

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА ЗАПЫЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Громов Юрий Юрьевич¹
Макимова Елена Александровна²
Карасев Павел Игоревич²
Мустафа Абдулкадим Ал-Амееди¹

¹ Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

² МИРЭА - Российский технологический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В настоящей статье рассматривается система поддержки принятия решений (DSS), основанная на нечетких методах, применяемых для идентификации и обработки газодинамических изображений, полученных при мониторинге и управлении процессами подземной угольной шахтной атмосферы. DSS поддерживает решения оператора вентиляции в сложных и непредвиденных газодинамических ситуациях. В работе проанализирована количественная и качественная информация, используемая оператором вентиляции для принятия решений. На основании этих данных проведен анализ эффективности применения нечетких моделей и методов для интерпретации и обработки газодинамических изображений. Предложены нечеткие модели и методы интерпретации и обработки газодинамических изображений. В дальнейшем на основании данных моделей и методов будет разработано программное обеспечение поддержки принятия решений оператора.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, нечеткие методы, процессы мониторинга и управления подземными объектами.

USING A FUZZY PATTERN RECOGNITION METHOD TO MONITOR DUSTY ROOMS

Gromov Yuri Y.¹
Maksimova Elena A.²
Karasev Pavel I.²
Mustafa Abdulkadhim Al-Ameedee Dahir¹

¹ Tambov State Technical University, Tambov, Russia

² MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia

ABSTRACT

This article discusses a decision support system (DSS) based on fuzzy methods used to identify and process gas dynamic images obtained during monitoring and control of underground coal mine atmosphere processes. DSS supports ventilation operator solutions in complex and unforeseen gas dynamic situations. The work will analyze the quantitative and qualitative information used by the ventilation operator to make decisions. Based on these data, an analysis of the effectiveness of using fuzzy models and methods for interpreting and processing gas dynamic images will be carried out. Fuzzy models and methods of interpretation and processing of gas dynamic images will be proposed. In the future, based on these models and methods, the operator's decision support software will be developed.

Keywords: decision support system, fuzzy methods, monitoring and management processes of underground facilities.

Введение

С увеличением глубины подземных горных работ и технологических процессов также увеличиваются выбросы газа, температура пласта и газодинамическая активность, вызывая все большее число инцидентов. Именно поэтому непрерывный и активный мониторинг и контроль подземной атмосферы угольных шахт очень важен, а также способствует эффективному функционированию систем вентиляции и дегазации.

Постоянное совершенствование и модернизация автоматизированных систем управления вентиляцией (АСУВ) не могли исключить участия человека (оператора) в контуре управления. В результате в дополнение к традиционному программному обеспечению поддержки АСУВ была разработана система поддержки принятия решений (DSS) на основе обработки газодинамических изображений для поддержки решений оператора АСУВ в сложных и неожиданных газодинамических ситуациях в рабочем забое.

Теоретические основы и методы расчёта

Атмосфера угольных шахт чрезвычайно сложна для мониторинга и контроля. Сложность заключается в том, что объект никогда не может быть полностью наблюдаем и что большая часть получаемой информации является стохастической и неструктурированной. Измерения атмосферы угольных шахт чрезвычайно сложны для интерпретации из-за множества газодинамических ситуаций и их возникновения в рабочем забое подземных угольных шахт. Следовательно, это вызывает большие трудности в принятии эффективных решений и необходимых управляющих воздействиях операторов вентиляции.

С другой стороны, есть ряд опытных операторов и экспертов, которые способны интерпретировать сложные газодинамические ситуации и явления на основе своего большого опыта и знаний для принятия решений, используя только частичные измерения атмосферы угольных шахт.

Поддержка решений и принятие решений для мониторинга и контроля атмосферы угольных шахт - идеальная задача для искусственного

интеллекта (ИИ). А лучшим решением является система, обеспечивающая идентификацию газодинамических ситуаций в рабочем забое и предлагающая оператору вентиляции обоснованные предложения по возможным действиям [1, 2].

