

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 658
DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-2-148-157



МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА МАМДАНИ В СРЕДЕ MATLAB

Дыбулина Н.С.¹, Царева С.А.^{1,2}

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия

²Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). В настоящее время разработано и адаптировано множество методов и подходов к оценке результативности процессов системы менеджмента качества (СМК). В большинстве случаев организации прибегают к использованию классических методик оценки результативности СМК и ее процессов, основанных на определении критериев и степеней их достижения. Однако такие подходы не позволяют учитывать влияние возникающих неопределенностей и рисков на результативность процессов и функционирование СМК в целом. В связи с этим весьма актуальной становится парадигма нечеткого алгоритма Мамдани, позволяющего создать предпосылки оценки показателей результативности процессов СМК и управления критериальными параметрическими настройками этих процессов. **Цель работы и методы исследования.** В статье рассматривается разработка модели оценки результативности процессов СМК с учетом влияния остаточного риска по процессам на основе нечеткого алгоритма Мамдани. Реализация методов математического моделирования выполнена с использованием пакета Fuzzy Logic Designer в программной среде MATLAB. **Новизна.** Предложенная модель реализует новый подход к оценке процессов системы, обеспечивающий комплексный анализ результативности процессов СМК в условиях неопределенности. Схема нечеткой модели оценки результативности процессов включает в себя «2 входа – 1 выход, 25 правил» и позволяет учитывать количественные и качественные аспекты, определяющие результативность процессов СМК, такие как внешние и внутренние факторы, ранги рисков. **Результаты.** В ходе работы разработана нечеткая модель оценки результативности процессов СМК с учетом влияния остаточного риска процесса. **Практическая значимость.** Использование нечетких моделей, в рамках которых анализируются результаты функционирования процессов СМК, позволяет учитывать значительное влияние внутренних и внешних факторов, рисков, а также разрабатывать и вносить комплексные изменения, обеспечивающие непрерывное улучшение деятельности компании.

Ключевые слова: процессы СМК, показатели результативности, нечеткая логика, алгоритм Мамдани

© Дыбулина Н.С., Царева С.А., 2025

Для цитирования

Дыбулина Н.С., Царева С.А. Модель оценки результативности процессов системы менеджмента качества на основе применения алгоритма Мамдани в среде MATLAB // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №2. С. 148-157. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-2-148-157>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

MODEL FOR ASSESSING OF THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM PROCESSES PERFORMANCE BASED ON THE APPLICATION OF THE MAMDANI ALGORITHM IN MATLAB ENVIRONMENT

Dybulina N.S.¹, Tsareva S.A.^{1,2}

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

²Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). Currently, many methods and approaches to assessing the effectiveness of quality management system (QMS) processes have been developed and adapted. In most cases, organizations resort to using classical methods for assessing the effectiveness of the QMS and its processes, based on defining criteria and degrees of their achievement. However, such approaches do not allow taking into account the impact of emerging uncertainties and risks on the effectiveness of processes and the functioning of the QMS as a whole. In this regard, the paradigm of the Mamdani fuzzy algorithm becomes very relevant, allowing to create prerequisites for assessing the performance indicators of QMS processes and managing the criterial parametric settings of these processes. **Objective and Methods Applied.** The article considers the development of a model for assessing the effectiveness of QMS processes taking into account the influence of residual risk in processes based on the Mamdani fuzzy algorithm. The implementation of mathematical modeling methods is performed using the Fuzzy Logic Designer package of the MATLAB software package. **Originality.** The proposed model implements a new approach to assessing system processes, providing a comprehensive analysis of the effectiveness of activities under uncertainty. A fuzzy model for assessing the effectiveness of a process, including “2 inputs - 1 output, 25 rules”, allowing to take into account quantitative and qualitative aspects that determine the effectiveness of QMS processes, such as external and internal factors, risk ranks. **Results.** In the course of the work, a fuzzy model for assessing the effectiveness of QMS processes was developed taking into account the influence of the residual risk of the process. **Practical Relevance.** The use of fuzzy models, within which the results of the functioning of QMS processes are analyzed, allows to take into account the significant influence of internal and external factors, risks, as well as to develop and introduce complex changes that ensure continuous improvement of the company's activities.

Keywords: QMS processes, effectiveness indicators, fuzzy logic, Mamdani algorithm

For citation

Dybulina N.S., Tsareva S.A. Model for Assessing of the Quality Management System Processes Performance Based on the Application of the Mamdani Algorithm in Matlab Environment. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 2, pp. 148-157. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-2-148-157>

Введение

Быстро изменяющиеся условия рынка, социально-политические тенденции и состояние экономики являются неоспоримыми факторами, оказывающими значительное влияние на деятельность организаций любых форм и масштабов. Достижение целей и эффективности бизнеса в условиях быстро изменяющихся внешних факторов среды обеспечивается построением гибких систем менеджмента, основанных на управлении изменениями и риск-ориентированном подходе, а управление рисками на разных уровнях менеджмента позволяет вырабатывать и принимать верные управленческие решения в условиях недостаточности и неоднозначности информации.

