



УДК 519.876.2:519.7

DOI 10.17073/0368-0797-2026-3-286-293



Оригинальная статья

Original article

ПРЕДПОСЫЛКИ АДАПТАЦИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ БИНАРНОГО АЛГОРИТМА ТАКАГИ–СУГЕНО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

С. А. Царева , В. В. Новожилов, Ю. В. Царев

Ярославский государственный технический университет (Россия, 150023, Ярославль, Московский пр., 88)

zarew@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос оценки эффективности корпоративной системы менеджмента качества (КСМК) металлургической компании. Особую сложность представляет оценка эффективности КСМК в крупных вертикально интегрированных холдингах, где классические подходы, основанные на достижении установленных критериев, часто не учитывают отраслевую специфику, многоуровневую структуру и влияние неопределенностей. Объектом исследования выступает вертикально интегрированная КСМК крупного металлургического холдинга, объединяющая более 10 производственных площадок. Авторы отмечают, что традиционные методы оценки, используемые в компании, не позволяют в полной мере учесть остаточные риски недостижения целевых значений критериев эффективности. В качестве решения предлагается модифицированная методика на основе алгоритма Такаги–Сугено, которая интегрирует в расчет не только фактические показатели эффективности процессов и их весовые коэффициенты, но и оценку остаточного риска для каждого критерия. Проведено сравнение существующей методики оценки эффективности КСМК металлургической компании с предлагаемой методологией, в которой реализован алгоритм бинарных нечетких множеств Такаги–Сугено. Расчеты для каждого метода реализованы в модели, основанной на информационной системе AnyLogic. Расчеты с использованием разработанной модели позволили объективно оценить эффективность процессов. Оценка эффективности КСМК на основе каждого метода подтвердила, что система эффективна. Значение эффективности КСМК компании по существующей методологии составило 0,81, по предлагаемой – 0,92. Использование показателя остаточного риска невыполнения процесса позволяет более точно оценить эффективность КСМК. Разработанная модель выявила процессы, чья эффективность была завышена или занижена при стандартном подходе, что свидетельствует о влиянии рискованных факторов.

Ключевые слова: фазификация, нечеткие множества, алгоритм Такаги–Сугено, управление качеством, AnyLogic моделирование

Для цитирования: Царева С.А., Новожилов В.В., Царев Ю.В. Предпосылки адаптации имитационного моделирования на основе бинарного алгоритма Такаги–Сугено для повышения эффективности корпоративной системы менеджмента качества. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2026;69(3):286–293. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-3-286-293>

PRECONDITIONS OF ADAPTING SIMULATION MODELING BASED ON THE TAKAGI-SUGENO BINARY ALGORITHM TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF CORPORATE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

S. A. Tsareva , V. V. Novozhilov, Yu. V. Tsarev

Yaroslavl State Technical University (88 Moskovskii Ave., Yaroslavl 150023, Russian Federation)

zarew@rambler.ru

Abstract. The article discusses the issue of assessing the effectiveness of corporate quality management system of a metallurgical company. Of particular difficulty is the assessment of the effectiveness of corporate quality management systems (QMS) in large vertically integrated holdings, where classical approaches based on the achievement of established criteria often do not take into account industry specifics, multi-level structure and the impact of uncertainties. The object of the research is the vertically integrated corporate QMS of a large metallurgical holding company, which unites more than 10 production sites. The authors note that the traditional assessment methods used in the company do not fully take

into account the residual risks of failure to achieve the target values of the performance criteria. As a solution, a modified methodology based on the Takagi–Sugeno algorithm is proposed, which integrates into the calculation not only the actual performance indicators of the processes and their weights, but also assessment of the residual risk for each criterion. The existing methodology for assessing the effectiveness of corporate QMS of a metallurgical company is compared with the proposed methodology, which implements the Takagi–Sugeno binary fuzzy set algorithm. Calculations for each method are implemented in a model based on the AnyLogic information system. Calculations using the developed model made it possible to assess the effectiveness of processes using both methods and to compare their applicability for performance assessments. Evaluating the effectiveness of corporate QMS for each method confirmed that the system is effective. Value of the effectiveness of the company's QMS according to the existing methodology was 0.81, and according to the proposed one – 0.92. The use of the residual risk of process failure allows for a more accurate assessment of the effectiveness of corporate QMS. The developed model identified processes whose efficiency was overestimated or underestimated under the standard approach, which indicates the influence of risk factors.

