

УДК 614.84  
DOI 10.48612/ntp/7akt-7v5z-z6au

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ

Е. А. ШВАРЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново  
E-mail: e\_shvarev@inbox.ru

В статье представлен обзор научных работ, посвященных методам прогнозирования и анализа параметров временных рядов, характеризующих состояние системы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации. С учетом специфики имеющегося временного ряда для моделирования обстановки с пожарами был выбран метод прогнозирования Хольта-Винтерса и разработана математическая прогнозная модель обстановки с пожарами на территории Российской Федерации на основании статистических данных. Моделирование выполнено с учетом трендовой и сезонной составляющей в три этапа. На первом этапе на основании имеющихся статистических данных о количестве пожаров, произошедших в 2020–2023 гг. на территории Российской Федерации, разработана математическая модель. Она была оптимизирована путем варьирования параметров по критерию минимизации ошибки прогнозирования. На втором этапе было выполнено помесячное прогнозирование на период с января по декабрь 2024 года. На третьем этапе была выполнена проверка адекватности разработанной модели путем сравнения прогнозных значений с фактическими значениями временного ряда. Средняя относительная ошибка разработанной прогнозной модели составила 0,05, что свидетельствует о возможности применения данной модели для целей прогнозирования обстановки с пожарами.

**Ключевые слова:** обстановка с пожарами, прогнозирование, математическая модель.

## IMPROVING METHODS FOR FORECASTING FIRE-RELATED SITUATIONS

Е. А. SHVAREV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education  
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation  
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,  
Russian Federation, Ivanovo  
E-mail: e\_shvarev@inbox.ru

The article presents an overview of scientific works devoted to methods of forecasting and analysis of time series parameters characterizing the state of the fire safety system in the Russian Federation. Taking into account the specifics of the available time series, the Holt-Winters forecasting method was chosen for modeling the fire situation, and a mathematical forecasting model of the fire situation in the Russian Federation was developed based on statistical data. The modeling was performed in three stages, taking into account the trend and seasonal components. At the first stage, a mathematical model was developed based on available statistical data on the number of fires that occurred in the Russian Federation in 2020-2023. The developed model was optimized by varying the model parameters to minimize the prediction error. At the second stage, a monthly forecast was made for the period from January to December 2024. At the third stage, the adequacy of the developed model was checked by comparing the forecast values with the actual values of the time series. The error of the developed forecast model was 0,05, which indicates that this model can be used for forecasting fire situations.

**Key words:** fire situation, forecasting, mathematical model.

## Введение

Грамотное планирование противопожарных мероприятий возможно только на основании качественного анализа основных тенденций обстановки с пожарами, складывающейся на определенной территории в течение некоторого временного интервала [1, 2, 3]. При этом важной задачей является не только объективная оценка текущей обстановки с пожарами, но и разработка прогноза для последующего временного периода. Для решения задачи прогнозирования могут быть использованы методы анализа и прогнозирования временных рядов.

Вопросам прогнозирования различных параметров, характеризующих эффективность функционирования системы обеспечения пожарной безопасности, в последние годы было посвящено достаточное количество работ.

В частности, в работе [4] уделено внимание разработке математической модели времени тушения пожара в сельской местности Российской Федерации по методу экспоненциального сглаживания. Объектом моделирования являлся временной ряд времени тушения пожара в сельской местности. Отметим, что прогнозное значение для конкретного временного периода было получено путем сглаживания двух предыдущих фактических значений временного ряда. Авторами работы указано, что наименьшая ошибка модели достигнута при коэффициенте сглаживания равном 0,9999. При таком коэффициенте сглаживания, представленная модель фактически учитывает не два предыдущих, а только одно предыдущее значение временного ряда. Таким образом, заявленная модель экспоненциального сглаживания фактически является простейшей прогнозной моделью типа «будет как было», которая не может быть применена для прогнозирования процессов, подверженных резким колебаниям и изменениям.