Принятие лучших мировых практик управления, формализованных в требованиях стандарта ISO 9001:2015, давно перестало быть модной тенденцией российского рынка и стало необходимой основой, обеспечивающей результативное функционирование компа-

ний. Применение процессного подхода, риск-ориентированного мышления и цикла PDCA, являющихся базисом любой системы менеджмента качества (СМК), способствует построению системы управления компанией как взаимосвязанной системы процессов, определению прозрачных метрик и критериев результативности процессов, а также позволяет быстро реагировать на внешние и внутренние вызовы посредством выстроенного механизма управления рисками.

Оценка результативности процессов СМК лежит в основе исследований значительного количества научных трудов российских и зарубежных ученых [1-3, 6-10], большинством из которых описываются «классические» методы оценки, основанные на применении балльных оценок достижения установленных критериев процессов, целей в области качества или данных внутренних аудитов. Подобные методики нашли широкое применение в практике управления качеством в большинстве российских компаний за счет понятного математического аппарата и простоты их применения.

Непрерывное развитие методологии менеджмента качества и применение новых подходов к оценке СМК находят отражение в авторских исследованиях, например в [4], в котором отмечается, что оценка эффективности системы менеджмента качества производственного предприятия должна реализовываться на основе подтверждения условий производства и таких аспектов, которые включают эффективность валидации, управления документированной информацией, управления производством, обеспечения качества и контроль качества, введенного в эксплуатацию производства и инспекции, выпуска и отзыва продукции и самоконтроля. При этом структурированная модель оценки эффективности системы менеджмента качества производственного предприятия основана на нечетком множестве интервальных колебаний.

В [5] отмечается, что разработка комплексного подхода к оценке эффективности СМК и анализу динамики системы, основанного на математическом моделировании и методах нечеткой логики, становится приоритетной задачей и приобретает все большее практическое значение для предприятий.

Однако рассмотренные выше подходы не позволяют учитывать влияние возникающих неопределенностей и рисков на результативность процессов и СМК в целом. В связи с этим весьма актуальной становится задача разработки методов оценки СМК, позволяющих получить комплексные результаты оценки и способствующих проведению наиболее углубленного анализа результатов деятельности компаний.

Целью работы является разработка модели оценки результативности процессов СМК с учетом влияния остаточного риска по процессам на основе нечеткого алгоритма Мамдани.

Несмотря на многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых в области оценки результативности СМК, до сих пор не было предложено модели оценки результативности СМК, учитывающей

влияние остаточных рисков процессов на достижение целевых значений критериев, а также базирующейся на аппарате нечеткой логики, что определяет научную новизну работы.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования в настоящей работе было выбрано АО «МЕТАКЛЭЙ» – российский производитель инновационных полимерных композиций. Полимерные компаунды, производимые предприятием, применяются в трубной, кабельной, строительной отраслях промышленности. Продукция компании применяется для оболочки и изоляции кабельной жилы, материалов для антикоррозионной защиты металлических изделий и ремонта изоляции, огнезащитных материалов, добавок для производства строительных материалов и органофункциональных модификаторов для полимеров.

Продукция «МЕТАКЛЭЙ» аттестована в профильных отечественных институтах и имеет соответствующие подтверждающие документы. Система менеджмента качества компании сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001:2015 и СТО Газпром 9001-2018.

Дочерняя компания «МЕТАКЛЭЙ Исследования и Разработки» является резидентом инновационного центра «Сколково» и оборудована комплексом лабораторных машин и приборов, что обеспечивает комплексный подход к инжинирингу новых полимерных материалов, исследованиям свойств существующих образцов, выпуску опытных партий. Качество работ подтверждено аттестатом ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 [4].

Действующая в АО «МЕТАКЛЭЙ» методика оценки результативности процессов СМК также основывается на оценке достижения установленных значений критериев результативности процессов (табл. 1). Оценка результативности процесса делается на основе сравнения фактического и планового значений, 1 – процесс результативен, 0 – не результативен.

Таблица 1. Критерии результативности процессов СМК

Table 1. Criteria of the QMS processes effectiveness

| Шифр процесса | Наименование процесса | Критерии результативности | План | Факт 2023 год | Результативность |
|---------------|--|---|---------------|---------------|------------------|
| У1 | Анализ СМК со стороны руководства | Выполнение плана развития СМК на отчетный год | Не менее 0,8 | 1 | 1 |
| О1 | Планирование производственной деятельности | Механическая эффективность производственных линий | 60-90% | 45-96% | 1 |
| О2 | Закупка сырья и материалов | ОПГ | Не менее 90 | 62 | 0 |
| О3 | Производство композитов | Количество претензий заказчика к готовой продукции (на 60 тыс. т) | Не более 1 | 0 | 1 |
| О4 | Складирование и хранение | Количество случаев нарушения условий хранения на складе | 0 | 0 | 1 |
| О61 | Управление персоналом | Текущая текучесть кадров | Не более 30% | 13,90% | 1 |
| О62 | Управление инфраструктурой | Механическая эффективность газопоршневых установок | Не менее 0,38 | 0,41 | 1 |
| О65 | Мониторинг и измерение сырья, материалов и готовой продукции | Количество претензий к сырью и материалам со стороны производства | 0 | 3 | 0 |
| В1 | Маркетинговые исследования и продажи | Удовлетворенность потребителей | Не менее 83% | 92,40% | 1 |

Исходя из представленных данных по оценке результативности процессов АО «МЕТАКЛЭЙ», два из девяти процессов СМК компании по итогам 2023 года признаны нерезультативными.