Keywords: phasification, fuzzy sets, Takagi–Sugeno algorithm, quality management, AnyLogic modeling

For citation: Tsareva S.A., Novozhilov V.V., Tsarev Yu.V. Preconditions of adapting simulation modeling based on the Takagi–Sugeno binary algorithm to improve the effectiveness of corporate quality management system. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2026;69(3):286–293. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-3-286-293>

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное функционирование и достижение целей организацией любого размера и формы обеспечивается способностью управлять изменениями и возникающими в результате рисками и неопределенностями, которые вносят коррективы в существующие бизнес-процессы. Подходы к управлению в условиях быстро меняющихся факторов окружающей среды должны обеспечивать гибкость системы управления и направлены на принятие правильных управленческих решений в условиях ограниченной и неоднозначной информации. Использование процессного подхода как системы взаимосвязанных процессов позволяет организации управлять отношениями и взаимозависимостями между системными процессами таким образом, чтобы можно было улучшить общие результаты деятельности организации [1].

Многие исследования посвящены формированию методологических подходов к вопросу оценки эффективности систем менеджмента качества [2–4], которые в большинстве случаев предполагают оценку эффективности системы через достижение установленных критериев процесса, целей в области качества и результатов внутренних аудитов. Однако использование «классических» подходов в рамках оценки эффективности вертикально интегрированной корпоративной системы менеджмента качества (КСМК) металлургического холдинга не позволяет учесть специфику показателей, в том числе отраслевых особенностей, многоуровневое формирование значений критериев и влияние изменений.

В этих условиях большое практическое значение для предприятий приобретает задача разработки комплексного подхода к оценке эффективности системы менеджмента качества (СМК) с использованием математического моделирования для анализа достижения критериев результативности и анализа состояния системы в динамике на основе методов нечеткой логики [5–9]. Кроме того, в работе [10] представлен подход к интеграции методов бережливого производства и целей производственного про-

цесса с использованием нечеткой логики. Модель с нечеткой логикой включает в себя двенадцать общих методов бережливого производства, три контрольные переменные (время настройки, частота ошибок и техническая готовность) и пять целей производственного процесса, которые реализуются через целевые переменные «каждая деталь, каждый интервал», общую эффективность оборудования, время выполнения заказа, уровень качества и службу доставки. Показана базовая структура нечеткой логики и моделирования производственного процесса. В статье [11] рассматривается работа отдела по работе с персоналом компании по реализации систематического процесса оценки и отбора наиболее квалифицированных кандидатов из числа претендентов на определенную должность в организации на основе нечетких множеств. Оценка эффективности системы управления предприятием может быть реализована в среде моделирования AnyLogic [12–15].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является металлургическое предприятие, являющееся производителем и поставщиком стальных труб, трубных решений и вспомогательных услуг на территории Российской Федерации. Компания производит готовые трубы, в том числе специальные трубы и трубопроводные системы, а также другую продукцию для энергетической, химической, машиностроительной, строительной и других отраслей. На сегодняшний день КСМК компании, отвечающая требованиям стандартов ISO 9001:2015, ГОСТ Р ИСО 9001–2015, СТО Газпром 9001–2018 и API Spec Q1, объединяет более десяти производственных площадок, а также два научно-исследовательских центра в России.

Вертикально интегрированная процессная модель компании КСМК (табл. 1) построена по дивизиональному принципу. Сквозные процессы на корпоративном уровне включают в себя единые требования к подразделениям и предприятиям через единые цели в области качества, процессы и их критерии.

Процессная модель компании включает в себя три уровня.

