

ISSN 2500-316X (Online)

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-6-167-183>



УДК 004.89

Технология оценки рисков на этапах жизненного цикла продукции с использованием нечеткой логики

А.Н. Чесалин[@],
С.Я. Гродзенский,
Фам Ван Ты,
М.Ю. Нилов,
А.Н. Агафонов

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: chesalin_an@mail.ru

Исследуется проблема оценки рисков на этапах жизненного цикла продукции с использованием как качественных, так и количественных подходов. Предлагается обобщенный алгоритм выбора нечеткой модели оценки рисков при различных исходных данных и требованиях к системе для эффективного применения статистической информации и экспертных оценок. «Риск-ориентированный подход» позволяет сократить затраты на исправление возможных ошибок в будущем и уменьшить неопределенность при выполнении последующих действий. Проанализированы положения современных стандартов по анализу рисков и дана классификация методов анализа риска в соответствии с положениями национального стандарта ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска». Предложен подход на основе нечеткой логики и гибридной нечеткой нейросетевой модели, который позволяет представить используемые критерии в удобной форме и осуществить логический вывод с помощью простых и наглядных производственных правил. При этом эффективность и точность разработанной системы оценки рисков, основанной на нечеткой логике, в основном определяется качеством экспертной информации и состоятельностью используемых методов ее получения. Для повышения точности результатов предлагается применение коллективных экспертных оценок с последующим анализом согласованности полученных экспертных оценок с помощью определения коэффициентов вариации, ранговой корреляции, конкордации и пр. Представлен обобщенный алгоритм экспертного оценивания, которого рекомендуется придерживаться при разработке экспертных систем по анализу рисков. Предложен алгоритм построения нечеткой системы

анализа рисков на основе эффективного способа получения экспертных оценок и анализе статистической информации. При наличии априорной информации о ранее происшедших событиях, которую можно применить для анализа и прогнозирования рисков, предлагается уточнять нечеткий вывод с использованием широко известных методов математической статистики, алгоритмов оптимизации, к примеру, градиентного спуска, симплекс-метода или генетических алгоритмов.

Ключевые слова: оценка рисков, нечеткая логика, гибридный нейро-нечеткий вывод.

Для цитирования: Чесалин А.Н., Гродзенский С.Я., Фам Ван Ты, Нилов М.Ю., Агафонов А.Н. Технология оценки рисков на этапах жизненного цикла продукции с использованием нечеткой логики. *Российский технологический журнал*. 2020;8(6):167-183. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-6-167-183>

Technology for risk assessment at product lifecycle stages using fuzzy logic

Aleksandr N. Chesalin[@],
Sergey Ya. Grodzensky,
Pham Van Tu,
Mikhail Yu. Nilov,
Aleksey N. Agafonov

MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia
[@]Corresponding author, e-mail: chesalin_an@mail.ru

The problem of risk assessment at the stages of the product life cycle using both qualitative and quantitative approaches is investigated, and a generalized algorithm for selecting a fuzzy risk assessment model with different input data and system requirements is proposed for the effective use of statistical information and expert assessments. The "risk-based approach" allows to reduce the cost of correcting possible errors in the future and reduce the uncertainty when performing subsequent actions. It is noted that the results of SWOT analysis, as a rule, are of a qualitative descriptive nature, and do not contain specific recommendations. The provisions of modern standards on risk analysis are analyzed and the classification of risk analysis methods is given in accordance with the provisions of the national standard GOST R 58771-2019 "Risk management. Technologies for risk assessment", in which the key is the concept of uncertainty, estimated using different scales of gradation of risk damage and probability of its occurrence. An approach based on fuzzy logic and a hybrid fuzzy neural network model is proposed, which allows to present the used criteria in a convenient form and implement a logical conclusion using simple and visual production rules. At the same time, the effectiveness and accuracy of the developed risk assessment system based on fuzzy logic is mainly determined by the quality of expert information and the consistency of the methods used to obtain it. To improve the accuracy of the results, it is proposed to use collective expert estimates with subsequent analysis of the consistency of the obtained expert estimates by determining the coefficients of variation, rank correlation, concordation, and so on. A generalized algorithm of expert assessment is presented, which is recommended to follow when developing expert systems for risk analysis. Various models of fuzzy inference (Mamdani, Takagi-Sugeno, hybrid neuro-fuzzy inference) are considered. An algorithm for constructing a fuzzy risk analysis system based on an effective method for obtaining expert assessments and analyzing statistical information is proposed. It is suggested that if there is a priori information about previously occurred events that can be used for risk analysis and

forecasting, the fuzzy conclusion should be refined using widely known methods of mathematical statistics, optimization algorithms, for example, gradient descent, simplex method or genetic algorithms. An example of developing a risk assessment system when an enterprise enters into contracts with both the customer and co-executors is given.

Keywords: risk assessment, fuzzy logic, hybrid neuro-fuzzy inference.

For citation: Chesalin A.N., Grodzensky S.Ya., Pham Van Tu, Nilov M.Yu., Agafonov A.N. Technology for risk assessment at product lifecycle stages using fuzzy logic. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2020;8(6):167-183 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-6-167-183>

Введение

Проблема оценки и управления рисками на этапах жизненного цикла продукции приобретает в настоящее время все более важное значение. Так называемый «Риск-ориентированный подход» позволяет сократить затраты на исправление возможных ошибок в будущем и уменьшить неопределенность при выполнении последующих действий. Одним из способов решения рассматриваемой проблемы может быть SWOT-анализ – метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности), Threats (угрозы). Как показывает опыт многих предприятий, результаты SWOT-анализа, как правило, носят качественный описательный характер, не содержат конкретных рекомендаций.

