

Сравнительная оценка обоснованности принимаемых решений при реагировании на угрозы лесных пожаров при использовании систем поддержки принятия решений

Д.В. Медведев, А.В. Матвеев

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: Поддержка принятия решений при реагировании на лесные пожары является сложным многокритериальным процессом. В настоящей статье проведена сравнительная оценка обоснованности принимаемых решений с использованием трех инструментов поддержки принятия решений. Для оценки были использованы метод анализа иерархий, метода аналитических сетей и метода TOPSIS. В качестве критериев обоснованности были рассмотрены неопределенность, объем и степень разнородности учитываемых данных при принятии решений. Проведенные исследования доказали возможность применения разработанной авторами интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений при реагировании на угрозы лесных пожаров, а также повышение их обоснованности по сравнению с другими инструментами.

Ключевые слова: многокритериальная оценка, лесные пожары, обоснованность, интеллектуальная система поддержки принятия решений.

Введение

Обоснованность управленческих решений при реагировании на угрозы лесных пожаров предполагает наличие у лиц, принимающих решения (ЛПР), объективной, своевременной и полной информации о текущей и прогнозируемой обстановке, а также использование адекватных моделей при выборе оптимальных сценариев действий. Принятие решений осложняется сочетанием большого количества разнородных факторов: географических, климатических, организационных, социально-экономических и правовых, многие из которых носят при этом неопределенный характер.

В процессе принятия управленческих решений одним из ключевых этапов является оценка и выбор доступных альтернатив на основании цели и критериев, определяющих предпочтительность альтернатив [1,2]. Критерии, используемые при принятии решений, зачастую являются конкурирующими между собой, усложняя процесс выбора [3, 4].

Ранее авторами был предложен подход и разработаны алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при угрозах лесных пожаров на основе методов глубоких нейронных деревьев с нечётким выводом [5, 6]. Данные алгоритмы были реализованы в виде интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений (ИСППР) [7].

Целью настоящего исследования является оценка обоснованности принимаемых решений при реагировании на угрозы лесных пожаров при использовании разработанной ИСППР (A1) в сравнении с двумя другими альтернативными инструментами – на основании экспертных решений (A2) и с применением системы «Лесохранитель» (A3) [8]. Критериями обоснованности при оценке в работе рассматриваются: степень неопределенности (N), объем используемых при принятии решений данных (V), степень разнородности учитываемых данных (R).

Методы исследования

Для оценки обоснованности решений, полученных с использованием предлагаемых инструментов, будут применены три подхода многокритериального анализа решений: метод анализа иерархий (МАИ) [9], метод аналитических сетей (МАС) [10], метод TOPSIS [11].

1. Метод анализа иерархий

Основной особенностью данного метода является представление проблемы в виде иерархической структуры (рисунок 1), содержащей не менее трех уровней [12].

Для оценки альтернатив и критериев обоснованности использовалась единая шкала для всех подходов – шкала Лайкерта: 1 – не предпочтительно; 2 – в некоторой степени не предпочтительно; 3 – не определено; 4 – в некоторой степени предпочтительно; 5 – предпочтительно.

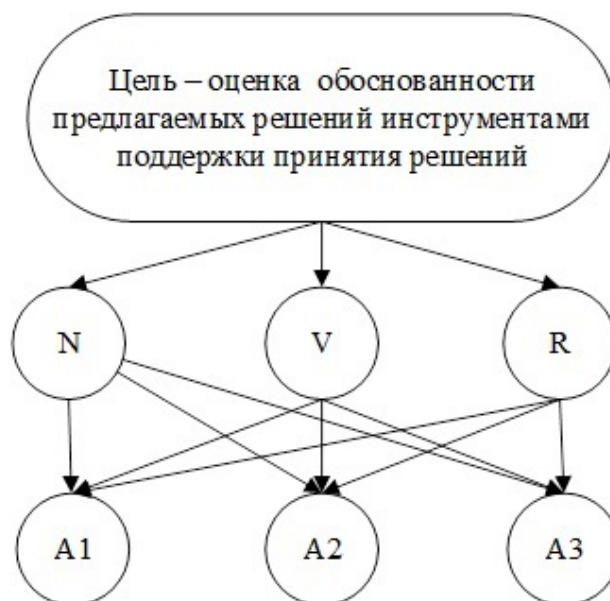


Рис. 1. – Структура МАИ

Применение МАИ включало три базовых этапа этапов:

- парные сравнения критериев по степени важности (таблица № 1);
- сравнение альтернатив по каждому критерию (таблица № 2);
- расчёт приоритетов и агрегирование результатов оценки (в исследовании было проведено с помощью библиотеки ruapr языка программирования Python).

Таблица № 1

Попарная оценка значимости критериев обоснованности

Обоснованность	Неопределенность	Объем данных	Разнородность данных
Неопределенность	1	2	4
Объем данных	0,5	1	0,33
Разнородность данных	0,25	3	1

МАИ позволяет с привлечением экспертов провести оценку предпочтительности альтернатив с помощью попарных сравнений как

критериев, так и альтернатив. Однако данный подход не учитывает взаимосвязи между элементами одного уровня иерархии, то есть делается предположение, что критерии и альтернативы не коллинеарны между собой.

Таблица № 2

Попарная оценка инструментов по каждому критерию

Критерий	Инструменты	ИСППР	Экспертная система	Лесохранитель
Неопределенность	ИСППР	1	3	4
	Экспертная система	0,33	1	0,5
	Лесохранитель	0,25	2	1
Объем данных	ИСППР	1	5	3
	Экспертная система	0,2	1	0.4
	Лесохранитель	0,33	2,5	1
Разнородность данных	ИСППР	1	5	4
	Экспертная система	0,2	1	0.8
	Лесохранитель	0,25	1,25	1

2. Метод аналитических сетей

Данный метод является модификацией МАИ, позволяя учитывать зависимости между критериями и альтернативами.

Структура сети представлена на рисунке 2.

Исходя из представленной структуры основным отличием от МАИ является наличие связей между критерием неопределенности и двумя другими критериями обоснованности, а также наличие связей между

альтернативной использования экспертные знания и двумя другими альтернативами (использования ИСППР и системы «Лесохранитель»). Наличие представленных связей объясняется предполагаемым воздействием объема обрабатываемых данных, а также количества учитываемых факторов, входящих в признаковое пространство, на степень неопределенности, и наличием в ИСППР, а также системе «Лесохранитель» элементов экспертных знаний. В остальном реализации МАС предполагает идентичную последовательность действий при определении приоритетности инструментов.