Управление рисками в Обществе осуществляется на основе единых подходов и требований к системе управления рисками и внутреннего контроля ПАО «Газпром». Действующая в Обществе методика подразумевает проведение многофакторной оценки последствий реализации риска и вероятности наступления рисков событий на основе метода экспертных суждений с применением балльных шкал. Ранжирование рисков для выбора оптимальной стратегии реагирования и разработки соответствующих мероприятий осуществляется с применением Матрицы рисков (рис. 1). Ранг рассчитывается сложением баллов по показателям вероятности и ущерба.

| | | | | | | |
|-------------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Вероятность | Очень высокая | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Высокая | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Средняя | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | Низкая | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | Очень низкая | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | Несущественные/ Пренебрежимый | Малосущественные/ Низкий | Существенные/ Средний | Значительные/ Высокий | Критически/ Очень высокий |
| Последствия/Ущерб | | | | | | |

Рис. 1. Матрица рисков АО «МЕТАКЛЭЙ»

Fig. 1. Risk matrix of METACLAY JSC

Также определен перечень рисков, влияющих на недостижение критериев результативности процес-

сов, и остаточное значение риска по итогам 2023 года (табл. 2).

Необходимо отметить, что в практике СМК повсеместно наблюдается ситуация, когда управление рисками процессов и непосредственное функционирование процессов, достижение их результативности осуществляются разрозненно. Однако происходящие структурные изменения в экономической среде РФ, необходимость быстро реагировать на смену траекторий развития рынков, рост энтропии и другие значимые внешние факторы являются основанием для изменения подхода к оценке результативности деятельности компаний и переходу к многокритериальным моделям, учитывающим влияние рисков и неопределенностей, что может быть реализовано посредством разработки и применения моделей, основанных на механизмах нечеткой логики.

В обобщенном виде построение системы, основанной на принципах нечеткой логики, включает в себя следующие элементы:

1. Задание лингвистической переменной, в которой переменная принимает значения слов или фраз. Также определяется как кортеж: $\langle x, T, U \rangle$, x — наименование или название лингвистической переменной; T — базовое терм-множество лингвистической переменной или множество ее значений (термов), каждое из которых представляет собой наименование отдельной нечеткой переменной α ; U — область определения (универсум) нечетких переменных, которые входят в определение лингвистической переменной [5].

2. Выбор функции принадлежности, обозначаемой через $\mu(x)$ и выражающей степень принадлежности переменной к нечеткому множеству. Наиболее часто на практике применяются функции принадлежности, которые допускают аналитическое представление в виде простой математической функции, такие как треугольная, трапециевидная и Гауссова функции принадлежности.

Таблица 2. Остаточное значение рисков недостижения критерия результативности

Table 2. Residual value of the risks of not achieving the performance criterion

| № п/п | Критерий результативности | Риск | Вероятность | Ущерб | Ранг |
|-------|---|--|-------------|-------|------|
| 1 | Выполнение плана развития СМК на отчетный год | Мероприятия не выполнены частично или полностью | 2 | 3 | 5 |
| 2 | Механическая эффективность производственных линий | Нормативное значение не достигнуто | 2 | 5 | 7 |
| 3 | ОТIF | Нормативное значение не достигнуто | 5 | 4 | 9 |
| 4 | Количество претензий заказчика к готовой продукции (на 60 тыс. т) | Получено более одной претензии от потребителя | 4 | 4 | 8 |
| 5 | Количество случаев нарушения условий хранения на складе | Зафиксировано одно и более нарушений условий хранения на складе | 3 | 2 | 6 |
| 6 | Текущее количество кадров | Нормативное значение превышено | 4 | 2 | 6 |
| 7 | Механическая эффективность газопоршневых установок | Нормативное значение не достигнуто | 4 | 3 | 7 |
| 8 | Количество претензий к СИМ со стороны производства | Зафиксировано одна и более претензий к СИМ со стороны производства | 5 | 4 | 9 |
| 9 | Удовлетворенность потребителей | Нормативное значение не достигнуто | 2 | 3 | 5 |

3. Определение системы нечеткого вывода, предназначенной для преобразования значений входных переменных процесса управления в выходные переменные на основе использования нечетких правил продукции. Процесс вывода включает в себе ряд последовательных этапов (рис. 2).

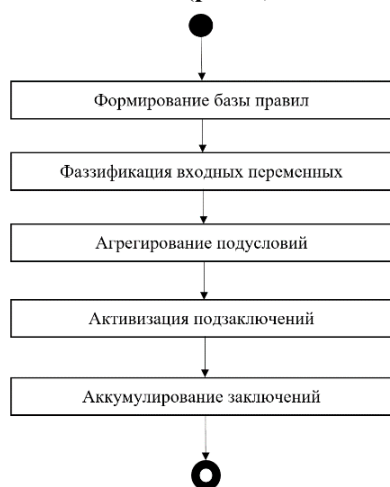


Рис. 2. Последовательность этапов нечеткого вывода
Fig. 2. Sequence of fuzzy inference stages

Этапы нечеткого вывода могут быть реализованы различными способами, поскольку включают в себя наборы специфических отдельных параметров. Тем самым набор конкретных вариантов параметров каждого из этапов определяет алгоритм, в полном объеме реализующий нечеткий вывод в нечетких системах.