К настоящему времени разработано множество методик по анализу риска. Международной Электротехнической Комиссией (МЭК) выпущен стандарт ИЕС 31010:2019 «Risk management – Risk assessment techniques» и с учетом его положений разработан национальный стандарт ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска» (дата введения в действие 1 марта 2020 г.), в котором представлено около сорока разнообразных методов анализа риска. При этом предлагаются как простые (например, диаграмма Парето), так и довольно трудоемкие методы, требующие глубокой теоретической подготовки и большого практического опыта, например, теория игр, метод Монте-Карло, байесовские сети и анализ марковских процессов. Все методы можно условно разделить на группы (технологии) в зависимости от применимости в различных задачах управления рисками (рис. 1).

Ключевым в стандарте ГОСТ Р 58771-2019 является понятие неопределенности, которое предлагается оценивать с использованием различных шкал градаций ущерба от риска и вероятности его возникновения.

Одним из наиболее простых и, вероятно по этой причине популярным на практике методом, представленным в стандарте, является матрица последствий/вероятности (рис. 2) (матрица рисков или «тепловая карта»), позволяющая проводить качественную экспертную оценку риска на основе пары «последствия – вероятность», которая обычно ассоциируется с рассматриваемым событием.

По нашему мнению, для анализа рисков необходим некий инструмент, позволяющий как бы синтезировать количественные и качественные данные разной достоверности и информативности. Для этого в данной работе предлагается использовать аппарат нечеткой логики, предложенный Л. Заде в работах [1, 2], который позволяет представить ис-

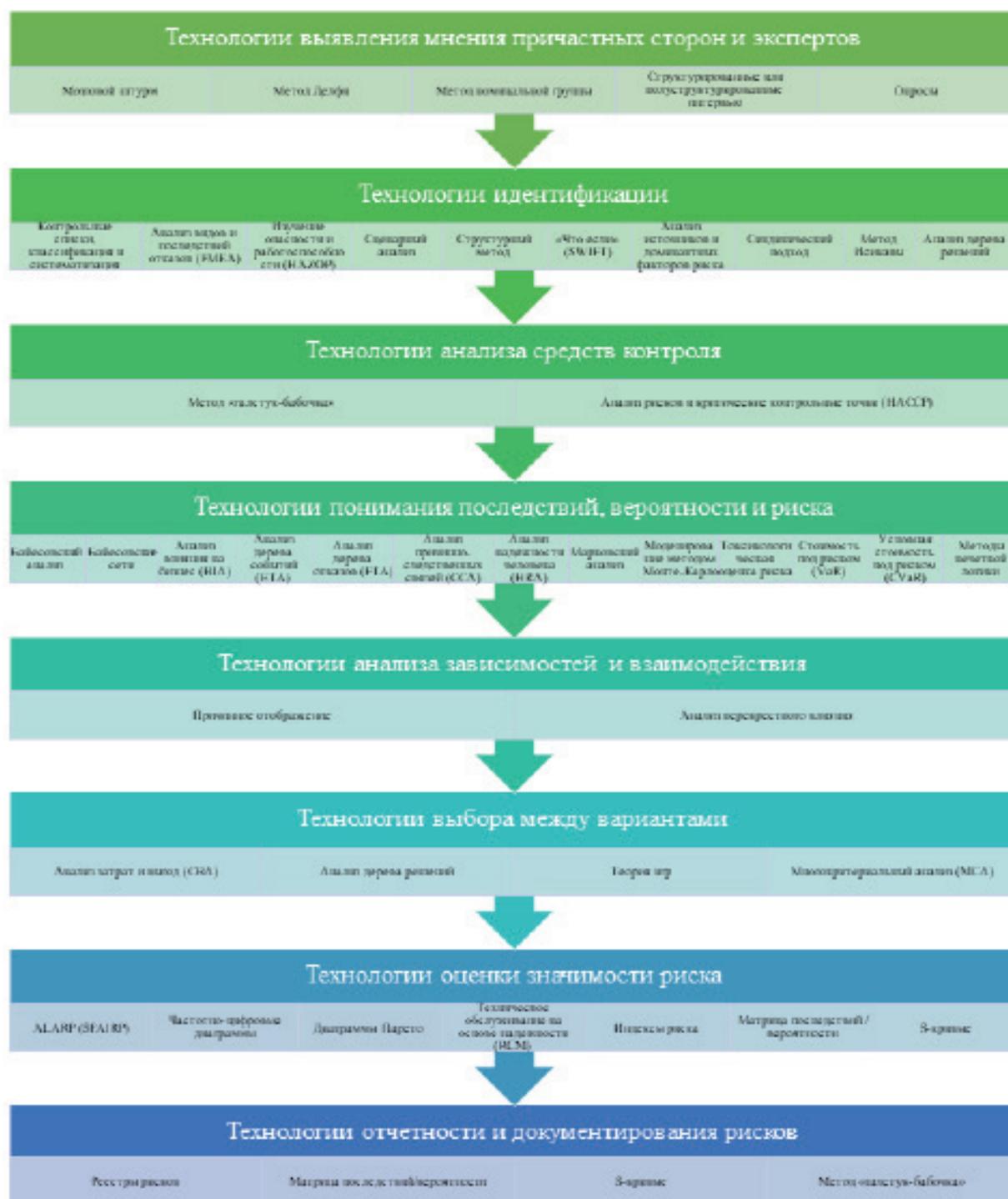


Рис. 1. Методы анализа риска в соответствии с ГОСТ Р 58771-2019.

пользуемые критерии в удобной форме и осуществить логический вывод (оценку рисков) с помощью простых и наглядных продукционных правил.

Анализ рисков на основе нечеткой логики

Нечёткий подход давно зарекомендовал себя как простой и надежный метод для решения многих проблем управления в технических системах (нечёткие регуляторы исполь-

		Уровень последствий				
		Незначительный	Умеренный	Значительный	Высокий	Критический
Уровень вероятности	Крайне маловероятно	Низкий	Низкий	Ниже среднего	Средний	Средний
	Маловероятно	Низкий	Ниже среднего	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
	Средне	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Выше среднего
	Вероятно	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий
	Очень вероятно	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Высокий

Рис. 2. Тепловая карта рисков.