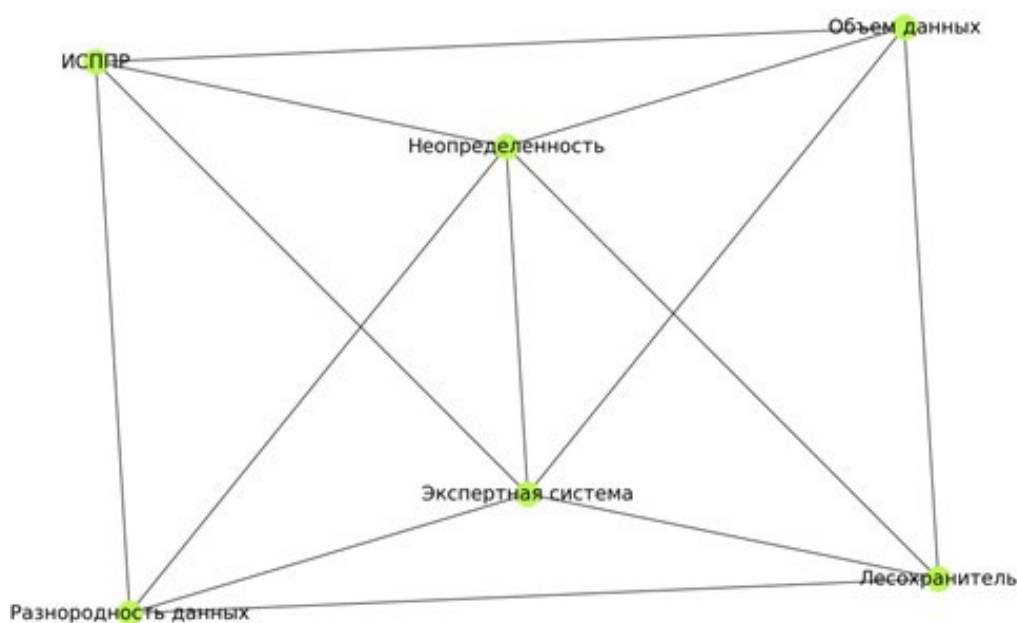


Рис. 2. – Граф связей узлов сети

3. Метод TOPSIS

Данный метод предполагает определение идеального и неприемлемого решения, вычисление близости к этим решениям и ранжирование альтернатив на основании значения близости к идеальному решению.

Оценка альтернатив по каждому критерию, а также веса самих критериев определяются с привлечением экспертов. В таблице № 3 приведена экспертная оценка по шкале Лайкерта.

Таблица №3

Экспертная оценка альтернатив

Критерии Инструменты	Неопределенность	Объем данных	Разнородность данных
ИСППР	2	5	3
Экспертная система	3	2	4
Лесохранитель	3	4	3

При этом значение критерия неопределенности необходимо минимизировать, остальные критерии – максимизировать. Веса критериев были заданы с использованием экспертной оценки: неопределенность – 0.4; объем данных – 0.25; разнородность данных – 0.35.

Метод не позволяет учитывать зависимости между критериями, однако позволяет оценить близость как идеальному решению, а также расстояние до неприемлемого решения.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате реализации МАИ были получены показатели предпочтительности использования инструментов поддержки принятия решений при реагировании на угрозы лесных пожаров с целью повышения их обоснованности, представленные на рисунке 3.

Результаты реализации МАС представлены на рис. 4.

Результаты реализации метода TOPSIS представлены на рис. 5 и характеризуют относительную близость до идеального и неприемлемого решения для каждой из трех альтернатив.