В работе продемонстрировано использование алгоритма нечеткого вывода Мамдани, для которого в общем случае база правил содержит правила вида

$$P_k : \text{если } < y_1 = A_{1k} > \text{ and } < y_2 = A_{2k} > \text{ and } \dots < y_{nk} = A_{nk} >, \\ \text{то } < z = B_k >. \quad (1)$$

Для упрощения изложения рассмотрим базу правил вида

P1: если $x = A_1$ и $y = B_1$, то $z = C_1$; P2: если $x = A_2$ и $y = B_2$, то $z = C_2$.

По алгоритму Мамдани для текущих значений входных переменных x_1 и y_1 выполняется фаззификация, в результате которой определяется истинность отдельных условий в условной части правила. Затем производится их агрегирование и вычисляется результирующая истинность условной части правила. Поскольку в рассматриваемых правилах используется логическая связка «И», то для агрегирования используется операция \min .

$$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{B_1}(y_1)), \alpha_2 = \min(\mu_{A_2}(x_1), \mu_{B_2}(y_1)). \quad (2)$$

Нечеткий вывод по каждому правилу, согласно алгоритму Мамдани, рассчитывается как

$$\mu_{r_1}(z) = \min(\alpha_1, \mu_{c_1}(z)), \mu_{r_2}(z) = \min(\alpha_2, \mu_{c_2}(z)). \quad (3)$$

Композиционный вывод формируется как объединение отдельных выводов: $\mu = \max[\mu_{r_1}(z), \mu_{r_2}(z)]$ [6].

В соответствии с описанным выше механизмом построения нечеткой системы имеющиеся данные о результативности процессов системы менеджмента АО «МЕТАКЛЭЙ» были преобразованы. Оценка дополнительно проведена на основе соотношения фактического и планового значений и присвоения соответствующего балла на основе шкалы:

- менее 0,25 – 2 балла – «Очень низкая»;
- 0,25–0,5 – 4 балла – «Низкая»;
- 0,51–0,76 – 6 баллов – «Средняя»;
- 0,76–0,9 – 8 баллов – «Высокая»;
- 0,91–1 – 10 баллов – «Очень высокая».

В ходе переоценки результативности процессов получены данные (табл. 3).

Таблица 3. Переоценка результативности процессов
Table 3. Reassessment of process effectiveness

| Шифр процесса | Наименование процесса | Критерии результативности | Результативность, балл | Качественная характеристика |
|---------------|--|---|------------------------|-----------------------------|
| У1 | Анализ СМК со стороны руководства | Выполнение плана развития СМК на отчетный год | 10 | Очень высокая |
| О1 | Планирование производственной деятельности | Механическая эффективность производственных линий | 10 | Очень высокая |
| О2 | Закупка сырья и материалов | ОТIF | 6 | Средняя |
| О3 | Производство композитов | Количество претензий заказчика к готовой продукции (на 60 тыс. т) | 10 | Очень высокая |
| О4 | Складирование и хранение | Количество случаев нарушения условий хранения на складе | 10 | Очень высокая |
| Об1 | Управление персоналом | Текучесть кадров | 10 | Очень высокая |
| Об2 | Управление инфраструктурой | Механическая эффективность газопоршневых установок | 10 | Очень высокая |
| Об5 | Мониторинг и измерение сырья, материалов и готовой продукции | Количество претензий к сырью и материалам со стороны производства | 4 | Низкая |
| В1 | Маркетинговые исследования и продажи | Удовлетворенность потребителей | 10 | Очень высокая |

Полученные результаты и их обсуждение

Для разработки нечеткой модели оценки результативности процессов СМК АО «МЕТАКЛЭЙ» с учетом влияния остаточного риска в работе был использован пакет прикладных программ MATLAB с пакетом расширения Fuzzy Logic Designer.

Лингвистическими характеристиками входной переменной «Результативность процесса» определены «Очень низкая», «Низкая», «Средняя», «Высокая» и «Очень высокая». Для входной переменной «Ранг риска»: «Пренебрежимый», «Малосущественный», «Существенный», «Значимый» и «Критический».

Терм-множество выходной лингвистической переменной «Результативность процесса с учетом риска» включает характеристики: «Очень низкая», «Низкая», «Средняя», «Высокая» и «Очень высокая».

Интервалы пересечения термов определены группой экспертов. Для выходной лингвистической переменной «Результативность процесса с учетом риска» интервалы пересечения термов приняты равными интервалам пересечения термов переменной «Результативность процесса». Оценка интервалов

пересечения термов лингвистической переменной «Ранг риска» проведена аналогичным образом.

На основе полученных экспертных данных сформированы терм-множества входных и выходной лингвистических переменных. В качестве функции принадлежности выбрана треугольная, представлены входные и выходное терм-множества нечеткой системы «Модель оценки результативности процесса» в среде Fuzzy Logic Designer (рис. 4-6).

В рамках разрабатываемой нечеткой системы в качестве алгоритма нечеткого вывода был выбран алгоритм Мамдани, сформирован обобщенный вид модели и параметры нечеткого вывода (рис. 7).

Следующим этапом построения системы являлось формирование базы правил. Модель содержит 25 правил вида «Если-то», также используется логический оператор «И», так как в качестве входных данных определены два параметра (рис. 8).

На выходе пакет расширения Fuzzy Logic Designer формирует интерактивное окно (рис. 9) с возможностью изменения значений входных переменных и просмотра четкого значения выходной переменной «Результативность процесса с учетом риска», в том числе по каждому из заданных правил.