зуются в бытовой технике, автомобилях, робототехнике и пр.). В статье [3] предложено использование аппарата нечеткой логики для оценки надежности автоматизированных систем с учетом человеческого фактора. В работе [4] описано использование нечеткой нейросети ANFIS для оценки рисков информационной безопасности организации.

Вместе с тем, несмотря на всю простоту и удобство применения нечеткой логики, эффективность и точность разработанной системы оценки рисков в основном определяется качеством экспертной информации и состоятельностью используемых методов ее получения. В связи с этим необходимо применение различного инструментария для получения экспертных оценок, к примеру, в работе [5] рассмотрен подход, сочетающий в себе аппарат нечеткой логики и метод анализа иерархий для принятия управленческих решений, в работах [6–9] показана возможность применения нечеткой логики в управлении качеством в сочетании с другими инструментами. При построении системы анализа рисков рекомендуется применение коллективных экспертных оценок, позволяющих получать более точные результаты, особенно при использовании специальных методов организации взаимодействия экспертов (мозговой штурм, метод Дельфи и т. п.). При этом необходимо проводить анализ согласованности полученных экспертных оценок с помощью определения коэффициентов вариации, ранговой корреляции, конкордации и пр. На рис. 3 показана блок-схема обобщенного алгоритма экспертного оценивания.

Ниже предлагается алгоритм построения нечеткой системы анализа рисков на основе эффективного способа получения экспертных оценок и анализе статистической информации. Для разработки нечеткой системы анализа рисков на основе экспертных оценок предпочтительным является использование нечеткой логики с методом логического вывода, предложенным Мамдани [10]. Блок-схема алгоритма показана на рис. 4.

Нечеткий логический вывод методом Мамдани

База знаний Мамдани представляет собой набор продукционных правил («если – то»):

$$w^j \left[x_1 = \tilde{A}_1^j \wedge x_2 = \tilde{A}_2^j, \dots \wedge x_n = \tilde{A}_n^j \right] \Rightarrow y = \tilde{B}^j, j = 1:m,$$

где w^j – весомость правила, $\tilde{A}_i^j = \int \mu_{\tilde{A}_i^j}(x_i) / x$ – нечеткое множество термина входной лингвистической переменной x_i в j -м правиле, $\tilde{B}^j = \int \mu_{\tilde{B}^j}(y) / x$ – нечеткое множество термина



Рис. 3. Блок-схема алгоритма экспертного оценивания.

выходной лингвистической переменной y в j -м правиле, \wedge – оператор «и» (в базе правил также может использоваться оператор «или» (\vee)).

Логический вывод Мамдани представляет собой следующую процедуру (рис. 5).

Пусть задан вектор значений входных переменных:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*),$$

тогда:

– фаззификация входных переменных представляет собой операцию взятия значения каждой функции принадлежности:

$$A_i^j = \mu_{\tilde{A}_i^j}(x_i^*);$$

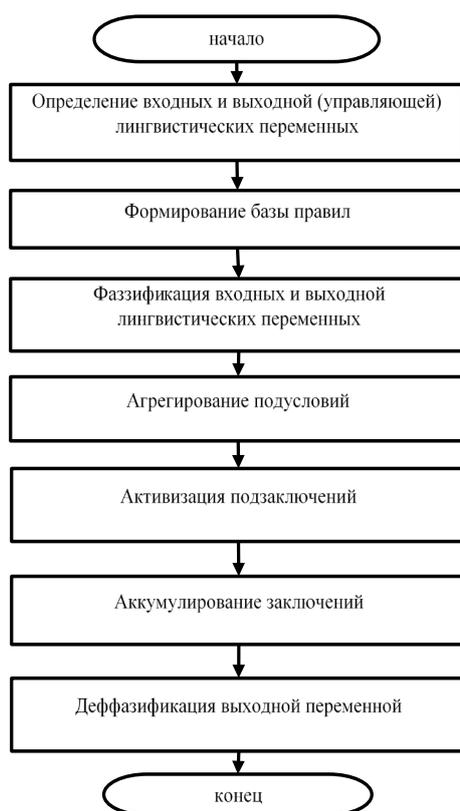


Рис. 4. Блок-схема алгоритма нечеткого вывода.

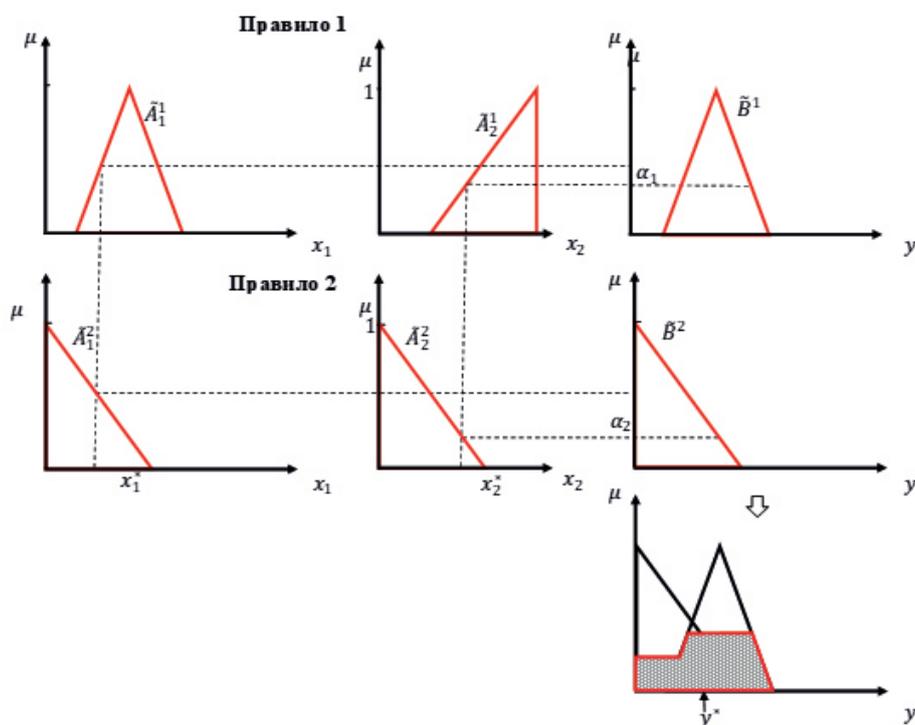


Рис. 5. Нечеткий логический вывод Мамдани.