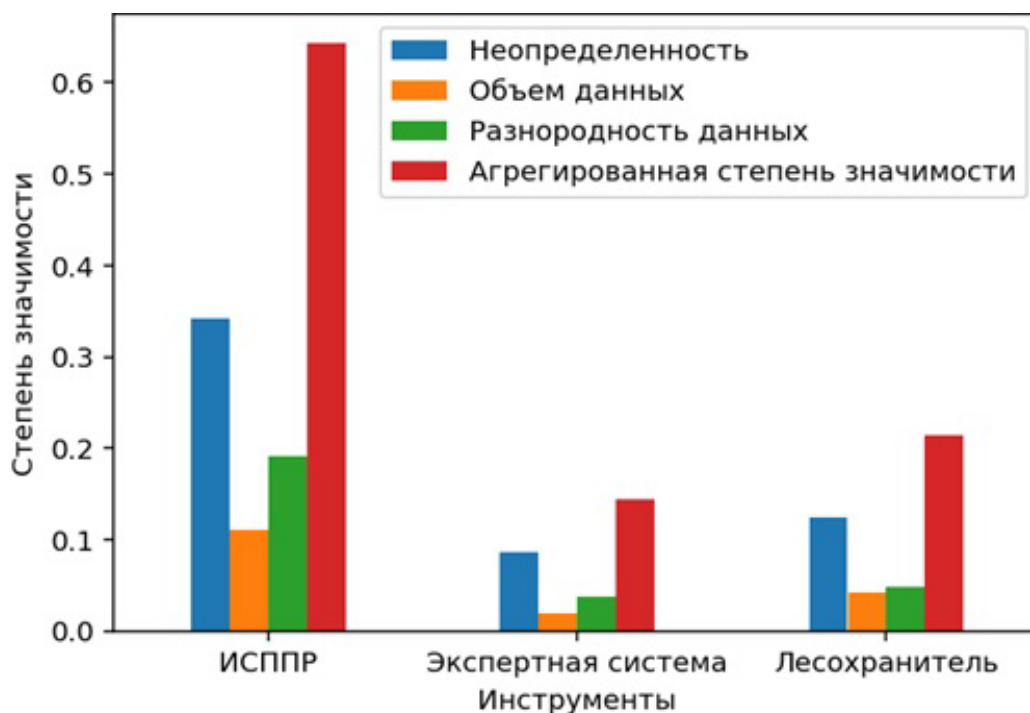


Рис. 3. – Оценка степени предпочтительности инструментов на основе МАИ

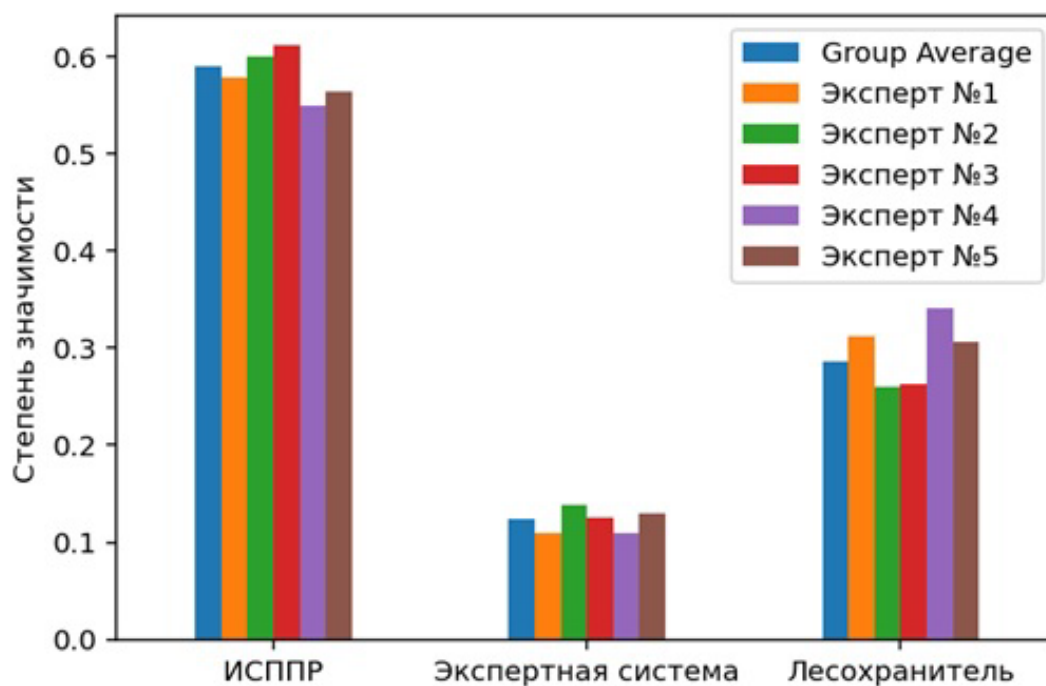


Рис. 4. – Оценка степени предпочтительности инструментов на основе МАС

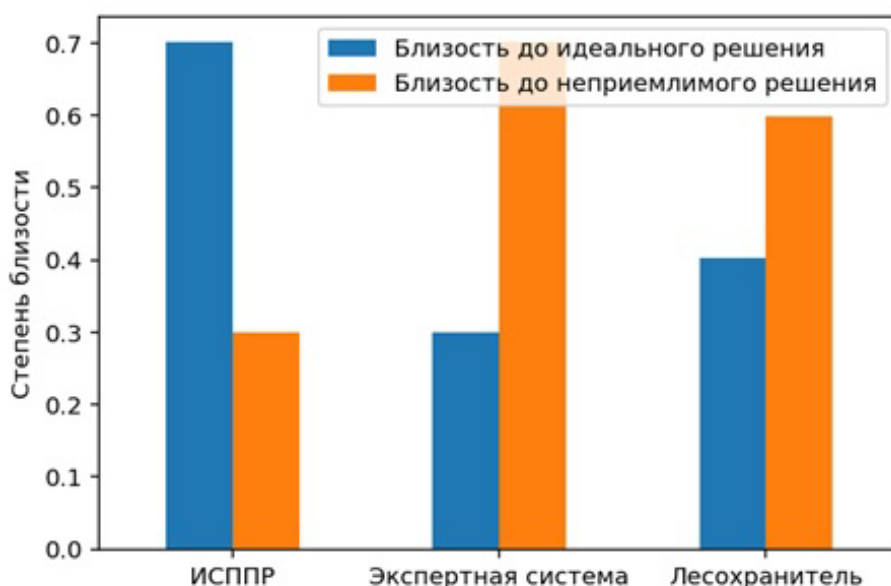


Рис. 5. – Степени близости инструментов метод TOPSIS

Сводные результаты реализации трех методов многокритериального анализа обоснованности принимаемых решений при реагировании на угрозы лесных пожаров при использовании различных инструментов поддержки принятия решений представлены на рис. 6.

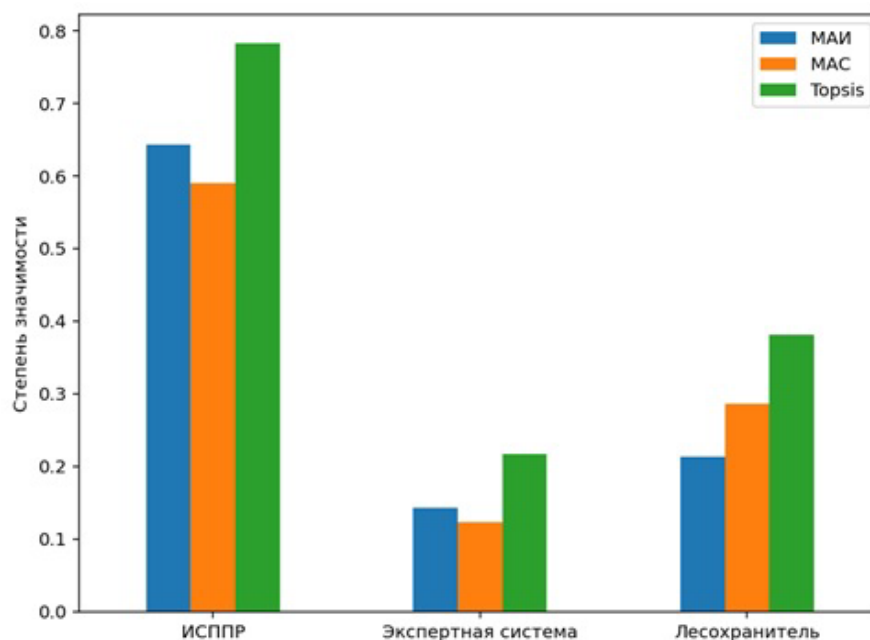


Рис. 6. – Сводные результаты оценки инструментов поддержки принятия решений

Результаты позволяют сделать вывод о том, что разработанная ИСППР является наиболее предпочтительным инструментом, позволяющим получить наиболее обоснованные решения при принятии управленческих решений.

Заключение

Выбор инструмента поддержки принятия решений при реагировании на лесные пожары является важным этапом подготовки органов управления к эффективному реагированию на возникающие угрозы [13, 14]. В работе рассмотрены три подхода многокритериальной оценки инструментов с точки зрения обоснованности принимаемых управленческих решений. Обоснованность решений является одним из основных критериев, обеспечивающих адекватность принимаемых мер.