Традиционно и АСУВ, и оператор вентиляции выполняют функции контроля и управления. Задачи человека в процессе управления заключаются в (1) определении прогнозных уровней газосодержания в шахтной атмосфере, измеряемых активной автоматизированной системой газовой защиты (AGPS); (2) контроль за выполнением АСУВ; (3) оперативное принятие решений при возникновении нетипичных ситуаций; и (4) контроль за выполнением плана ликвидации аварии (ALP) при возникновении чрезвычайных ситуаций. DSS для операторов вентиляции была основана на газодинамической системе классификации изображений, которая была создана с использованием процедуры обработки газодинамических изображений [3].

Идея применения методов искусственного интеллекта в мониторинге и контроле атмосферы угольных шахт не была новой и оригинальной. В середине 1980-х годов в США и Великобритании были созданы три экспертные системы контроля концентрации метана и пыли [4]. В этот же период в России были созданы два прототипа экспертных систем контроля концентрации метана: первая базировалась на принципе ситуационного контроля в условиях неопределенности (ПРОВЕТРИВАНИЕ), а вторая - на анализе количественных признаков и экспертной оценке реализации газодинамических параметров (МЕТЭКС) [5, 6].

Однако идея применения нечетких методов к обработке газодинамических изображений была действительно новой и оригинальной. Модели и методы всех вышеперечисленных систем базировались на производственные и фреймвые представления знаний [7]. Нечеткие методы представления знаний никогда не использовались для мониторинга и управления шахтной атмосферой до создания системы, описанной в настоящей статье [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Должностная инструкция оператора вентиляции, связанная с мониторингом и контролем атмосферы угольных шахт, включает в себя следующие виды деятельности:

- наблюдение за газодинамическими ситуациями в рабочих забоях;
- идентификация параметров шахтной вентиляционной системы (MVS) для корректировки управления;
- определение причин вариаций газодинамических ситуаций;
- принятие решений в случае значительных отклонений по метану;
- управление аварийной вентиляцией;
- составление статистических отчетов.

Газодинамические ситуации, наблюдаемые оператором вентиляции в забое, коррелировали с большим количеством горно-геологических, горно-технологических и горнотехнических факторов.

Газодинамические ситуации в рабочем забое классифицировались как газодинамические процессы в MVS и аварийные ситуации.

Общая схема мониторинга и управления шахтной атмосферой в логическом формате может быть представлена так:

$$F1 \wedge F2 \wedge F3 \rightarrow F4 \wedge F5,$$

где $F1$ – горно-геологические параметры, $F2$ – параметры технологических процессов, $F3$ – технические параметры MSV, $F4$ – газодинамические процессы в MSV, $F5$ – аварийные ситуации.

Исходя из приведенной ниже схемы, деятельность оператора вентиляции производилась в логическом формате, который можно было бы рассматривать как определение возможных причин отклонений концентрации метана:

$$F2 \wedge F3 \rightarrow F4$$

Для принятия решения а, оператор вентиляции использует следующую информацию:

- записи концентрации метана, полученные (записанные) с различных точек рабочих забоев;
- информация о горных технологиях;

- планируемое и фактическое состояние горных работ;
- схемы вентиляции рабочего забоя и топологическая информация;
- размещение и расположение датчиков концентрации метана;
- информация о неисправностях в системах вентиляции и дегазации.

На основании этой информации можно было диагностировать оперативную обстановку в забое и выявить причины отклонений концентрации метана. По большей части единичные горно-технологические и технические факторы вызвали строго определенные классы явлений с определенными формами газодинамических спектров или газодинамических изображений, которые всегда наблюдались в записях концентрации метана.

Несколько примеров некоторых из этих газодинамических изображений представлены на рисунке 1.

Классы газодинамических изображений в записях концентрации метана были также совершенными инструментами, используемыми для разделения реальных явлений и нарушений, вызванных электронными устройствами и каналами связи.