– агрегирование подусловий $\alpha^j = \mu_{\tilde{A}_i}(x_1^*)$:

$$\alpha^j = w^j \min \left[\mu_{\tilde{A}_1}(x_1^*), \mu_{\tilde{A}_2}(x_2^*), \dots, \mu_{\tilde{A}_n}(x_n^*) \right];$$

– активизация подзаключений представляет собой функцию импликации $\tilde{B}^{j*} = \text{imp}(\tilde{B}^j, \alpha^j)$, которая может быть представлена в следующем виде:

$$\tilde{B}^{j*} = \int \min \left[\alpha^j, \mu_{\tilde{B}^j}(y) \right] / y;$$

– аккумулярование заключений $\tilde{B} = \text{aggr}(\tilde{B}^{1*}, \tilde{B}^{2*}, \dots, \tilde{B}^{m*})$ может быть представлено в следующем виде:

$$\tilde{B} = \max \left[\tilde{B}^{1*}, \tilde{B}^{2*}, \dots, \tilde{B}^{m*} \right];$$

– деффазификация выходной переменной методом центра тяжести:

$$y^* = \frac{\int \mu_{\tilde{B}}(y) y dy}{\int \mu_{\tilde{B}}(y) dy}.$$

Как правило, при анализе рисков на предприятиях ведется сбор информации о ранее происшедших ситуациях, которую можно применить для анализа и прогнозирования рисков. В этом случае предлагается также использовать нечеткий подход, но с применением не только экспертных оценок, но и дополнительной информации для их уточнения. Данный подход принято называть гибридным. В этом случае нечеткий вывод уточняют с использованием широко известных методов математической статистики, таких, как метод наименьших квадратов, или различных алгоритмов оптимизации, к примеру, градиентного спуска, симплекс-метода или генетических алгоритмов.

Нечеткий логический вывод методом Такаги-Сугено

В гибридной системе, как правило, используется логический вывод Такаги-Сугено (либо Цукамото) [3, 10], который сложнее при формировании логических правил (необходимо подобрать коэффициенты функции целевой переменной), чем логический вывод Мамдани, но позволяет проектировать точные системы на основе статистической информации. В случае использования логического вывода Такаги-Сугено при импликации выходным сигналом лингвистического решения является не лингвистическое решение в виде нечетких функций, а конкретное число или линейная функция, что является удобным при уточнении базы правил.

База знаний Такаги-Сугено представляет собой набор продукционных правил («если – то») следующего вида:

$$x_1 = \tilde{A}_1^j \wedge x_2 = \tilde{A}_2^j, \dots, \wedge x_n = \tilde{A}_n^j \Rightarrow y = f^j(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad j = 1:m,$$

где $f^j(x_1, x_2, \dots, x_n) = \theta_0^j + \sum_{i=1:n} \theta_i^j x_i$ – полиномиальная функция целевой переменной от входных данных; $\theta_i^j \in \mathbb{R}$ – некоторые коэффициенты.

Нечеткий логический вывод Такаги-Сугено представляет собой следующую процедуру (рис. 6).

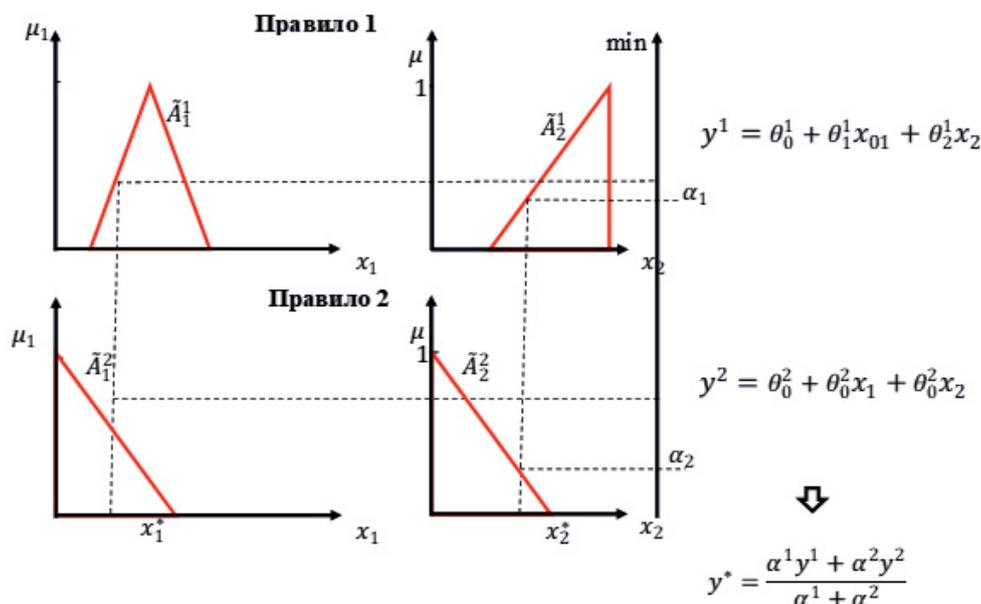


Рис. 6. Нечеткий логический вывод Такаги-Сугено.