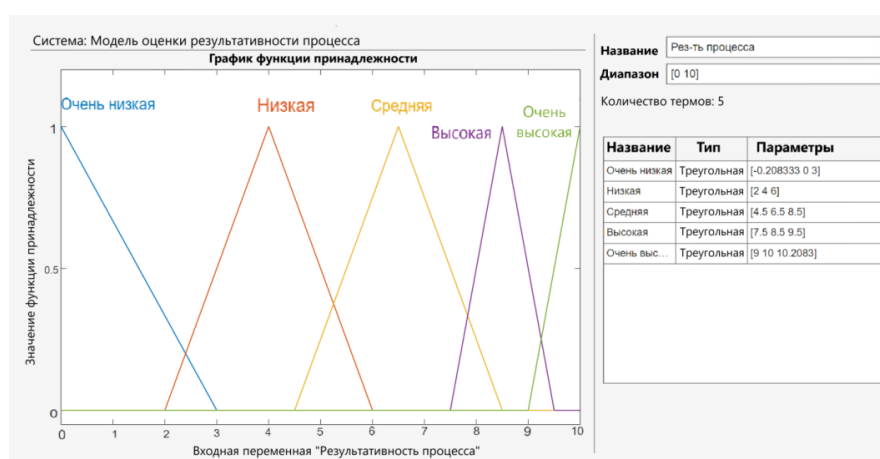


Рис. 4. Терм-множество входной переменной «Результативность процесса»

Fig. 4. Term-set of the input variable "Process efficiency"

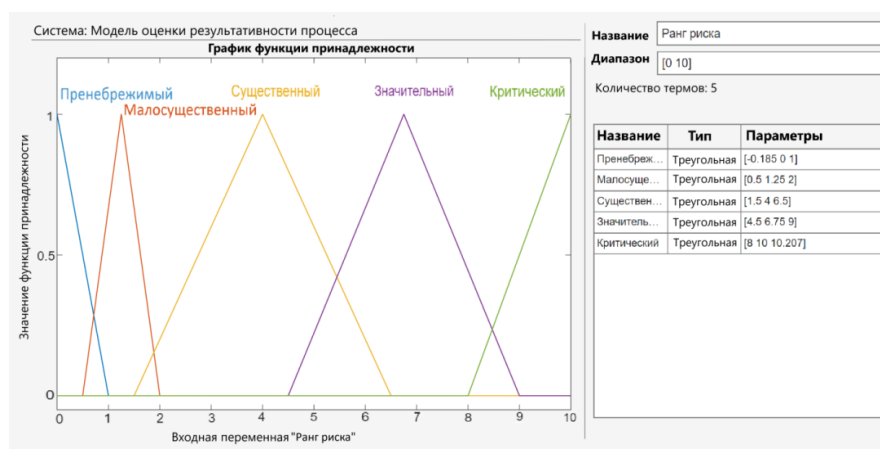


Рис. 5. Терм-множество входной переменной «Ранг риска»

Fig. 5. Term-set of the input variable "Risk Rank"

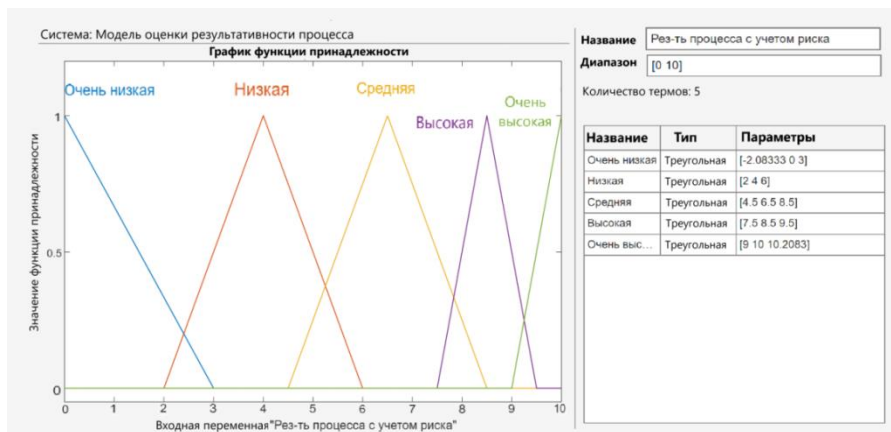


Рис. 6. Терм-множество выходной переменной «Результативность процесса с учетом риска»
Fig. 6. Term-set of the output variable “Process performance taking into account risk”

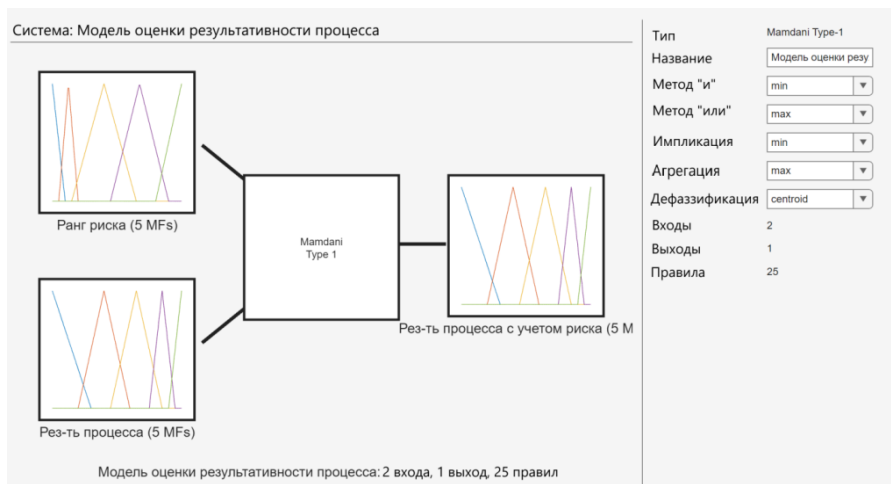


Рис. 7. Общий вид системы «Модель оценки результативности процесса»
Fig. 7. General view of the “Process Performance Assessment Model” system