Нечеткая классификация газодинамических ситуаций в рабочем забое разработана как система нечетких правил, связывающих множество газодинамических изображений ($S_i, i = [1, m]$) и их нечеткие атрибуты ($B_j, j = [1, n], B_j = [0; 1]$) с высоким максимальным значением функции доверия.

Например, ниже приведены несколько нечетких правил классификации, описывающих классы газодинамических изображений $S1 - S6$, показанных на рисунке 1:

$$B1 [0.5 - 0.6] \wedge B2 [0.5 - 0.6] \wedge B3 [0.5 - 0.6] \wedge B4 [0.1 - 0.6] \wedge B5 [0.1 - 0.2] \wedge B6 [0.9 - 1] \rightarrow S1 [0.9 - 1];$$

$$B1 [0.5 - 0.6] \wedge B2 [0 - 0.1] \wedge B3 [0 - 0.3] \wedge B4 [0.1 - 0.3] \wedge B5 [0.3 - 0.4] \wedge B6 [0 - 0.1] \rightarrow S2 [0.9 - 1];$$

$$B1 [0.8 - 0.9] \wedge B2 [0.2 - 0.4] \wedge B3 [0.2 - 0.3] \wedge B4 [0.2 - 0.3] \wedge B5 [0.2 - 0.3] \wedge B6 [0 - 0.1] \rightarrow S3 [0.9 - 1];$$

$$B1 [0.9 - 1.0] \wedge B2 [0 - 0.2] \wedge B3 [0 - 0.3] \wedge B4 [0.1 - 0.2] \wedge B5 [0 - 0.3] \wedge B6 [0 - 0.1] \rightarrow S4 [0.9 - 1];$$