Проведенное исследование показало, что применение разработанной ИСППР при реагировании на угрозы лесных пожаров [7] обладает наибольшей предпочтительностью с точки зрения обоснованности принимаемых решений. В ИСППР использован гибридный подход, сочетающий методы глубоких нейронных деревьев и нечеткой логики для поддержки принятия решений на стратегическом и тактическом уровнях управления. Методы машинного обучения применены для прогнозирования ключевых параметров лесных пожаров (площадь, длительность ликвидации, расстояние до населённых пунктов, количество привлекаемых сил и средств), а аппарат нечеткой логики – для формирования обоснованных управленческих рекомендаций на основе прогнозных данных. Реализация ИСППР обеспечивает автоматизацию обработки исходных данных, прогнозирование показателей эффективности реагирования, определение рекомендуемых управленческих решений для Комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности.

Литература

1. Бурков В.Н., Буркова И.В., Коргин Н.А., Щепкин А.В. Модели согласованного комплексного оценивания в задачах принятия решений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20, № 2. С. 5-13. DOI: 10.14529/ctcr200201. EDN TRKXKU.
2. Чхартишвили А.Г. Модели согласованного информационного управления // Материалы конференции "Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах ", Санкт-Петербург, 09–11 октября 2012 года / Под редакцией С.Н. Васильева, И.А. Каляева, Д.А. Новикова, Г.Г. Себрякова. СПб: ЦНИИ "Электроприбор", 2012. С. 1134-1137. EDN SHIXIP.
3. Ali R., Hussain A., Nazir Sh., Khan S., Khan H.U. Intelligent Decision Support Systems—An Analysis of Machine Learning and Multicriteria Decision-Making Methods // Applied Sciences (Switzerland). 2023. Vol. 13, No. 22. P. 12426. DOI: 10.3390/app132212426. – EDN YHCARK.
4. Hassani H., Razavi-Far R., Saif M. Fault Location in Smart Grids Through Multicriteria Analysis of Group Decision Support Systems // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2020. Vol. 16, No. 12. pp. 7318-7327. DOI: 10.1109/tii.2020.2977980. EDN GUDIFT.
5. Медведев Д.В., Матвеев А.В. Информационная модель поддержки принятия решений по реагированию на ландшафтные пожары // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1(36). С. 117-125. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.22.36.011. EDN PKSBTR.
6. Медведев Д.В., Матвеев А.В. Алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при угрозах лесных пожаров // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского

университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2025. № 2. С. 35-48. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-2-35-48. EDN OKGHLE.

7. Медведев Д.В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при реагировании угрозы ландшафтных пожаров. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025663144, Дата регистрации: 11.06.2025. Заявка № 2025665176 от 29.05.2025. Опубликовано: 11.16.2025. Бюл. № 06. URL: fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=PrEVM&id=A46BF11E-5613-419C-BF83-5C4EE5A874F6

8. Коновалов А.С. Совершенствование организации связи в системе мониторинга лесопожарной обстановки // Информатизация и связь. 2024. № 2. С. 56-59. DOI: 10.34219/2078-8320-2024-15-2-56-59. EDN BRCSCI.

9. Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С. К вопросу оценки эффективности автоматизированных систем с использованием метода анализа иерархий // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25, № 3. С. 161-178. DOI: 10.14357/08696527150310. EDN UMULUB.

10. Середкин К.А. О границах применимости метода аналитических сетей в задачах принятия решений в естественных науках // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 2. С. 95-102. DOI: 10.14357/20718594180208. EDN USBLEW.

11. Çelikbilek Y., Tüysüz F. An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An experimental analysis // Journal of Management Analytics. 2020. V. 7. No. 2. P. 281-300. DOI: 10.1080/23270012.2020.1748528

12. Лабинский А.Ю., Моторыгин Ю.Д., Шестаков А.В. Поддержка принятия решений в условиях риска чрезвычайных ситуаций на основе анализа неструктурированных данных // Инженерный вестник Дона. 2024. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9560.