Работа [5] посвящена вопросу математического моделирования временного ряда гибели людей при пожарах на территории Российской Федерации. В данной работе моделирование временного ряда было выполнено с помощью ряда математических моделей: линейной, гиперболической, показательной, Перла-Рида, Гомпертца, Гомпертца-Мейкхама, Вейбулла, модели Парето, Эрланга. Все представленные модели являются аналитическими и хорошо моделируют процессы, которые не подвержены резким изменениям и носят стабильный характер на достаточно длительном временном интервале, однако не применимы при моделировании процессов, подверженных резким изменениям.

<sup>1</sup> Пожары и пожарная безопасность в 2024 году. Статистика пожаров и их последствий: информационно-

В работе [6] было установлено наличие связи между числом городских пожаров и порядковым номером года в регионах Российской Федерации. Данная работа посвящена вопросу установления корреляционной связи между числом пожаров в городах и временным периодом, а вопросы прогнозирования в ней не рассматривались.

Авторами исследования [7] разработан ряд математических моделей количества пожаров в Свердловской области: линейная, гиперболическая, степенная, показательная, логарифмическая, логистическая, Гомпертца, Гомпертца-Мейкхама. Также, как и модели, представленные в работе [5], данные модели относятся к классу аналитических и не могут быть применены для прогнозирования процессов, для которых характерны резкие изменения.

В работе [8] был исследован вопрос устойчивости в статистическом прогнозировании количества пожаров в регионах Российской Федерации. Авторами данного исследования был установлен факт наличия сильной зависимости между числом пожаров и порядковым номером года в регионах Российской Федерации и сделан вывод об обоснованности применения методов теории временных рядов в математическом прогнозировании числа пожаров. Однако, как и в работе [6] вопросы прогнозирования в данной работе не рассматривались.

В работе [9] рассмотрена возможность среднесрочного прогнозирования интегрального пожарного риска для жилого сектора регионов России. В данной работе была построена прогнозная модель, в которой целевой функцией прогнозирования выступал интегральный пожарный риск. Моделирование было выполнено с помощью ряда моделей, в том числе на основе модели авторегрессии, относительная ошибка прогноза которой составила 0,076.

Несмотря на то, что названные работы представляют несомненный интерес, отмеченные выше особенности накладывают определенные ограничения на область их практического применения.

Целью настоящего исследования было совершенствование методов прогнозирования обстановки с пожарами на территории Российской Федерации.

## Разработка прогнозной модели

Исходными данными для целей настоящего исследования были взяты данные по количеству пожаров, произошедших на территории Российской Федерации за период 2020–2024 гг.<sup>1</sup> (рис. 1).

Отличительной особенностью моделируемого временного ряда является то, что он характеризуется значительными колебаниями, а его значения подвержены резким скачкообразным изменениям. Таким образом, прогнозные модели, предложенные в работах [4, 5, 6,

7, 8, 9] не могут быть использованы для целей настоящего исследования. Однако, временные ряды, подобные имеющемуся, могут быть достаточно адекватно смоделированы с помощью аддитивных методов прогнозирования, таких как модели Брауна, Хольта, Хольта-Винтерса.

