert Systems with Applications. 2024. No. 239. P. 122279. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122279
8. García Aguirre P.A., Pérez-Domínguez L., Luviano-Cruz D. PFDA-FMEA, an Integrated Method Improving FMEA Assessment in Product Design // Applied Sciences (Switzerland). 2021. No. 11 (4). P. 1406. DOI: 10.3390/app11041406. EDN BTJMSK.
9. Frizziero L., Donnici G., Galiè G., Pala G., Pilla M., Zamagna E. QFD and SDE Methods Applied to Autonomous Minibus Redesign and an Innovative Mobile Charging System (MBS) // Inventions. 2023. No. 8 (1). P. 1. DOI: 10.3390/inventions8010001. EDN LSPSFG.
10. Sivasankaran P. Literature Review on Quality Concepts in Industrial Systems using QFD (Quality Function Deployment) — Survey and Extensions // Productivity. 2021. No. 61 (4). Pp. 463–469. DOI: 10.32381/prod.2021.61.04.9. EDN EPWLGW.
11. Zhou X., Chen Ch., Tian H., Wang L., Yang Zh., Yang H. Time-varying FMEA method based on interval-valued spherical fuzzy theory // Quality and Reliability Engineering International. 2021. No. 37 (8). Pp. 3713–3729. DOI: 10.1002/qre.2943. EDN RYAVZQ.
12. Wang W.A., Ma Y., Liu Sh. Z-number integrated weighted MULTIMOORA method for risk prioritization in FMEA // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2021. No. 41 (2). Pp. 2523–2537. DOI: 10.3233/jifs-200678. EDN ITUQBS.
13. Абдусаломов А.Г.У. Применения FMEA-анализа на металлургических предприятиях // Качество и жизнь. 2025. № 1 (45). С. 54–60. EDN DLMREW.
14. Даниелян А.С., Хунузиди Е.И. Метод QFD: от Индустрии 3.0 к Индустрии 4.0. Часть 2 // Контроль качества продукции. 2025. № 4. С. 62–64. EDN KHMJEJ.
15. Касторская Л.В., Розно М.И., Чуклина Е.В. Метод FMEA: предупреждения, которые нужно «услышать» // Методы менеджмента качества. 2025. № 7. С. 40–41. EDN PRHPNO.
16. Клочков Ю.С., Коваль Н.О. Развитие метода развертывания функций качества на этапе проектирования продукции // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. № 26 (4–3). Т. 120. С. 428–436. DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-428-436. EDN OJMXWB.
17. Козьминых М.Ю., Клочков Ю.С. Модель управления рисками развития опасных техногенных процессов в деятельности высокотехнологичных производств на основе результатов контрольной надзорной деятельности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. № 26. Т. 1 (117). С. 33–45. DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-1-33-45. EDN JGISSY.
18. Плотинский Ю.М. Проблемы развития общества знаний: социокогнитивный подход // Информационное общество. 2008. № 5–6. С. 43–50. EDN KVMXNF.
19. Холбоева У.Ш., Остапенко М.С. Система автоматизации построения «дома качества» при проведении QFD анализа : мат. Междунар. науч.-практ. конф. им. Д.И. Менделеева, посвящ. 15-летию Института промышленных технологий и инжиниринга. Тюмень : ТИУ, 2024. С. 282–284. EDN NEPDMV.
20. Остапенко М.С., Холбоева У.Ш., Тверяков А.М. Разработка онлайн-приложения для автоматизации построения «дома качества» при проведении QFD-анализа // Архитектура, строительство, транспорт. 2024. № 4 (110). С. 114–124. DOI: 10.31660/2782-232X-2024-4-114-123. EDN TAWVJQ.