| Система: Модель оценки результативности процесса | | | |
|--|---|-----|----------|
| | Правило | Вес | Название |
| 1 | If Ранг риска is Пренебрежимый and Рез-ть процесса is Очень низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Очень низкая | 1 | rule1 |
| 2 | If Ранг риска is Малосущественный and Рез-ть процесса is Очень низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Очень низкая | 1 | rule2 |
| 3 | If Ранг риска is Существенный and Рез-ть процесса is Очень низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Очень низкая | 1 | rule3 |
| 4 | If Ранг риска is Значительный and Рез-ть процесса is Очень низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Очень низкая | 1 | rule4 |
| 5 | If Ранг риска is Критический and Рез-ть процесса is Очень низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Очень низкая | 1 | rule5 |
| 6 | If Ранг риска is Пренебрежимый and Рез-ть процесса is Низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Низкая | 1 | rule6 |
| 7 | If Ранг риска is Малосущественный and Рез-ть процесса is Низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Низкая | 1 | rule7 |
| 8 | If Ранг риска is Существенный and Рез-ть процесса is Низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Низкая | 1 | rule8 |
| 9 | If Ранг риска is Значительный and Рез-ть процесса is Низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Очень низкая | 1 | rule9 |
| 10 | If Ранг риска is Критический and Рез-ть процесса is Низкая then Рез-ть процесса с учетом риска is Очень низкая | 1 | rule10 |

Рис. 8. Элемент базы правил системы
Fig. 8. System rule base’s element

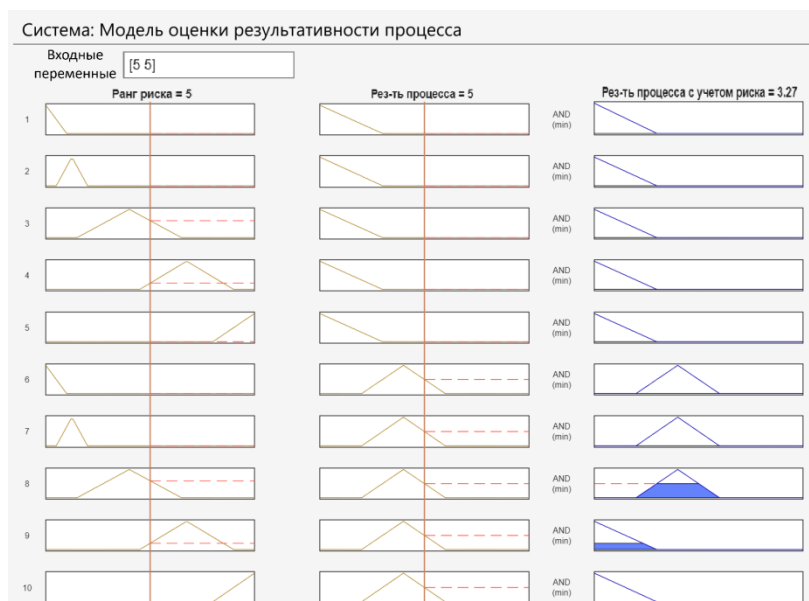


Рис. 9. Вывод оценки результативности процесса с учетом риска

Fig. 9. Conclusion of process performance assessment taking into account risk

Кроме того, в Fuzzy Logic Designer реализована возможность отображения трехмерной поверхности оценки результативности процессов, наглядно демонстрирующей зависимость выходного значения результативности процессов с учетом риска от значений входных параметров (рис. 10).

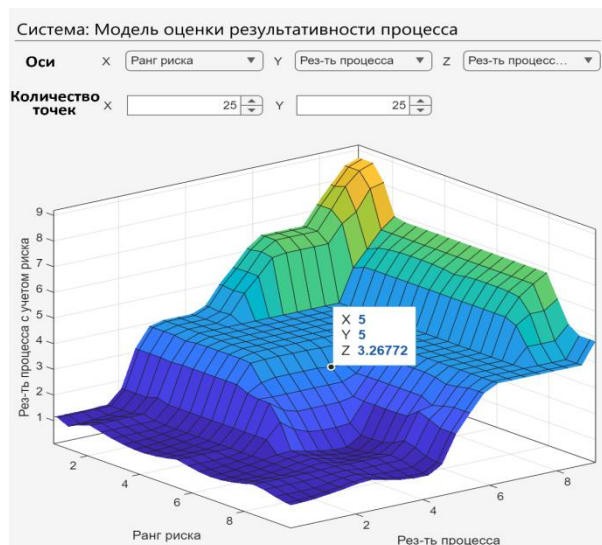


Рис. 10. Поверхность оценки результативности процессов

Fig. 10. Process Performance Assessment Surface

Представленная поверхность оценки результативности процессов содержит в себе значения выходной переменной Z «Результативность процесса с учетом риска» для всех возможных комбинаций двух входных переменных: результативности процесса и величины остаточного риска. Применение данной поверхности распределения на практике целесообразно для понимания зависимостей изменения вели-