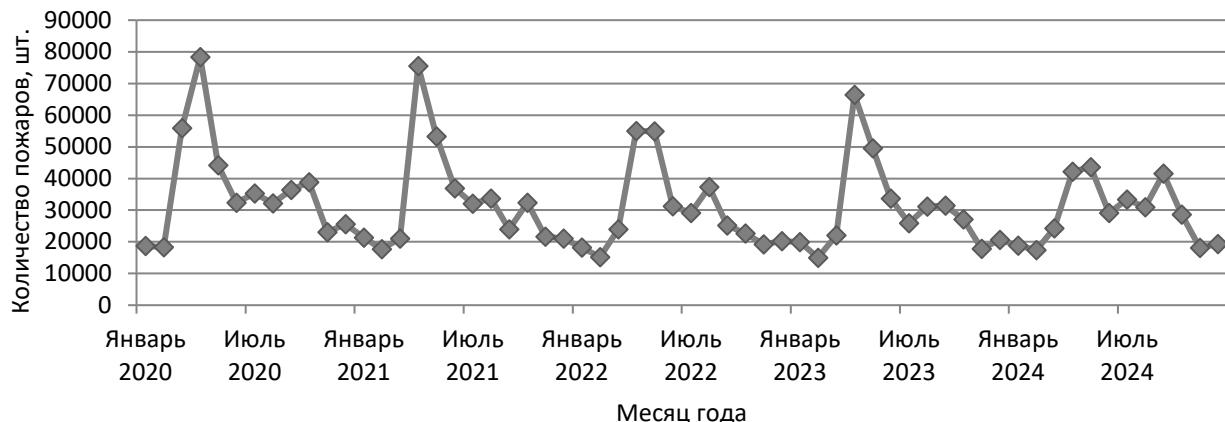


Рис. 1. Количество пожаров в Российской Федерации в 2020-2024 гг. по месяцам года

Из теории временных рядов известно, что в общем случае в структуре временного ряда могут присутствовать трендовая, сезонная и случайная составляющие [10, 11, 12].

Из представленных на рис. 1 данных видно, что в исследуемом временном ряду существует выраженная сезонность с максимумами в апреле и минимумами в феврале. Исходя из этого было принято решение для моделирования имеющегося временного ряда учитывать как трендовую, так и сезонную компоненту.

Разработка прогнозной модели в представленном исследовании осуществлялась в три этапа. На первом этапе была разработана и оптимизирована модель временного ряда на временном интервале с января 2020 года до декабря 2023 года.

С целью построения прогнозной модели для каждого уровня временного ряда были вычислены значения экспоненциально-сглаженного ряда:

$$L_t = k \cdot \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - k) \cdot (L_{t-1} + T_{t-1}), \quad (1)$$

где  $L_t$  – значения экспоненциально-сглаженного ряда,  $Y_t$  – значения фактических уровней временного ряда,  $T_{t-1}$  – значения трендовой составляющей для предыдущего уровня временного ряда,  $S_{t-s}$  – значения сезонной составляющей временного ряда,  $k$  – коэффициент сглаживания.

Значения трендовой составляющей временного ряда были определены по формуле:

$$T_t = b \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - b) \cdot T_{t-1} \quad (2)$$

Сезонная составляющая была вычислена по формуле:

$$S_t = q \cdot Y_t / L_t + (1 - q) \cdot S_{t-s} \quad (3)$$

На втором этапе вычислялись прогнозные значения для следующего временного периода:

$$Y_{t+p} = (L_t + p \cdot T_t) \cdot S_{t-s+p} \quad (4)$$

Полученная модель временного ряда была оптимизирована с помощью управляющих параметров  $k$  и  $b$  путем варьирования их значений в диапазоне от 0 до 1. В таблице представлены значения точности разработанной прогнозной модели в зависимости от заданных значений управляющих коэффициентов. Все вычисления при построении математической модели были выполнены в среде статистической обработки данных R.

Из таблицы следует, что наибольшей точности (0,96) удается добиться при значениях управляющих коэффициентов равных 0,9 и 0,1.

На рис. 2 представлены графики динамики количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2020-2023 гг. по месяцам года и прогнозной модели.