Пусть задан вектор значений входных переменных:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*),$$

тогда:

– фаззификация входных переменных представляет собой операцию взятия значения каждой функции принадлежности: $A_i^j = \mu_{\tilde{A}_i^j}(x_i^*)$;

– агрегирование подусловий $\alpha^j = \mu_{A^j}(X^*)$:

$$\alpha^j = \min \left[\mu_{\tilde{A}_1^j}(x_1^*), \mu_{\tilde{A}_2^j}(x_2^*), \dots, \mu_{\tilde{A}_n^j}(x_n^*) \right];$$

– активизация подзаключений представляет собой расчет функции $f^j(x_1, x_2, \dots, x_n)$, которая может быть представлена в следующем виде:

$$y^j = \theta_0^j + \sum_{i=1:n} \theta_i^j x_i;$$

– расчет целевого значения y производится по следующей формуле:

$$y^* = \frac{\sum_{j=1:m} \alpha^j y^j}{\sum_{j=1:m} \alpha^j}.$$

Таким образом, в выводе Такаги-Сугено не используются затратные операции интегрирования, как в случае вывода Мамдани (операции агрегирования и дефаззификации).

Гибридная нейро-нечеткая система

Если статистической информации достаточно для построения системы, то целесообразно использовать гибридную нейро-нечеткую систему, которую принято называть ANFIS [10] (adaptive neuro-fuzzy inference system – адаптивная сеть на основе системы нечеткого вывода), сочетающая достоинства нечеткой логики и нейросетевых алгоритмов. Преимущества нейро-нечеткой системы перед нейросетевой следующие:

- нейро-нечеткая система дает возможность использовать априорную экспертную информацию, позволяющую значительно ускорить и сократить процесс обучения сети;
- нейро-нечеткая система обладает логической прозрачностью и удобна для разъяснений;
- нейро-нечеткая система позволяет получить более точные результаты (прогнозы), используя меньшее количество данных.

Далее описан алгоритм нечеткого вывода и обучения ANFIS.

Гибридная нейронная сеть, отражающая приведенный механизм вывода, представлена на рис. 7.

Данная сеть может быть описана следующим образом:

x_i – входы сети, $i = 1 : m$, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$;

y – выход сети;

R_j – нечеткие правила («если – то»), $j = 1 : m$;

\tilde{A}_i^j – нечеткие множества, представляющие термы входных переменных (функции принадлежности термов должны быть дифференцируемыми функциям);

α_j – степени истинности предпосылок правил R_j ;

$f_j(X)$ – некоторая полиномиальная функция каждого правила R_j .

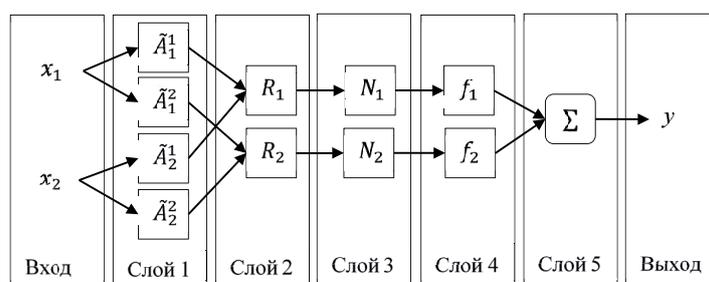


Рис. 7. Схематическое изображение гибридной нейронной сети.

Пусть задан вектор значений входных переменных:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*),$$

1. Слой 1: (фаззификация). Нейроны данного слоя представляют собой нечеткие множества \tilde{A}_i^j термов входных переменных. Выходы данного слоя представляют собой результат операции дефаззификации $\mu_{\tilde{A}_i^j}(x_i^*)$.

2. Слой 2: (агрегирование). Нейроны данного слоя представляют собой степени истинности предпосылок каждого правила базы знаний системы, вычисляемые по формулам:

$$\alpha_j = \min \left[\mu_{\tilde{A}_1^j}(x_1^*), \mu_{\tilde{A}_2^j}(x_2^*), \dots, \mu_{\tilde{A}_n^j}(x_n^*) \right].$$

3. Слой 3: (нормализация). Нейроны данного слоя вычисляют относительную степень выполнения нечетких правил:

$$w_j = \frac{\alpha_j}{\sum_{k=1:m} \alpha_k}.$$

4. Слой 4: (активизация). Нейроны данного слоя выполняют операции:

$$y_j = \beta_1 f^j(X) = \theta_0^j + \sum_{i=1:n} \theta_i^j x_i.$$

5. Слой 5: (суммирование). Единственный нейрон данного слоя вычисляет выходной результат сети:

$$y^* = \sum_{j=1:m} y_j.$$

Обучение нейро-нечеткой сети реализуется методом обратного распространения ошибки с корректировкой функций принадлежности \tilde{A}_i^j и коэффициентов θ_i^j . При этом целесообразно использовать математические пакеты, где данная сеть реализована, или же применить языки программирования, имеющие соответствующие библиотеки для работы с нечеткими множествами.

Нейронная сеть – многослойный персептрон

Если при решении проблемы используются большие данные (Big Data) и не выдвигаются жестких требований к «прозрачности» экспертного заключения, следует использовать современные архитектуры нейронных сетей глубокого обучения [11]. В этом случае простым, но эффективным вариантом может быть использование нейронной сети с архитектурой – многослойный персептрон, которая используется для задач классификации табличных данных.

Обобщенный алгоритм выбора подходящей модели нечеткого вывода при различных исходных данных и требованиях к системе для эффективного применения статистической информации и экспертных оценок показан на рис. 8.

Для реализации нечеткой системы анализа рисков возможно применение различных программных средств: Matlab (Simulink) [12], Scilab, SimInTech [13, 14], python (scikit-fuzzy) и др.

Нечеткая система для оценки рисков при заключении договоров

Для оценки рисков предлагается использовать набор критериев соответствия организации-исполнителя предъявляемым требованиям. Данный набор не претендует на полный охват всех факторов, возникающих при заключении контракта с заказчиком. В зависимости от специфики предприятия (отрасли) факторы можно модифицировать, исходя из экспертной оценки необходимости их добавления/изменения. При заключении договора в качестве заказчика или исполнителя предприятие может оценивать риски известными методами, хотя бы проводя SWOT-анализ. При выборе исполнителя (контрагента, поставщика и т.д.) и заключении с ним договора предприятие должно оценить возможности соисполнителя в соответствии с договором и техническим заданием (ТЗ), а также степень проработанности договора (полноту, корректность) и оценить риски его невыполнения, неполного выполнения, нарушения сроков и т.п.