чины остаточного риска или результативности процесса (достижения установленных критериев) и его влияния на итоговую оценку результативности процесса. На отмеченной трехмерной поверхности оценки результативности процессов, построенной на использовании различных правил вывода, наблюдается, что более низкий уровень риска занимает большую площадь. Кроме того, переход областей риска не происходит плавно, так как уровень ранга риска приводит к возможности большой разницы между результатами оценки близких точек координат.

Полученные графические данные наглядно демонстрируют причины и предпосылки для разработки корректирующих мероприятий, способствующих достижению намеченных результатов процессов в будущем периоде.

С использованием разработанной нечеткой модели на основе данных о результативности процессов АО «МЕТАКЛЭЙ» и рангов остаточных рисков были получены следующие показатели результативности процессов с учетом влияния остаточных рисков недостижения плановых критериев (выходные четкие значения функции принадлежности μ) (табл. 4).

Полученные в результате применения модели данные о результативности процессов свидетельствуют о неудовлетворительном состоянии процессов О2 «Закупка сырья и материалов» и О65 «Мониторинг и измерение сырья, материалов и готовой продукции». Количество претензий к сырью и материалам со стороны производства на отчетный период составило 3 претензии, достижение показателя OTIF составило 62 % (вместо запланированных 90%), риски недостижения целевых значений критериев результативности отнесены к категории «критических», что при комплексной оценке на основе предложенной модели способствовало снижению итоговой оценки результативности процессов.

Таблица 4. Оценка результативности процессов СМК на основе модели
 Table 4. Assessing the effectiveness of QMS processes based on the model

| Шифр процесса | Наименование процесса | Критерии результативности | Результативность с учетом риска, μ | Качественная характеристика |
|---------------|--|---|--|-----------------------------|
| У1 | Анализ СМК со стороны руководства | Выполнение плана развития СМК на отчетный год | 8,5 | Высокая |
| О1 | Планирование производственной деятельности | Механическая эффективность производственных линий | 8,5 | Высокая |
| О2 | Закупка сырья и материалов | ОТИФ | 4 | Низкая |
| О3 | Производство композитов | Количество претензий заказчика к готовой продукции (на 60 тыс. т) | 8,5 | Высокая |
| О4 | Складирование и хранение | Количество случаев нарушения условий хранения на складе | 8,5 | Высокая |
| Об1 | Управление персоналом | Текущее кадров | 8,5 | Высокая |
| Об2 | Управление инфраструктурой | Механическая эффективность газопоршневых установок | 8,5 | Высокая |
| Об5 | Мониторинг и измерение сырья, материалов и готовой продукции | Количество претензий к сырью и материалам со стороны производства | 1,14 | Очень низкая |
| В1 | Маркетинговые исследования и продажи | Удовлетворенность потребителей | 8,5 | Высокая |

Полученные данные могут быть использованы в качестве основы для углубленного анализа ситуации со стороны компании с последующей разработкой корректирующих мер, направленных на соблюдение сроков поставки сырья и материалов со стороны поставщиков, повышения качества закупаемых материалов, подбора альтернативных поставщиков и повышения адекватности оценки действующих.

Заключение

В ходе работы были проанализированы некоторые из существующих подходов к оценке результативности СМК, а также подробно описана действующая методика оценки результативности процессов и оценки рисков АО «МЕТАКЛЭЙ» (с учетом корпоративных требований ПАО «Газпром»), рассмотрен математический аппарат построения систем на основе нечеткой логики. В рамках проведенного исследования разработана модель оценки результативности процессов СМК, учитывающая влияние остаточного риска по процессам, базирующаяся на алгоритме нечеткого вывода Мамдани.

Результаты оценки, полученные с применением разработанной системы, наглядно демонстрируют степень влияния рисков недостижения установленных критериев результативности на итоговые показатели процессов.

Резюмируя, следует отметить, что применение методики расчета результативности процессов системы менеджмента качества на основе алгоритма Мамдани позволяет:

1) представить принципиальную схему нечеткой модели оценки результативности процесса, включающую в себя «2 входа – 1 выход, 25 правил», позволяющую учитывать количественные и качественные аспекты, влияющие на результативность процессов СМК, такие как внешние и внутренние факторы, риски;

2) статистически анализировать систему показателей, характеризующих результативность и устойчивость СМК, и вносить в нее соответствующие изменения на основе полученных результатов;

3) отразить трехмерную поверхность оценки результативности процессов СМК в прикладном пакете Fuzzy Logic Designer. Полученная трехмерная поверхность оценки результативности процессов наглядно отображает взаимосвязь между рангом риска, результативностью процессов и результативностью процессов с учетом влияния остаточных рисков недостижения плановых критериев;

4) комплексно оценить результативность каждого процесса СМК, степень влияния рисков на недостижение целевых значений критериев результативности, а также их влияние на оценку результативности системы в целом.