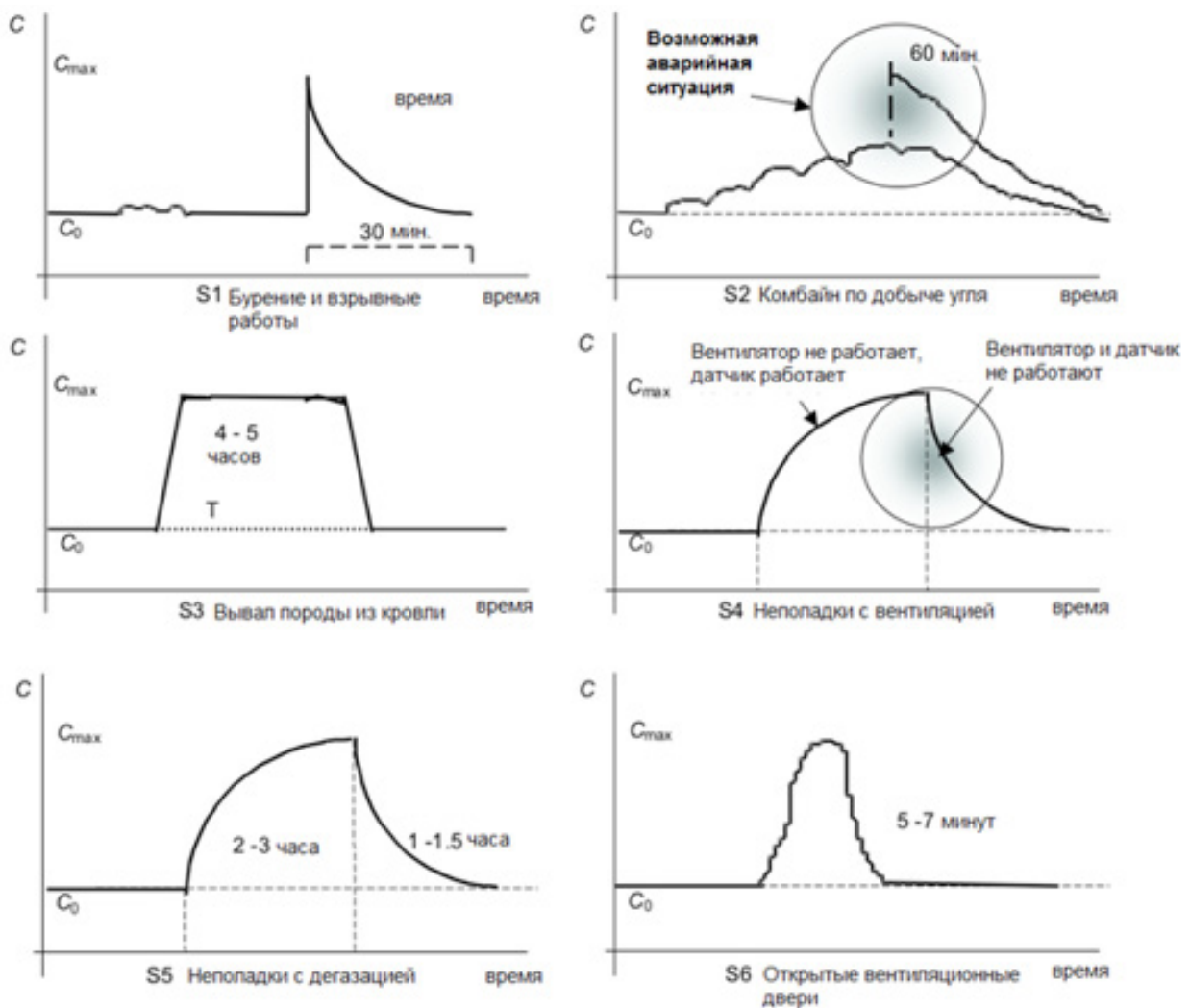


Рисунок 1 – Примеры газодинамических изображений

$$B1 [0.5 - 0.9] \wedge B2 [0.8 - 1.0] \wedge B3 [0.5 - 0.6] \wedge B4 [0.4 - 0.6] \wedge B5 [0.1 - 0.7] \wedge B6 [0 - 1] \rightarrow S5 [0.9 - 1];$$

$$B1 [0.8 - 1.0] \wedge B2 [0.3 - 0.5] \wedge B3 [0.1 - 0.6] \wedge B4 [0.4 - 0.7] \wedge B5 [0.5 - 0.8] \wedge B6 [0 - 1] \rightarrow S6 [0.9 - 1].$$

Применение нечеткой модели (FM) для интерпретации и обработки газодинамических изображений было предпочтительным по следующим причинам:

- концентрация метана, полученная из рабочего забоя, была стохастической;
- сложные газодинамические ситуации не были полностью идентифицированы в записях концентрации метана;
- записи помех в сочетании с записями концентрации метана создавали трудности в идентификации и обработке газодинамических изображений;

- экспертные знания, обеспечивающие возможность оценки параметров модели на основе частичных измерений [9].

Развитие традиционных FM для газодинамической интерпретации и обработки изображений шло по нескольким направлениям:

- в модель введены вектор газодинамических изображений и вектор атрибутов: $S_i, i = [1, m], B_j, j = [1, n], B_j = [0; 1]$;
- в модель введена матрица маскировки атрибутов:

$$v(S_i \rightarrow B_j^*) = R_{ij}^*$$

- введены матрицы минимального и максимального влияния газодинамических изображений на атрибуты вместо матриц влияния и отношений:

$$v(S_i \rightarrow B_j) = R_{ij}$$

– в список газодинамических изображений добавлены предыдущие газодинамические ситуации, если они считались причиной появления атрибутов;

– учитывалась расширенная экспертная информация.

Система нечеткой идентификации основана на обработке газодинамических изображений и атрибутов; матрицы минимального и максимального влияния и маскировки [10].