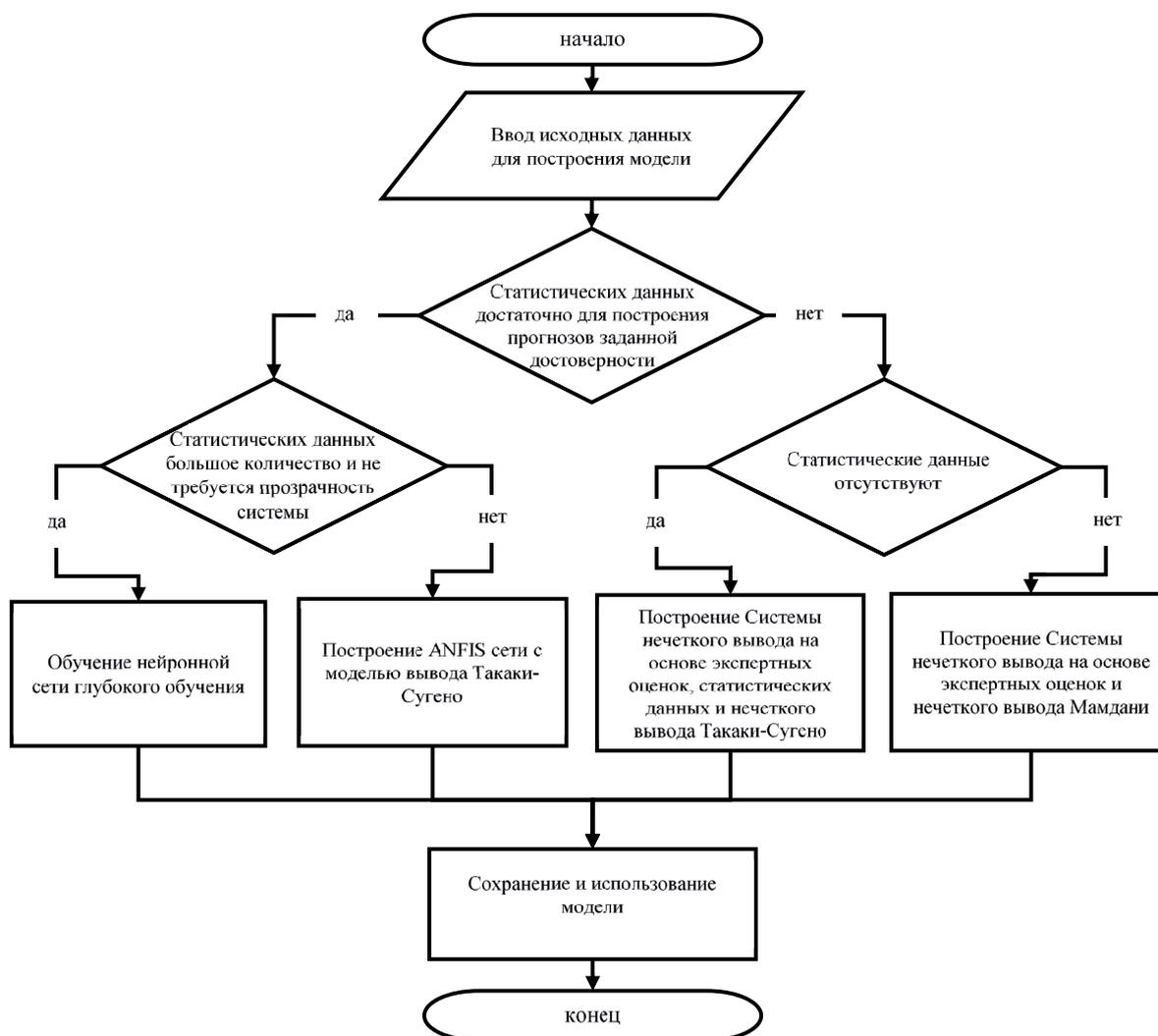


Рис. 8. Обобщенный алгоритм выбора подходящей модели нечеткого вывода.

Предлагается формировать факторы, определяющие риски невыполнения исполнителем (контрагентом) договора, иерархически, как показано в табл. 1, начав с укрупненных факторов (критериев), непосредственно определяющих показатели выходной переменной (оценку надежности), затем формировать критерии, влияющие на значения укрупненных факторов, и в последнюю очередь – метрики, описывающие критерии.

Управление рисками при заключении предприятием договора с заказчиком

При принятии ответственности за выполнение договора предприятие должно оценить свои возможности по выполнению работ и соответственно оценить риски невыполнения (неполного выполнения, не в сроки и т.п.) договора. В табл. 2 приведены факторы, определяющие риски невыполнения предприятием договора.

В табл. 3 представлен фрагмент описания факторов риска невыполнения предприятием договора в виде лингвистических переменных. Терм-множества рекомендуется выбирать по аналогии с тепловой картой оценки рисков и использовать простые треугольные функции принадлежности.