- Головная компания реализует функции управления корпоративными процессами и централизованно контролирует их реализацию. Целью корпоративных процессов является стратегическое планирование и определение ключевых показателей, дивизиональное управление в рамках СМК.

- Дивизиональный уровень управления в СМК осуществляет планирование и управление дивизиональными процессами, развертывание целевых показателей, выполнение корпоративных требований с учетом региональной специфики размещения производственных площадок и отраслевых особенностей.

- Производственный уровень осуществляет оперативное управление локальными процессами предприятия с учетом потребностей подразделений, внедрение и достижение целевых показателей по процессам предприятия.

Оценка эффективности процессов СМК осуществляется на основе установленных на корпоративном уровне технологических критериев. Для каждого процесса определяется количество критериев и их целевые значения.

Каждому критерию присваивается весовой коэффициент для каждого отдельного процесса $\sum K_i = 1$. Эффективность критерия рассчитывается по отношению фактического значения показателя к плановому значению, максимально возможному значению $R_k = 1$. В общем случае расчет эффективности каждого процесса (табл. 2) проводится по формуле

$$R_p = \sum_{i=1}^n Rk_i K_i, \tag{1}$$

где R_p – эффективность процесса; Rk_i – эффективность критерия; K_i – весовой коэффициент i -го критерия.

Следует отметить, что определение фактической ценности эффективности по каждому отдельному критерию корпоративного процесса рассчитывается как среднее арифметическое критериев эффективности аналогичных локальных процессов всех предприятий, входящих в рассматриваемую группу компаний.

Для применения алгоритма будем рассматривать показатели эффективности критериев процесса как входные нечеткие лингвистические переменные; эффективность процесса КСМК – в качестве выходной нечеткой лингвистической переменной. Фактическое значение критерия эффективности определим как x_i .

Особое внимание следует уделить определению остаточного риска недостижения целевого значения критерия эффективности y_i для каждого критерия, который формируется как произведение вероятности наступления рисковогго события и тяжести последствий. Каждой величине остаточного риска присваивается весовой коэффициент B_i . Пороговые уровни для предпосылок каждого из правил находятся с помощью минимальной операции. Результирующие пороговые уровни α_i приняты соответствующими значениям остаточного риска недостижения целевого значения критерия эффективности. Отдельные выходы правил z_i для критериев вычисляются, опираясь на обобщенный опыт [19; 20], по формуле

$$z_i = A_i x_i + B_i y_i, \tag{2}$$

где A_i – весовой коэффициент критерия эффективности процесса, определяемый экспертным методом.

Таблица 1. Обобщенная процессно-функциональная модель КСМК

Table 1. Generalized process-functional model of corporate QMS

Корпоративные процессы	Управление компанией – определение бизнес-стратегии – бюджетирование – совершенствование КСМК – внутренний аудит КСМК	Стратегическое планирование, формирование единой политики и целей в области качества, анализ и мониторинг деятельности КСМК. Определение общих для всех предприятий группы принципов управления закупками, продажами, персоналом и инфраструктурой. Процедуры управления рисками, специальными процессами, документированной информацией и несоответствиями.
Дивизиональные процессы	Российское подразделение – процессы создания стоимости – вспомогательные процессы	Оперативно-тактическое планирование процессов с учетом региональной и отраслевой специфики, общие функции управления процессами, в том числе межзаводским управлением. Внедрение целей в области качества и показателей эффективности на уровне предприятия.
Процессы предприятий	Предприятия – процессы создания стоимости на местном уровне – локальные вспомогательные процессы	Оперативное планирование на основе корпоративных и дивизиональных требований и принципов, развёртывание целей в области качества и показателей эффективности на уровне отделов, формирование мероприятий по их достижению. Процедуры анализа запросов потребителей, управления изменениями, управления знаниями.