Вспомогательными нечеткими аксиомами интерпретации и обработки газодинамических изображений были следующие:

1. Если есть причина для появления, атрибут не отображается в модели:

$$\neg \vee (S_i \wedge (S_i \rightarrow B_j)) \supset (\neg B_j \wedge \neg TB_j), 1 \leq i < m, 1 \leq j \leq n..$$

2. Если есть причины для появления атрибута и нет оснований для маскировки, атрибут появляется в модели:

$$\vee (S_i \wedge (S_i \rightarrow B_j)) \wedge \neg (S_i \wedge (S_i \rightarrow B_j)) \supset (B_j \wedge \neg TB_j), 1 \leq i < m, 1 \leq j \leq n.$$

3. Цепочки импликаций между причинами являются результатом корреляций между причинами:

$$\vee (S_i \wedge (S_i \rightarrow B_j)) \wedge \neg (S_i \wedge (S_i \rightarrow B_j)) \supset (B_j \wedge \neg TB_j), 1 \leq i < m, 1 \leq j \leq n.$$

Глобальная аксиома была создана пересечением системы вышеупомянутых аксиом:

$$G \equiv \wedge (E_j \wedge F_j), 1 \leq j \leq n.$$

Функция доверия в этой FM является функцией межсетевое распределения между газодинамическими изображениями и атрибутами и является аналогом функции максимального правдоподобия в статистике.

$$v(G) = \phi(s, b, r),$$

где $v(S_i) = s_i, v(B_j) = b_j, v(S_i \rightarrow B_j) = R_{ij}$

Таким образом, была разработана базовая нечеткая модель интерпретации и обработки газодинамических изображений для получения решений для следующих экстремумов:

$$d(b) = \max \phi(s, b, r)$$

$$s_i(b) = \max \{s_i : \phi(s, b, r) = d(b)\}$$

$$s_i(b) = \max \{s_i : \phi(s, b, r) = d(b)\}$$

Или, другими словами, для заданного вектора $b = (b_1, \dots, b_n), 0 \leq b_j \leq 1, 1 \leq j \leq n$, необходимо было:

1. Определить такое максимальное значение функции доверия $d, 0 \leq d \leq 1$, для которого система уравнений max-min имела хотя бы одно решение $s = (s_1, \dots, s_m), r = [r_{ij}]$ в интервале

$$0 \leq s_i \leq 1, r'_{ij} \leq r_{ij} < r''_{ij}, 1 < i < m, b_j - (1-d) \leq \max \min (s_i, r_{ij}), 1 < j < n, 1 < i < m, \min \{ \max \min (s_i, r_{ij}), 1 - \max \min (s_i, r^*_{ij}) \} \leq b_j + (1-d), 1 \leq i \leq m.$$

2. Определить точные минимальные и максимальные предельные значения координат системы, которые соответствуют максимальному значению функции доверия $d = d_{max}$.

В разработанной DSS использовались механизмы вывода с прямой цепочкой (т. е. от атрибутов к газодинамическим изображениям) и с обратной цепочкой (т. е. от результатов интерпретации к первичным газодинамическим данным).

Методы DSS сильно отличались от традиционных, в которых результат мог быть получен на основе атрибутов с использованием только отдельных причин. Преимущество разработанных нечетких методов было достигнуто за счет использования составных, а не единичных правил обработки.

Заключение

1. Была проанализирована количественная и качественная информация, используемая оператором вентиляции для принятия решений. Этот анализ доказал эффективность применения нечетких моделей и методов для интерпретации и обработки газодинамических изображений.

2. Разработаны нечеткие модели и методы интерпретации и обработки газодинамических изображений.

3. Построена DSS для оператора вентиляции. Программы написаны на Python для среды Linux.

4. Эффективность DSS для оператора вентиляции подтверждена положительными результатами. Лабораторные испытания включали

многократную экспертную оценку и обработку газодинамических изображений с целью выявления причин значительных колебаний наблюдаемых газодинамических параметров в атмосфере угольных шахт.

Список литературы

1. Аждер Т.Б., Гуреева О.А. Системы поддержки принятия решений и информационные системы // Уральский научный вестник. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 46-48. – EDN GKFBGV.

2. Iskra N. A., Iskra V., Lukashevich M. Neural network based image understanding with ontological approach // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. – 2019. – No. 3. – P. 113-122. – EDN DVIKMR.