Таблица 1. Факторы рисков невыполнения контрагентом договора

Факторы	Критерии
1. Возможности исполнителя по выполнению работ, в соответствии с договором и ТЗ	1.1. Наличие опыта выполнения аналогичных работ 1.2. Наличие производственных мощностей для выполнения работ 1.3. Наличие высококвалифицированного персонала для выполнения работ
2. Степень проработанности договора	2.1. Договор согласовывается со всеми заинтересованными лицами 2.2. В договоре прописана ответственность за срыв сроков и поставку некачественной продукции 2.3. В договоре прописана возможность контроля выполнения договора в течение всего срока
3. Характеристика договора	3.1. Важность договора/работ 3.2. Сложность работ по договору 3.3. Сроки выполнения работ
4. Последствия при невыполнении (не полном выполнении) исполнителем договора	4.1. Срыв сроков 4.2. Поставка некачественной продукции (услуг) 4.3. Сложность передачи работы другому исполнителю
5. Конкурентоспособность исполнителя	5.1. Наличие сертифицированной системы менеджмента качества 5.2. Наличие долговременных связей с исполнителем 5.3. Цена, выставленная исполнителем (накладные расходы исполнителя) 5.4. Территориальная близость исполнителя 5.5. Возможность установления долгосрочных связей

Таблица 2. Факторы рисков невыполнения предприятием договора

Факторы	Критерии
1. Возможности предприятия по выполнению работ, в соответствии с договором и ТЗ	1.1. Наличие опыта выполнения аналогичных работ 1.2. Наличие производственных мощностей для выполнения работ 1.3. Наличие высококвалифицированного персонала для выполнения работ
2. Степень проработанности договора	2.1. Договор согласовывается со всеми заинтересованными лицами 2.2. В договоре прописана возможность корректировки сроков выполнения договора
3. Характеристика договора	3.1. Сложность работ по договору 3.2. Сроки выполнения работ по договору
4. Последствия при невыполнении (не полном выполнении) исполнителем договора	4.1. Срыв сроков 4.2. Поставка некачественной продукции (услуг) 4.3. Сложность передачи работы другому исполнителю
5. Конкурентоспособность исполнителя	5.1. Наличие долговременных связей с заказчиком 5.2. Территориальная близость исполнителя 5.3. Возможность установления долгосрочных связей

В табл. 4 представлен фрагмент разработанной базы правил для оценки рисков при заключении договоров.

Разработка базы правил представляет собой наиболее сложную и ответственную задачу, для ее составления рекомендуется привлекать группу экспертов и применять алгоритм, представленный на рис. 3. Применение нечеткой логики позволяет реализовать прозрачную и эффективную оценку рисков.

Таблица 3. Факторы рисков и соответствующие им лингвистические переменные

Обозначение фактора	Название лингвистической переменной	Терм множества	Функции принадлежности
x_1	Возможности предприятия	«В» – предприятие имеет высокий уровень оснащения и ресурсов «С» – предприятие имеет средний уровень оснащения и ресурсов «Н» – предприятие имеет низкий уровень оснащения и ресурсов	
x_2	Степень проработанности договора	«В» – высокий уровень проработки договора «С» – средний уровень проработки договора «Н» – низкий уровень проработки договора	
...
y	Риск невыполнения предприятием договора	«ОВ» – очень высокий уровень риска «В» – высокий уровень риска «С» – средний уровень риска «Н» – низкий уровень риска «ОН» – очень низкий уровень риска	

Таблица 4. База нечетких продукционных правил

№ правила	Посылка («если»)	Следствие («то»)
1	$x_1 = Н$ и $x_2 = Н$ и $x_3 = Н$ и $x_4 = Н$ и $x_5 = Н$	$y = ОВ$
2	$x_1 = Н$ и $x_2 = С$ и $x_3 = С$ и $x_4 = Н$ и $x_5 = С$	$y = В$
3	$x_1 = С$ и $x_2 = С$ и $x_3 = С$ и $x_4 = С$ и $x_5 = С$	$y = С$
4	$x_1 = Н$ и $x_2 = С$ и $x_3 = С$ и $x_4 = Н$ и $x_5 = С$	$y = Н$
5	$x_1 = В$ и $x_2 = В$ и $x_3 = В$ и $x_4 = В$ и $x_5 = В$	$y = ОН$
...

Заключение

Проведено исследование технологий анализа рисков:

- проанализированы положения современных стандартов по анализу рисков, рассмотрены некоторые эффективные технологии анализа рисков;
- представлен обобщённый алгоритм экспертного оценивания, которого рекомендуется придерживаться при разработке экспертных систем по анализу рисков;
- рассмотрены различные варианты нечеткого вывода, отмечена их эффективность в различных задачах;
- предложен обобщенный алгоритм выбора метода нечеткой модели при различных

исходных данных и требованиях к системе для эффективного применения статистической информации и экспертных оценок;

– приведен пример разработки системы оценки рисков при заключении предприятием договоров, как с заказчиком, так и с соисполнителями.

Авторы надеются, что рекомендации настоящей работы окажутся полезными при разработке нечетких систем в других областях науки и техники.

Литература:

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: пер. с англ., под ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского. М.: Мир; 1976. 166 с.
2. Zadeh L. Fuzzy Sets. *Information and Control*. 1965;8(3):338-353.
[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
3. Гродзенский С.Я., Чесалин А.Н. Использование аппарата нечеткой логики для оценки надежности автоматизированных систем. *Нелинейный мир*. 2017;15(4):17-23.
4. Glushenko S.A. An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessment of risks to an organization's information security. *Business Informatics*. 2017;1(39):68-77.
<http://doi.org/10.17323/1998-0663.2017.1.68.77>
5. Чесалин А.Н., Гродзенский С.Я., Нилов М.Ю. Метод самооценки качества принятия управленческих решений. *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения «INTERMATIC-2018» Материалы Международной научно-технической конференции*. 2018;5:1149-1152.
6. Hajer M., Ketata R., Taieb B., Samir A. Comparative study of Fuzzy Hierarchical Hybrid approaches for control of Quality Management System. In: *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM-2015)*. 2015. P. 1034-1040.
<https://doi.org/10.1109/IESM.2015.7380282>
7. Ying B., Hanyou W, Longkang W., Kangkang T. Study and analysis on fuzzy quality control for the high-end manufacturing process based on Taguchi quality loss function. *J. Comput. Methods Sci. Eng.* 2019;19(1):121-136.
<https://doi.org/10.3233/JCM-180857>
8. Гродзенский С.Я., Гродзенский Я.С., Чесалин А.Н. Средства и методы управления качеством: учебное пособие. М.: Проспект; 2019. 128 с. ISBN: 978-5-392-28446-7
9. Гродзенский С.Я. Управление качеством: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Проспект, 2018. 320 с. ISBN: 978-5-392-28172-5
10. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком; 2007. 288 с.
11. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning. Cambridge: The MIT Press; 2016. 800 p. ISBN: 0262035618.
12. Лохин В.М., Романов М.П., Казачек Н.А. Исследование периодических колебаний в робототехнических системах управления с нечеткими регуляторами. *Вестник МГТУ МИРЭА*. 2015;3-1(8):138-155.
13. Мызникова В.А., Устименко В.В., Чубарь А.В. Построение нечетких регуляторов для систем управления автономных объектов в среде SimInTech. *Космические аппараты и технологии*. 2019;3(1):22-27.
<https://doi.org/10.26732/2618-7957-2019-1-22-27>
14. Карташов Б.А., Козлов О.С., Шабаев Е.А., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech. М.: ДМК Пресс; 2017. 424 с. ISBN: 978-5-97060-482-3