Таблица 2. Процессы и критерии эффективности КСМК

Table 2. Processes and effectiveness criteria of corporate QMS

Индекс процесса	Имя процесса	Критерии эффективности	Целевое значение
1	2	3	4
ДП 15	Работа с уведомлениями и жалобами потребителей. Анализ удовлетворенности клиентов	К1 Количество уведомлений, по которым было возбуждено судебное разбирательство и принято решение в пользу потребителя	Не более 1
		К2 Повторяемость несоответствий для каждого решения на кумулятивной основе	1
		К3 Сближение количества полученных заводами нотификаций с количеством нотификаций, поданных в ОТК	Не менее 0,98
		К4 Оценка потребителем параметра «Оперативное и объективное рассмотрение рекламаций» по результатам опроса (по каждому заводу)	Не ниже 4 для каждого решения по 5-балльной системе
		К5 Количество отклоненных уведомлений по каждому виду продукции (по каждому заводу), по которым претензионной комиссией приняты решения о признании претензий	0 (без учета бизнес-решений)
		К6 Рассмотрение уведомлений о качестве поставляемой продукции в пределах до 14 рабочих дней	Не менее 72 %
ДП 13	Маркетинг	К1 Точность прогноза рынка	±10 %
		К2 Соблюдение сроков, установленных в годовом плане маркетинга	Не менее 95 %
ДП 10	Доставка продукции	К1 Несоответствие фактических объемов поставленной продукции в сроки, установленные контрактами/аккредитивами/ базами поставки (отношение объема продукции, не поставленной в срок по вине поставщика логистических услуг, при условии своевременной отгрузки заводами, к общему объему продукции по контрактам/аккредитивам)	Не более 10 %
		К2 Отношение количества претензий (официально признанных уведомлений) потребителей по несоответствующей продукции по вине поставщика транспортных услуг к общему количеству претензий за отчетный период	Не более 10 %
		К3 Соответствие согласованного с поставщиком логистических услуг уровня стоимости перевозки фактической стоимости перевозки на момент доставки продукции	Не более 0,01 %
ДП 5	Сбытовой	К1 Выполнение плана продаж	Не менее 95 %
		К2 Обеспечение загрузки производственных мощностей на начало месяца не ниже нормы	Не менее 95 %
		К3 Соблюдение сроков выполнения клиентских заявок	7,0
ДП 9	Закупка материалов	К1 Своевременная поставка материалов на заводы	Не менее 90 %
ДП 6	Планирование производства. Контроль выполнения производственной программы	К1 Индикатор невыполнения заказов	Не более 4 %
		К2 Показатель выполнения заказов из утвержденного перечня заказов	Не менее 72 %
		К3 Изменение утвержденных списков заказов по инициативе отдела продаж	Не более 20 %
КП 2	Внутренний аудит	К4 Выполнение программы аудита (количество)	100 %
КП 4	Совершенствование CQMS	К1 Степень выполнения руководством решений предыдущего анализа СКУК	100 %
		К2 Количество достигнутых целей в области качества из общего числа	Не менее 90 %
		К3 Реализация мероприятий по разворачиванию целей в области качества из общего числа	90 %

Таблица 2 (продолжение). Процессы и критерии эффективности КСМК

Table 2 (continuation). Processes and effectiveness criteria of corporate QMS

Индекс процесса	Имя процесса	Критерии эффективности	Целевое значение
1	2	3	4
ДП 12	Управление персоналом	К1 Процент удовлетворенных заявок на подбор персонала, соответствующего требованиям	Не менее 70 %
		К2 Показатель эффективности адаптации (процент сотрудников, успешно завершивших испытательный срок)	Не менее 80 %
		К3 Рейтинг обучающих мероприятий по пятибалльной шкале (на основе отзывов сотрудников)	Не менее 4
		К4 Процент выполнения плана обучения	Не менее 80 %
		К5 Оценка эффективности обучения по пятибалльной шкале на основе обратной связи от руководителей подразделений	Не менее 4
		К6 Выполнение годового плана стажировки	Не менее 70 %
ДП 7	Дизайн и разработка	К1 Процент выполнения плана проектирования и разработки	Не менее 70 %
ДП 8	Система технического контроля	К1 Количество несоответствующей продукции, отгруженной потребителям на основании признанных нотификаций, в среднем по предприятиям Группы ТМК по сравнению с предыдущим аналогичным периодом	Меньше или равно 1
ДП 16	Управление корпоративной системой неразрушающего контроля	К1 Количество аттестованных установок автоматизированного неразрушающего контроля на предприятиях по сравнению с предыдущим аналогичным периодом	Меньше или равно 1