3. Оценка эффективности методического и алгоритмического обеспечения системы поддержки принятия решений специального назначения / Р. В. Допира, А. Н. Потапов, Д. Ю. Брежнев [и др.] // Программные продукты и системы. – 2019. – № 2. – С. 273-282. – EDN ECHWVQ.

4. Voskoboynikov Yu.E. A locally adaptive wavelet filtering algorithm for images // Analysis and Data Processing Systems. – 2023. – No. 1(89). – P. 25-36. – DOI 10.17212/2782-2001-2023-1-25-36. – EDN GDNRIB.

5. Горбина Е.В., Кот М.А. Особенности использования корреляционных взаимосвязей для анализа экспериментальных данных // Традиции и инновации в современной науке: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, Москва, 30 ноября 2016 года. – М.: Научный центр «Олимп», 2016. – С. 85-87. – EDN XRTORJ.

6. Локшина И.В., Инсинга Р.С. Разработка моделей и алгоритмов интеллектуальной системы поддержки решений оператора вентиляции угольной шахты. – Москва, 1995.

7. Nagaytsev I.V. Classification of typical technological processes using neural networks // The World of Science without Borders: Proceedings of the 10th All-russian scientific and practical conference (with international participation) for young researchers, Tambov, 21 апреля 2023 года. – Tambov: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский

государственный технический университет», 2023. – P. 237-239. – EDN DXXETK.

8. Боженко П.П., Стативко Р.У. Краткая характеристика нейронных сетей. Реализация расширяемой нейронной сети // Вестник молодёжной науки России. – 2019. – № 5. – С. 1. – EDN SDFVWR.

9. Sherstneva Yu.G., Dmitriev V.D. The use of neural networks in high-tech areas // Решетневские чтения: Материалы XXVI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2-х частях, Красноярск, 09–11 ноября 2022 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Vol. Часть 2. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2022. – P. 196-198. – EDN MEMYPU.

10. Шляхова Н.И. Метод построения функций принадлежности нечетких множеств на основе модификации метода попарных сравнений и прямого группового метода // Актуальные проблемы современной науки: IV Международная научно-практическая конференция, Алушта, 27–30 апреля 2015 года. Том Выпуск 4, Том 2. – Алушта: Ставропольский университет, 2015. – С. 285-287. – EDN UECTDL.

References

1. Azder T.B., Gureeva O.A. Decision support systems and information systems // Ural Scientific Bulletin. – 2019. – Vol. 6, No. 3. – pp. 46-48. – EDN GKFBGV.

2. Iskra N.A., Iskra V., Lukashevich M. Neural network based image understanding with ontological approach // Open semantic technologies for designing intelligent systems. – 2019. – No. 3. – P. 113-122. – EDN DVIKMR.

3. Evaluation of the effectiveness of methodological and algorithmic support for a special-purpose decision support system / R. V. Dopira, A. N. Potapov, D. Yu. Brezhnev [et al.] // Software products

and systems. – 2019. – No. 2. – pp. 273-282. – EDN ECHWVQ.

4. *Voskoboinikov Yu. E.* A locally adaptive wavelet filtering algorithm for images // *Analysis and Data Processing Systems.* – 2023. – No. 1(89). – P. 25-36. – DOI 10.17212/2782-2001-2023-1-25-36. – EDN GDNRIB.

5. *Gorbina E.V., Kot M.A.* Features of the use of correlation relationships for the analysis of experimental data // *Traditions and innovations in modern science: Collection of materials of the XVI International Scientific and Practical Conference, Moscow, November 30, 2016.* – Moscow: Scientific Center “Olympus”, 2016. – pp. 85-87. – EDN XRTORJ.

6. *Lokshina I.V., Insinga R.S.* Development of models and algorithms of an intelligent decision support system for a coal mine ventilation operator. – Moscow, 1995.

7. *Nagaytsev I.V.* Classification of typical technological processes using neural networks // *The World of Science without Borders: Proceedings of the 10th All-russian scientific and practical conference (with international participation) for young researchers, Tambov, April 21, 2023.* – Tambov: Publishing Center of Tambov State Technical University, 2023. – P. 237-239. – EDN DXXETK.