13. Максимов А.В. Методы поддержки принятия решений в оперативном управлении при чрезвычайных ситуациях: обзор исследований // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 2(42). С. 91-102. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-91-102. EDN CJCPWN.

14. Лабинский А.Ю., Бородушко И.В., Таранцев А.А. Поддержка принятия управленческих решений при рисках чрезвычайных ситуаций на основе применения методов анализа многомерных статистических данных // Инженерный вестник Дона. 2023. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8745.

References

1. Burkov V.N., Burkova I.V., Korgin N.A., Shchepkin A.V. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika. 2020. T. 20, № 2. pp. 5-13. DOI: 10.14529/ctcr200201. EDN TRKXKU.

2. Chxartishvili A.G. Materialy` konferencii Upravlenie v texnicheskix, e`rgaticheskix, organizacionny`x i setevy`x sistemax, Sankt-Peterburg, 09–11 oktyabrya 2012 goda. Pod redakciej S.N. Vasil`eva, I.A. Kalyaeva, D.A. Novikova, G.G. Sebyakova. SPb: Cznii E`lektropribor, 2012. pp. 1134-1137. EDN SHIXIP.

3. Ali R., Hussain A., Nazir Sh., Khan S., Khan H.U. Applied Sciences (Switzerland). 2023. Vol. 13, No. 22. P. 12426. DOI: 10.3390/app132212426. EDN YHCARK.

4. Hassani H., Razavi-Far R., Saif M. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2020. Vol. 16, No. 12. pp. 7318-7327. DOI: 10.1109/tii.2020.2977980. EDN GUDIFT.

5. Medvedev D.V., Matveev A.V. Sibirskij pozharno-spasatel`ny`j vestnik. 2025. № 1(36). pp. 117-125. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.22.36.011. EDN PKSBTR.

6. Medvedev D.V., Matveev A.V. Nauchno-analiticheskij zhurnal Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` MChS Rossii. 2025. № 2. pp. 35-48. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-2-35-48. EDN OKGHLE.

7. Medvedev D.V. Intellektual'naya sistema podderzhki prinyatiya reshenij pri reagirovanii ugrozy landshaftnyh pozharov. [An intelligent decision support system for responding to the threat of landscape fires]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2025663144, Data registracii: 11.06.2025. Zayavka № 2025665176 ot 29.05.2025. Opublikovana: 11.16.2025. Byul. № 06. URL: fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=PrEVM&id=A46BF11E-5613-419C-BF83-5C4EE5A874F6.

8. Konovalov A.S. Informatizaciya i svyaz`. 2024. № 2. pp. 56-59. DOI: 10.34219/2078-8320-2024-15-2-56-59. EDN BRCSCI.

9. Zaczarinny`j A.A., Ionenkov Yu.S. Sistemy` i sredstva informatiki. 2015. T. 25, № 3. pp. 161-178. DOI: 10.14357/08696527150310. EDN UMULUB.

10. Seredkin K.A. Iskusstvenny`j intellekt i prinyatie reshenij. 2018. № 2. pp. 95-102. DOI: 10.14357/20718594180208. EDN USBLEW.

11. Çelikbilek Y., Tüysüz F. Journal of Management Analytics. 2020. V. 7. No. 2. pp. 281-300. DOI: 10.1080/23270012.2020.1748528

12. Labinskij A.Yu., Motory`gin Yu.D., Shestakov A.V. Inzhenerny`j vestnik Dona. 2024. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9560.

13. Maksimov A.V. Nacional`naya bezopasnost` i strategicheskoe planirovanie. 2023. № 2(42). pp. 91-102. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-91-102. EDN CJCPWN.

14. Labinskij A.Yu., Borodushko I.V., Tarancev A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8745.

Дата поступления: 19.08.2025

Дата публикации: 25.09.2025