Следующим шагом является определение четкого значения выходной переменной для остаточного риска неэффективности отдельного процесса на основе формулы

$$R_{PC} = z_0 = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \dots + \alpha_n z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}. \quad (3)$$

Эффективность процесса R_p определена как $R_p = 1 - R_{PC}$. Расчет эффективности СМК с учетом использования алгоритма Такаги-Сугено проводится по формуле (1). Вывод об эффективности сделан на основе шкалы градации эффективности КСМК, представленной в табл. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для реализации процесса оценки эффективности КСМК была разработана модель в среде AnyLogic, которая позволяет визуализировать и упростить работу с данными при оценке эффективности работы компании. Интерфейс приложения показан на рисунке.

Интерфейс содержит элементы для управления входными данными критериев эффективности процессов и остаточными значениями риска отказа отдельных процессов. Рассчитанные значения эффективности процесса по методологии СМК и с использованием

Таблица 3. Шкала градации эффективности КСМК

Table 3. Effectiveness gradation scale of corporate QMS

R	Действия в отношении КСМК
0 – 0,5	Не эффективно. Цели и задачи не были достигнуты. Необходимо принять корректирующие меры для выявления и устранения причин несоответствий.
0,5 – 0,8	Средний уровень производительности. Поставленные цели и задачи достигнуты частично. Должны быть разработаны корректирующие действия по выявлению и устранению причин возникновения несоответствий.
0,8 – 1,0	Эффективность КСМК



Интерфейс приложения для оценки эффективности процессов СМК в среде AnyLogic

Application interface for assessing the effectiveness of QMS processes in AnyLogic environment

алгоритма Такаги-Сугено отображаются в соответствующих окнах интерфейса модели, и для каждого метода строится диаграмма оценки эффективности процесса. Общие значения производительности отображаются в интерфейсе программы. По методологии КСМК эффективность составила 0,81, а по методике оценки эффективности КСМК с использованием алгоритма Такаги-Сугено – 0,92.

Полученные в результате моделирования диаграммы производительности процессов КСМК позволяют сделать вывод об эффективности таких процессов, как ДП-15 «Работа с обращениями и жалобами потребителей. Анализ удовлетворенности потребителей», ДП-6 «Планирование производства. Контроль исполнения производственных программ», ДП-12 «Управление человеческими ресурсами» и ДП-8 «Система технического контроля», рассчитанных с использованием алгоритма Такаги-Сугено, которые увеличились по сравнению с результатами расчетов по методике, применяемой в Группе компаний. На рост показателей эффективности повлияло введение индикатора остаточного риска по этим процессам. В свою очередь, процессы КП-4 «Совершенствование СМК» и КП-2 «Внутренний аудит» получили более низкие баллы при расчете в соответствии с алгоритмом Такаги-Сугено, что может быть признаком наличия организационных недостатков или особенностей расчета, степень влияния рисков на эти процессы незначительна.

Выводы

Использование методики расчета эффективности процессов корпоративной системы менеджмента

качества на основе алгоритма Такаги-Сугено позволяет:

- учитывать качественные аспекты, влияющие на эффективность процессов корпоративной системы менеджмента качества, такие как внешние и внутренние факторы, риски;
- детально проанализировать систему показателей, характеризующих эффективность и устойчивость корпоративной системы менеджмента качества, и на основании полученных результатов внести в нее соответствующие изменения;
- комплексно оценивать эффективность каждого процесса СМК, степень влияния рисков на недостижение целевых значений критериев эффективности, а также их влияние на оценку эффективности системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. Москва: «Стандартинформ»; 2015:32.
2. Искандерова Р.Р. Методика оценки эффективности СМК предприятия. *Молодой ученый*. 2015;85(5):278–280. Iskanderova R.R. Methodology for assessing the effectiveness of QMS of an enterprise. *Young scientist*. 2015;85(5): 278–280. (In Russ.).
3. Редько Л.А., Сальков С.Е., Червова Л.В. Оценка эффективности системы менеджмента качества. *Вестник науки Сибири*. 2013;9(3):65–69. Red’ko L.A., Sal’kov S.E., Chervova L.V. Assessing the effectiveness of quality management system. *Bulletin of Science of Siberia*. 2013;9(3):65–69. (In Russ.).
4. Меркушова Н.И. Анализ подходов к оценке эффективности систем менеджмента качества в организациях. В кн.: *Проблемы современной экономики: Материалы Между-*

- народной научной конференция 20–23 декабря 2011, Челябинск. Челябинск: Два комсомольца; 2011:127–129.
5. Абалдова С.Ю., Волынский В.Ю. Разработка системы нечеткого вывода для оценки эффективности системы менеджмента качества предприятия на основе алгоритма Мамдани. *Известия вузов. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. 2011;7(1):86–93.
Abaldova S.Yu., Volynskii V.Yu. Development of a fuzzy inference system for assessing the effectiveness of enterprise's quality management system based on the Mamdani algorithm. *Ivecofin*. 2011;7(1):86–93. (In Russ.).
 6. Kang Z., Zhao Y., Kim D. Investigation of enterprise economic management model based on fuzzy logic algorithm. *Heliyon*. 2023;9(8):e19016.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19016>
 7. Pislaru M., Herghiligiu I.V., Robu I.-B. Corporate sustainable performance assessment based on fuzzy logic. *Journal of Cleaner Production*. 2019;223:998–1013.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.130>
 8. Tafuro A., Dammacco G., Esposito P., Mastroleo G. Rethinking performance measurement models using a fuzzy logic system approach: a performative exploration on ownership in waste management. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2022;79:101092. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101092>
 9. Caiado R.G.G., Scavarda L.F., Gavião L.O., Ivson P., Nascimento D.L.M., Garza-Reyes J.A. A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*. 2021;231:107883.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107883>
 10. Drews T., Molenda P., Oechsle O., Koller J. Manufacturing system optimization with lean methods, manufacturing process objectives and fuzzy logic controller design. *Procedia CIRP*. 2020;93:658–663.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.145>
 11. Nalbant K.G. A methodology for personnel selection in business development: An interval type 2-based fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Heliyon*. 2024;10(1):e23698.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23698>
 12. Стенников В.А., Баракхтенко Е.А., Майоров Г.С. Разработка мультиагентной модели интегрированной системы энергоснабжения в программной среде AnyLogic. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2020;24(5):1080–1092.
<http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2020-5-1080-1092>
Stennikov V.A., Barakhtenko E.A., Mayorov G.S. Developing a multiagent model of an integrated energy supply system in AnyLogic simulation software. *iPolytech Journal*. 2020;24(5):1080–1092. (In Russ.).
<http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2020-5-1080-1092>
 13. Суханов А.А., Скороходова А.С. Моделирование бизнес-процессов в среде AnyLogic. *Сборник материалов XIX Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 21–22 апреля 2023 г., Томск*. Томск: изд. ООО «СТТ»; 2023:415–417.
 14. Ершова И.В., Тотмянин А.А. Моделирование производственных задач с помощью программы AnyLogic. *Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении*. 2023;19(1):32–39.
<https://doi.org/10.30987/2658-6436-2023-1-32-39>
Ershova I.V., Totmyanin A.A. Modeling production tasks using the AnyLogic program. *Automation and Modeling in Design and Management*. 2023;19(1):32–39. (In Russ.).
<https://doi.org/10.30987/2658-6436-2023-1-32-39>
 15. Копытин Д.В., Кorableва А.А. Применение имитационного моделирования в программе AnyLogic для исследования бизнес-процессов на железной дороге. *NovaInfo.Ru*. 2021;124:17–20.
Kopytin D.V., Korableva A.A. Using of simulation software anylogic for modelling business processes on railroad. *NovaInfo.Ru*. 2021;124:17–20. (In Russ.).
 16. Ходашинский И.А., Сарин К.С. Методика построения компактных и точных нечетких систем типа Такаги–Сугено. *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. 2016;19(1):50–56.
<https://doi.org/10.21293/1818-0442-2016-19-1-50-56>
Hodashinsky I.A., Sarin K.S. Technique for designing accurate and compact Takagi–Sugeno fuzzy systems. *Proceedings of TUSUR University*. 2016;19(1):50–56. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21293/1818-0442-2016-19-1-50-56>
 17. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / Перевод с английского. 2-е издание. Москва: БИНОМ, Лаборатория знаний; 2013:798.
 18. Бельцева Л.Б. Дизайн корпоративной СМК. Принципы построения СМК в промышленных холдингах. *Методы управления качеством*. 2020;(5):44–50.
Beltseva L.B. Design of corporate QMS. Principles of building CQMS in industrial holdings. *Methods of Quality Management*. 2020;(5):44–50.
 19. Южакова Ю.О., Царева С.А. Оценка эффективности интегрированной системы менеджмента для производителя нефтедобывающего оборудования в условиях адаптации алгоритмов нечеткой логики. В кн.: *XXX Международная научно-практическая заочная конференция. Научные исследования: ключевые проблемы 3-го тысячелетия. 1–2 ноября 2018 г. Москва*. Москва: Издательство «Научные публикации»; 2018:25(6):4–9.
 20. Гвоздик М.И., Абдулалиев Ф.А., Шилов А.Г. Модели оценки риска в нечеткой среде с использованием логического вывода на нечетких множествах первого порядка. *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. 2017;(2):107–120.
Gvozdik M.I., Abdulaliev F.A., Shilov A.G. Risk assessment models in a fuzzy environment using logical inference on first-order fuzzy sets. *Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia"*. 2017;(2):107–120. (In Russ.).