REFERENCES

1. Frolova E., Gazizulina A., Eskina E., Ostarenko M., Aidarov D. Development of QFD Methodology. *Springer Proceedings in Business and Economics*. 2018; 121-128. DOI: 10.1007/978-981-10-5577-5_10. EDN FVRQOS.
2. Fazeli H.R., Peng Q. Integrated approaches of BWM-QFD and FUCOM-QFD for improving weighting solution of design matrix. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2023; 34(3):1003-1020. DOI: 10.1007/s10845-021-01832-w. EDN NBIMGE.
3. Tian Z.P., Nie R.X., Wang J.Q., Li L. Group multigranular linguistic QFD for prioritizing service designs with combined weighting method. *Expert Systems*. 2019; 36(4):e12419. DOI: 10.1111/exsy.12419. EDN ONXTFO.
4. Hartanti L.P.S., Mulyono Ju., Mayang V. Penerapan FMEA dan fuzzy FMEA dalam penilaian Risiko lean waste di industri manufaktur. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*. 2022; 11(2):293-304. DOI: 10.23887/jstundiksha.v11i2.50552. EDN BAXEXJ.
5. Ivančan J., Lisjac D. New FMEA Risks Ranking Approach Utilizing Four Fuzzy Logic Systems. *Machines*. 2021; 9(11):292. DOI: 10.3390/machines9110292. EDN WZTXBN.
6. Klochkov Yu., Samorukov D., Samorukov V. Quality management models and methods improvement for an expanding competitive range of leather and footwear products. *Proceedings on Engineering Sciences*. 2024; 6(2):629-636. DOI: 10.24874/pes06.02.019. EDN GNSWRI.
7. Liu Q., Chen X., Tang X. Spherical fuzzy bipartite graph based QFD methodology (SFBG-QFD): Assistive products design application. *Expert Systems with Applications*. 2024; 239:122279. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122279
8. García Aguirre P.A., Pérez-Domínguez L., Luviano-Cruz D. PFDA-FMEA, an Integrated Method Improving FMEA Assessment in Product Design. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021; 11(4):1406. DOI: 10.3390/app11041406. EDN BTJMSK.
9. Frizziero L., Donnici G., Galiè G., Pala G., Pilla M., Zamagna E. QFD and SDE Methods Applied to Autonomous Minibus Redesign and an Innovative Mobile Charging System (MBS). *Inventions*. 2023; 8(1):1. DOI: 10.3390/inventions8010001. EDN LSPSFG.
10. Sivasankaran P. Literature Review on Quality Concepts in Industrial Systems using QFD (Quality Function Deployment) — Survey and Extensions. *Productivity*. 2021; 61(4):463-469. DOI: 10.32381/prod.2021.61.04.9. EDN EPWLGW.
11. Zhou X., Chen Ch., Tian H., Wang L., Yang Zh., Yang H. Time-varying FMEA method based on interval-valued spherical fuzzy theory. *Quality and Reliability Engineering International*. 2021; 37(8):3713-3729. DOI: 10.1002/qre.2943. EDN RYAVZQ.
12. Wang W.A., Ma Y., Liu Sh. Z-number integrated weighted MULTIMOORA method for risk prioritization in FMEA. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2021; 41(2):2523-2537. DOI: 10.3233/jifs-200678. EDN ITUQBS.
13. Abdusalomov A.G.U. Applications of PME analysis in metallurgical plants. *Quality and life*. 2025; 1(45):54-60. EDN DLMREW. (rus).
14. Danielyan A.S., Khunuzidi E.I. QFD Metod: from Industry 3.0 to Industrii 4.0. Part 2. *Production quality control*. 2025; 4:62-64. EDN KHMJEJ. (rus).
15. Kastorskaya L.V., Rozno M.I., Chuklina E.V. FMEA Method: Warnings to Heed. *Methods of Quality Management*. 2025; 7:40-41. EDN PRHPNO. (rus).
16. Klochkov Yu.S., Koval N.O. Development of the quality function deployment method at the product design stage. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Science*. 2024; 26(4-3):(120):428-436. DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-428-436. EDN OJMXWB. (rus).
17. Kozminykh M.Yu., Klochkov Yu.S. Risk management model for the development of hazardous man-made processes in the activities of high-tech industries based on the results of control supervisory activities. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Science*. 2024; 26:1(117):33-45. DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-1-33-45. EDN JGISSY. (rus).
18. Plotinskiy Yu.M. Problems of Development of the Knowledge Society: A Sociocognitive Approach. *Information society*. 2008; 5-6:43-50. EDN KVMXNF. (rus).
19. Kholboeva U.Sh., Ostapenko M.S. Automation system for constructing a “house of quality” during QFD analysis : *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference named after D.I. Mendeleev, dedicated to the 15th anniversary of the Institute of Industrial Technology and Engineering*. Tyumen, TIU, 2024; 282-284. EDN NEPDMV.
20. Ostapenko M.S., Kholboeva U.Sh., Tveryakov A.M. Developing an online application for automating “house of quality” construction for QFD analysis. *Architecture, construction, transport*. 2024; 4(110):114-124. DOI: 10.31660/2782-232X-2024-4-114-123. EDN TAWVJQ. (rus).

Поступила 02.10.2025, после доработки 01.11.2025;

принята к публикации 01.12.2025

Received October 02, 2025; Received in revised form November 01, 2025;

Accepted December 01, 2025

Информация об авторах

КЛОЧКОВ Юрий Сергеевич, д.т.н., доцент, и.о. ректора, Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; ORCID: 0000-0002-7913-8285; ResearcherID: H-6364-2016; Scopus AuthorID: 57202887977; e-mail: y.kloch@mail.ru

ТВЕРЯКОВ Андрей Михайлович, к.т.н., доцент, директор нефтегазового института, Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; ORCID: 0000-0002-6444-2559; ResearcherID: N-9479-2016; Scopus AuthorID: 56251825200; e-mail: tveryakov@mail.ru

КОВАЛЬ Никита Олегович, генеральный директор ЗАО «Металлтехкомплект», соискатель, Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; ORCID: 0009-0009-5148-7924; e-mail: 79312662323@ya.ru

Вклад авторов: *все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Yury S. KLOCHKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector, Industrial University of Tyumen (TIU), Volodarsky St., 38, Tyumen, 625000, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7913-8285; ResearcherID: H-6364-2016; Scopus AuthorID: 57202887977; e-mail: y.kloch@mail.ru

Andrey M. TVERYAKOV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Director of Oil and Gas Institute, Industrial University of Tyumen (TIU), Volodarsky St., 38, Tyumen, 625000, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6444-2559; ResearcherID: N-9479-2016; Scopus AuthorID: 56251825200; e-mail: tveryakov@mail.ru

Nikita O. KOVAL, Director of Metalltekhkomplekt CJSC, degree applicant, Industrial University of Tyumen (TIU), Volodarsky St., 38, Tyumen, 625000, Russian Federation; ORCID: 0009-0009-5148-7924; e-mail: 79312662323@ya.ru

Contribution of the authors: *the authors contributed equally to this article.*

The authors declare no conflicts of interests.