Таблица. Оптимизационная матрица прогнозной модели

$k \backslash b$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	0,81	0,75	0,79	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95
0,1	0,81	0,6	0,74	0,83	0,88	0,91	0,93	0,95	0,95	<b>0,96</b>	0,95
0,2	0,81	0,61	0,77	0,85	0,89	0,92	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95
0,3	0,81	0,62	0,79	0,85	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94
0,4	0,81	0,63	0,79	0,83	0,86	0,9	0,93	0,94	0,94	0,94	0,92
0,5	0,81	0,64	0,77	0,83	0,84	0,89	0,92	0,93	0,93	0,92	0,91
0,6	0,81	0,67	0,71	0,71	0,83	0,89	0,91	0,92	0,92	0,91	0,89
0,7	0,81	0,7	0,61	0,64	0,82	0,87	0,9	0,91	0,91	0,89	0,86
0,8	0,81	0,71	0,46	0,62	0,82	0,86	0,88	0,9	0,89	0,87	0,84
0,9	0,81	0,7	0,25	0,63	0,81	0,84	0,87	0,88	0,87	0,84	0,81
1,0	0,81	0,64	0,01	0,66	0,79	0,82	0,86	0,87	0,85	0,82	0,78

Количество пожаров,

шт.

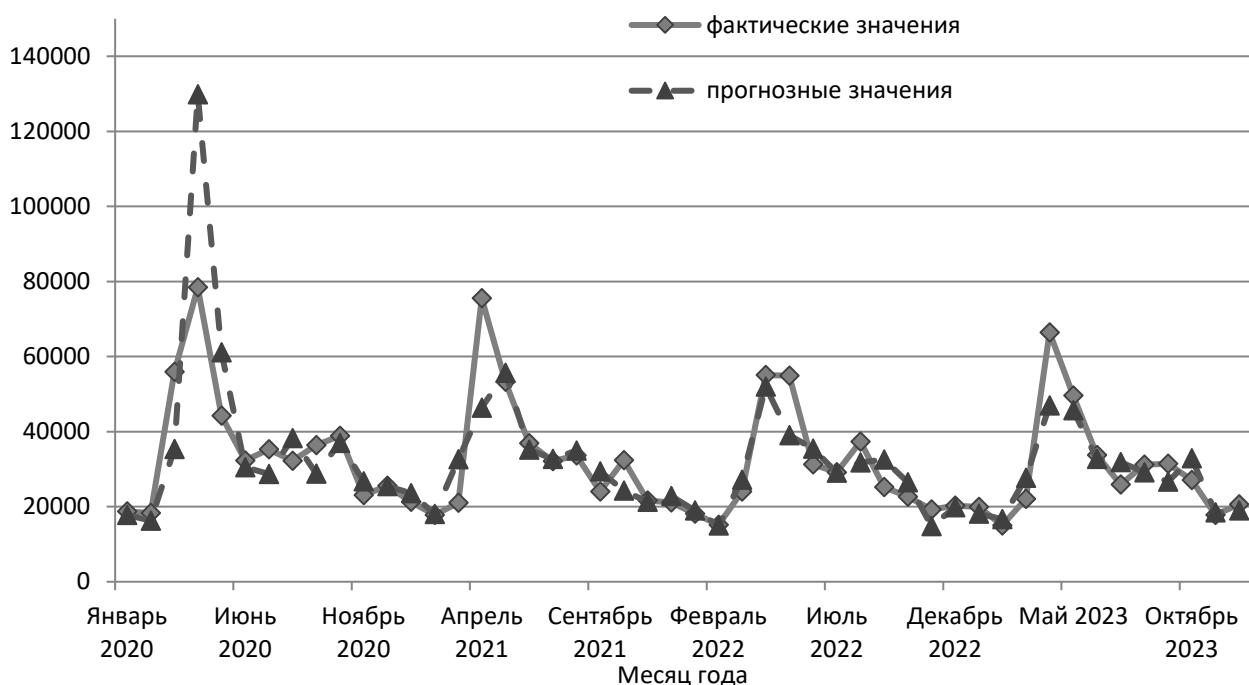
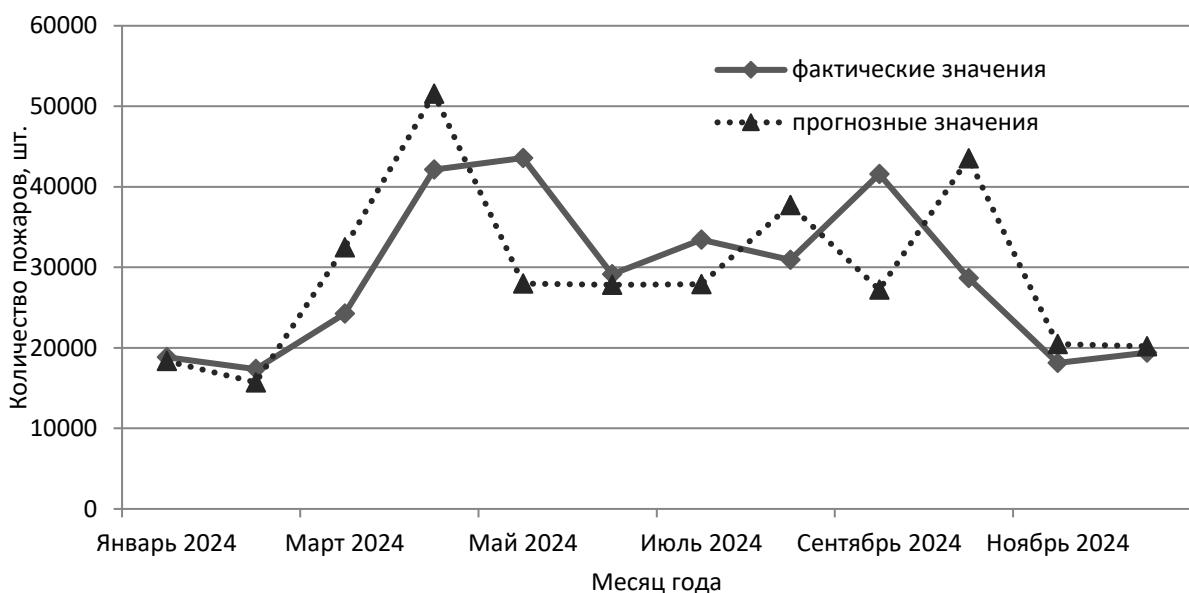