References:

1. Zade L. *Ponyatie lingvisticheskoi peremennoi i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh reshenii: per. s angl., pod red. N.N. Moiseeva, S.A. Orlovskogo* (The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning). Moscow: Mir; 1976. 166 p. (in Russ.).
2. Zadeh L. Fuzzy Sets. *Information and Control*. 1965;8(3):338-353.
[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
3. Grodzenskiy S.Ya., Chesalin A.N. About the usage of fuzzy logic to reliability assessment of automated systems. *Nelineinyi mir = Nonlinear world*. 2017;5(4):17-23 (in Russ.)

4. Glushenko S.A. An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessment of risks to an organization's information security. *Business Informatics*. 2017;1(39):68-77.
<http://doi.org/10.17323/1998-0663.2017.1.68.77>
5. Chesalin A.N., Grodzenskii S.Ya, Nilov M.Yu. Method of self-assessment of the quality of management decisions. In: *Proceedings of the International scientific and technical conference «Fundamental problems of radioengineering and device construction «INTERMATIC–2018»»* 2018;(5):1149-1152 (in Russ.).
6. Hajer M., Ketata R., Taieb B., Samir.A. Comparative study of Fuzzy Hierarchical Hybrid approaches for control of Quality Management System. In: *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM-2015)*. 2015. P. 1034-1040.
<https://doi.org/10.1109/IESM.2015.7380282>
7. Ying B., Hanyou W, Longkang W., Kangkang T. Study and analysis on fuzzy quality control for the high-end manufacturing process based on Taguchi quality loss function. *J. Comput. Methods Sci. Eng.* 2019;19(1):121-136.
<https://doi.org/10.3233/JCM-180857>
8. Grodzenskii S.Ya., Grodzenskii Ya.S., Chesalin A.N. *Sredstva i metody upravleniya kachestvom: uchebnoe posobie* (Means and methods of quality management: textbook). Moscow: Prospekt; 2019. 128 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-392-28446-7
9. Grodzenskii S.Ya. *Upravlenie kachestvom: uchebnyk. 2-e izd., pererab. i dop.* (Quality Management: textbook). Moscow: Prospekt; 2009. 320 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-392-28172-5
10. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* (Design of fuzzy systems using MATLAB). Moscow: Goryachaya liniya – Telekom; 2007. 288 p. (in Russ.).
11. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep learning*. Cambridge: The MIT Press; 2016. 800 p. ISBN: 0262035618.
12. Lokhin V.M., Romanov M.P., Kazachek N.A. The investigation of the periodic oscillations in the control systems with fuzzy controllers. *Vestnik MGTU MIREA = Herald of MSTU MIREA*. 2015;3-1(8): 138-155 (in Russ.).
13. Myznikova V.A., Ustimenko V.V., Chubar A.V. Fuzzy controllers construction in the SimInTech environment. *Kosmicheskie apparaty i tekhnologii = Spacecrafts & Technologies*. 2019;3(1):22-27 (in Russ.).
<https://doi.org/10.26732/2618-7957-2019-1-22-27>
14. Kartashov B.A., Kozlov O.S., Shabaev E.A., Shekhaturov A.M. *Sreda dinamicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem SimInTech* (SimInTech technical systems dynamic modeling environment). Moscow: DMK Press; 2017. 424 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-97060-482-3

Об авторах:

Чесалин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной и информационной безопасности Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). ResearcherID: D-8080-2019, <https://orcid.org/0000-0002-1154-6151>

Гродзенский Сергей Яковлевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий в государственном управлении Института инновационных технологий и государственного управления ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). ResearcherID: AAA-8359-2019, <https://orcid.org/0000-0003-1965-5624>

Фам Ван Ты, аспирант кафедры метрологии и стандартизации Физико-технологического института ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78)

Нилов Михаил Юрьевич, аспирант кафедры метрологии и стандартизации Физико-технологического института ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). <https://orcid.org/0000-0002-3621-4671>

Агафонов Алексей Николаевич, ассистент кафедры компьютерной и информационной безопасности Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). <https://orcid.org/0000-0001-8312-3265>

About the authors:

Aleksandr N. Chesalin, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Computer and Information Security, Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). ResearcherID: D-8080-2019, <https://orcid.org/0000-0002-1154-6151>

Sergey Ya. Grodzenskiy, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Information Technologies in Public Administration of the Institute of Innovative Technologies and Public Administration, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). <https://orcid.org/0000-0003-1965-5624>, ResearcherID: AAA-8359-2019

Pham Van Tu, Postgraduate Student, the Department of Metrology and Standardization, Institute of Physics and Technology, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

Mikhail Yu. Nilov, Postgraduate Student, the Department of Metrology and Standardization, Institute of Physics and Technology, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). <https://orcid.org/0000-0002-3621-4671>

Aleksey N. Agafonov, Assistant of the Department of Computer and Information Security, Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). <https://orcid.org/0000-0001-8312-3265>

Поступила: 29.04.2020; получена после доработки: 12.06.2020; принята к опубликованию: 10.10.2020.