8. *Bozhenko P.P., Stativko R.U.* Brief description of neural networks. Implementation of an extensible neural network // *Bulletin of Youth Science of Russia.* – 2019. – No. 5. – p. 1. – EDN SDFVWR.

9. *Sherstneva Yu.G., Dmitriev V.D.* The use of neural networks in high-tech areas // *Reshetnev readings: Materials of the XXVI International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of the General designer of rocket and Space Systems, Academician M.F. Reshetnev. In 2 parts, Krasnoyarsk, November 09-11, 2022 / Under the general editorship of Yu.Yu. Loginov. Vol. Part 2.* – Krasnoyarsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev”, 2022. – P. 196-198. – EDN MEMYPU.

10. *Shlyakhova N.I.* Method of constructing membership functions of fuzzy sets based on modification of the method of pairwise comparisons and the direct group method // *Actual problems of modern science : IV International Scientific and Practical Conference, Alushta, April 27-30, 2015. Volume Issue 4, Volume 2.* – Alushta: Stavropol University, 2015. – pp. 285-287. – EDN UECTDL.

*Статья поступила в редакцию 11 февраля 2024 г.
Принята к публикации 30 марта 2024 г.*

Ссылка для цитирования: Громов Ю.Ю., Максимова Е.А., Карасев П.И., Мустафа А.А. Использование нечеткого метода распознавания образов для мониторинга запыленных помещений // *Национальная безопасность и стратегическое планирование.* 2024. № 1(45). С. 66-73. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2024-1-66-73>

For citation: Gromov Y.Y., Maksimova E.A., Karasev P.I., Mustafa A.A.D. Using a fuzzy pattern recognition method to monitor dusty rooms // *National security and strategic planning.* 2024. № 1(45). pp. 66-73. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2024-1-66-73>

Сведения об авторах:

ГРОМОВ ЮРИЙ ЮРЬЕВИЧ – доктор технических наук, профессор, директор института информатики и информационных технологий Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3313-2731>

SPIN-код: 2852-2633

e-mail: tstu_fit@mail.ru

МАКСИМОВА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационно-аналитические системы кибербезопасности» Института кибербезопасности и цифровых технологий Российского технологического университета МИРЭА, г. Москва, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8788-4256>

SPIN-код: 6876-5558

e-mail: maksimova@mirea.ru

КАРАСЕВ ПАВЕЛ ИГОРЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры КБ-1 «Защита информации» Института кибербезопасности и цифровых технологий Российского технологического университета МИРЭА, г. Москва, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3628-6980>

SPIN-код: 5033-6943

e-mail: karasevpav@rambler.ru

МУСТАФА АБДУЛКАДИМ АЛ-АМЕЕДИ – аспирант института информатики и информационных технологий Тамбовского государственного технического университета, г. Тамбов, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1066-6650>

e-mail: fit_tstu@mail.ru

Information about the authors:

GROMOV YURI Y. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Informatics and Information Technologies, Tambov State Technical University, Tambov, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3313-2731>

SPIN: 2852-2633

e-mail: tstu_fit@mail.ru

MAKSIMOVA ELENA A. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information and Analytical Systems of Cybersecurity at the Institute of Cybersecurity and Digital Technologies of the Russian Technological University MIREA, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8788-4256>

SPIN: 6876-5558

e-mail: maksimova@mirea.ru

KARASEV PAVEL I. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of KB-1 “Information Protection” of the Institute of Cybersecurity and Digital Technologies of the Russian Technological University MIREA, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3628-6980>

SPIN: 5033-6943

e-mail: karasevpav@rambler.ru

MUSTAFA ABDULKADHIM AL-AMEEDEE DHAHIR – PhD student at the Institute of Informatics and Information Technologies of Tambov State Technical University, Tambov, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1066-6650>

e-mail: fit_tstu@mail.ru