Список источников

- Искандерова Р.Р. Методика оценки результативности СМК предприятия // Молодой ученый. 2015. № 5 (85). С. 278-280. URL: <https://moluch.ru/archive/85/15905/> (дата обращения: 11.03.2024).
- Редько Л.А., Сальков С.Е., Червова Л.В. Оценка результативности системы менеджмента качества // Вестник науки Сибири. 2013. № 3 (9). С. 65-69.
- Меркушова Н.И. Анализ подходов к оценке результативности систем менеджмента качества в организациях // Проблемы современной экономики: материалы I Междунар. науч. конф. (г. Челябинск, декабрь 2011 г.). Челябинск: Два комсомольца, 2011. С. 127-129. URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/12/1449/> (дата обращения: 12.03.2024).
- Yao Y.C. Research on effectiveness evaluation method and application of quality management system of manufacturing enterprise based on interval-valued hesitation fuzzy set // In Vibroengineering Procedia. 2017, vol. 14, pp. 294-299. EXTRICA. <https://doi.org/10.21595/vp.2017.18937>

5. Kang Z., Zhao Y., Kim D. Investigation of enterprise economic management model based on fuzzy logic algorithm // *Heliyon*. 2023, vol. 9(8), e19016.
6. О компании АО «МЕТАКЛЭЙ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.metaclay.ru/o-kompanii/o-kompanii> (дата обращения: 12.03.2024).
7. A Novel Risk Matrix Approach Based on Cloud Model for Risk Assessment under Uncertainty / Jianxing Y., Haicheng C., Shibo W., Haizhao F. // *IEEE Access*. 2021, 9, 27884–27896. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3058392>
8. A risk matrix analysis method based on potential risk influence: A case study on cryogenic liquid hydrogen filling system / Y. Duan, J. Zhao, J. Chen, and G. Bai // *Process Saf. Environ. Protection*. 2016, vol. 102, pp. 277–287. DOI: 10.1016/j.psep.2016.03.022.
9. An Evaluation Model of Smart Manufacturing System Configurations Prior to Implementation Using Fuzzy Logic / Grace J., Mahmoud M.A., Mahdi M.N., Mostafa S.A. // *Appl. Sci.* 2022, 12, 2560. <https://doi.org/10.3390/app12052560>
10. Modeling and simulation of pedestrian dynamical behavior based on a fuzzy logic approach / Zhou M., Dong H., Wang F.-Y., Wang Q., Yang X. // *Inf. Sci.* 2016, 360, 112–130. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.04.018>.
3. Merkusheva N.I. Analysis of approaches to assessing the effectiveness of quality management systems in organizations. *Problemy sovremennoy ekonomiki: materialy I Mezhdunar. nauch. konf.* [Problems of modern economics: Proceedings of the I International scientific conference]. Chelyabinsk: Dva komsomoltsa, 2011, pp. 127–129. Available at: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/12/1449/> (Accessed December 3, 2024).
4. Yao Y.C. Research on effectiveness evaluation method and application of quality management system of manufacturing enterprise based on interval-valued hesitation fuzzy set. In *Vibroengineering Procedia*. 2017;14:294–299. EXTRICA. <https://doi.org/10.21595/vp.2017.18937>
5. Kang Z., Zhao Y., Kim D. Investigation of enterprise economic management model based on fuzzy logic algorithm. *Heliyon*. 2023;9(8):e19016.
6. About the company JSC METACLAY. Available at: <https://www.metaclay.ru/o-kompanii/o-kompanii> (Accessed December 3, 2024).
7. Jianxing Y., Haicheng C., Shibo W., Haizhao F. A Novel Risk Matrix Approach Based on Cloud Model for Risk Assessment under Uncertainty. *IEEE Access*. 2021;9:27884–27896. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3058392>
8. Duan Y., Zhao J., Chen J., Bai G. 'A risk matrix analysis method based on potential risk influence: A case study on cryogenic liquid hydrogen filling system. *Process Saf. Environ. Protection*. 2016;102:277–287. DOI: 10.1016/j.psep.2016.03.022.
9. Grace J., Mahmoud M.A., Mahdi M.N., Mostafa S.A. An Evaluation Model of Smart Manufacturing System Configurations Prior to Implementation Using Fuzzy Logic. *Appl. Sci.* 2022;12:2560. <https://doi.org/10.3390/app12052560>
10. Zhou M., Dong H., Wang F.-Y., Wang Q., Yang X. Modeling and simulation of pedestrian dynamical behavior based on a fuzzy logic approach. *Inf. Sci.* 2016;360:112–130. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.04.018>.

References

Поступила 12.09.2024; принята к публикации 18.10.2024; опубликована 30.06.2025
Submitted 12/09/2024; revised 18/10/2024; published 30/06/2025

Дыбулина Наталия Сергеевна – аспирант,
Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия.
Email: dybulinans@gmail.com. ORCID 0009-0006-4139-639X

Царева Софья Александровна – кандидат химических наук, доцент,
Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия;
Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Россия.
Email: zarew@rambler.ru. ORCID 0000-0003-2099-4885

Nataliya S. Dybulina – Postgraduate Student,
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia.
Email: dybulinans@gmail.com. ORCID 0009-0006-4139-639X

Sophia A. Tsareva – PhD (Eng.), Associate Professor,
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia;
Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia
Email: zarew@rambler.ru. ORCID 0000-0003-2099-4885