Сведения об авторах

Information about the Authors

Софья Александровна Царева, к.х.н., доцент института экономики и менеджмента, Ярославский государственный технический университет

ORCID: 0000-0003-2099-4885

E-mail: zarew@rambler.ru

Владимир Владимирович Новожиллов, аспирант, Ярославский государственный технический университет

ORCID: 0009-0002-3418-2378

E-mail: novojilovvv.19@edu.ystu.ru

Юрий Валерьевич Царев, к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы и технологии» Института цифровых систем, Ярославский государственный технический университет

ORCID: 0000-0002-4337-2897

E-mail: tsarevyv@ystu.ru

Sophia A. Tsareva, Cand. Sci. (Chem.), Assist. Prof. of the Institute of Economics and Management, Yaroslavl State Technical University

ORCID: 0000-0003-2099-4885

E-mail: zarew@rambler.ru

Vladimir V. Novozhilov, Postgraduate, Yaroslavl State Technical University

ORCID: 0009-0002-3418-2378

E-mail: novojilovvv.19@edu.ystu.ru

Yuri V. Tsarev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Information Systems and Technologies of the Institute of Digital Systems, Yaroslavl State Technical University

ORCID: 0000-0002-4337-2897

E-mail: tsarevyv@ystu.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

С. А. Царева – адаптация и анализ имитационного моделирования на основе бинарного алгоритма Такаги-Сугено.

В. В. Новожиллов – участие в проведении исследования, оформление результатов.

Ю. В. Царев – организация и проведение практического исследования, оформление результатов.

S. A. Tsareva – adaptation and analysis of simulation modeling based on the binary Takagi-Sugeno algorithm.

V. V. Novozhilov – participation in the research, registration of results.

Yu. V. Tsarev – organizing and conducting the practical research, registration of results.

Поступила в редакцию 11.08.2025

После доработки 13.10.2025

Принята к публикации 02.04.2026

Received 11.08.2025

Revised 13.10.2025

Accepted 02.04.2026