Рис. 2. Динамика количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2020-2023 гг. по месяцам года (фактические и прогнозные значения)

На третьем этапе была проведена проверка адекватности разработанной прогнозной модели посредством сравнения прогнозных и фактических значений на временном интервале с января по декабрь 2024 года. Точность

предложенной модели составила 0,95. На рис. 3 представлены графики динамики количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2024 году по месяцам и прогнозной модели.



**Рис. 3.** Динамика количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2024 году по месяцам года (фактические и прогнозные значения)

### Заключение

Проведен аналитический обзор актуальных литературных источников по теме прогнозирования обстановки с пожарами. На основе статистических данных о количестве пожаров, произошедших на территории Российской Федерации в 2020–2024 годах построена математическая прогнозная модель. Предложенная модель оптимизирована по критерию достижения максимальной точности на указанном

временном интервале с помощью варьирования управляемых коэффициентов модели. Точность прогноза математической модели составила 0,95. Разработанная математическая модель может быть полезна в практической деятельности органов государственного пожарного надзора при оценке актуальных тенденций и прогнозировании обстановки с пожарами на территории Российской Федерации.

### Список литературы

1. Моделирование взаимосвязей ресурсы противопожарной службы – характеристики пожарной безопасности / А. В. Матюшин, В. А. Минаев, А. И. Овсяник [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25, № 11. С. 62–70.
2. Обстановка с пожарами в мире в начале XXI века / М. Аренс, Н. Н. Брушлинский, П. Вагнер [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 10. С. 51–58.
3. Методологические подходы к сравнительной оценке обстановки с пожарами в Российской Федерации и США (Часть 2) / Н. Н. Брушлинский, Е. С. Кузнецова, О. В. Кружкова [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 4. С. 48–54.
4. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И., Калач Е. В. Применение метода экспоненциального сглаживания для прогноза среднего времени тушения пожара в сельской местности Российской Федерации // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2018. № 2 (27). С. 65–69.
5. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Математическое моделирование временного ряда гибели людей при пожарах на территории Российской Федерации // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 16–31.
6. Кайбичев И. А., Калимуллина К. И. Наличие зависимости числа городских пожаров в регионах Российской Федерации от времени // Техносферная безопасность. 2019. № 3 (24). С. 3–11.
7. Кайбичев И. А., Тужиков Е. Н. Математическая модель количества пожаров в Свердловской области // Техносферная безопасность. 2020. № 3 (28). С. 30–37.
8. Устойчивость в статистическом прогнозировании количества пожаров в регионах Российской Федерации / А. В. Калач, И. А. Кайбичев, А. М. Тарапыкин [и др.] // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». 2020. С. 840–846.
9. Тростянский С. Н., Тростянский А. С., Куприенко П. С. Среднесрочное прогнозирование

интегрального пожарного риска R1 для жилого сектора регионов России // Вестник Воронежского института МВД России. 2024. № 2. С. 53–62.

10. Brown R. G. 1956. Exponential Smoothing for Predicting Demand. 10<sup>th</sup> National Meeting of the Operations Research Society of America, San Francisco.

11. Winters P. 1960. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Management Science. 6: 324–342.

12. Forecasting: Principles and Practice by Rob J. Hyndman. <https://otexts.org/fpp2/>.

## References

1. Modelirovaniye vzaimosvyazej resursy protivopozharnoj sluzhby – harakteristiki pozharnoj bezopasnosti [Modeling the relationship between fire service resources and fire safety characteristics] / A. V. Matyushin, V. A. Minaev, A. I. Ovsyanik [et al.]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2016, vol. 11, pp. 62–70.

2. Obstanovka s pozharami v mire v nachele XXI veka [The global fire situation at the beginning of the 21st century] / M. Arens, N. N. Brushlinskij, P. Vagner [et al.]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2015, vol. 10, pp. 51–58.

3. Metodologicheskie podhody k srovnitel'noj ocenke obstanovki s pozharami v Rossijskoj Federacii i SSHA (CHast' 2) [Methodological approaches to comparative assessment of the fire situation in the Russian Federation and the United States (Part 2)] / N. N. Brushlinskij, E. S. Kuzneccova, O. V. Kruzhkova [et al.]. *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvratshchenie, likvidaciya*, 2018, vol. 4, pp. 48–54.

4. Kajbichev I. A., Kajbicheva E. I., Kalach E. V. Primenenie metoda eksponential'nogo sglazhivaniya dlya prognoza srednego vremeni tusheniya pozhara v sel'skoj mestnosti Rossijskoj Federacii [Application of the exponential smoothing method to forecast the average fire extinguishing time in rural areas of the Russian Federation]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii*, 2018, vol. 2 (27), pp. 65–69.

5. Kajbichev I. A., Kajbicheva E. I. Matematicheskoe modelirovaniye vremennogo ryada gibeli lyudej pri pozharah na territorii rossijskoj federacii [Mathematical modeling of the time series of fire fatalities in the Russian Federation]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2019, vol. 4 (25), pp. 16–31.

6. Kajbichev I. A., Kalimullina K. I. Nalichie zavisimosti chisla gorodskih pozharov v regionah Rossijskoj Federacii ot vremeni [The presence of a dependence of the number of urban fires in the regions of the Russian Federation on time]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2019, vol. 3 (24), pp. 3–11.

7. Kajbichev I. A., Tuzhikov E. N. Matematicheskaya model' kolichestva pozharov v Sverdlovskoj oblasti [A mathematical model of the number of fires in the Sverdlovsk region]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2020, vol. 3 (28), pp. 30–37.

8. Ustojchivost' v statisticheskem prognozirovaniyu kolichestva pozharov v regionah Rossijskoj Federacii [Robustness in statistical forecasting of the number of fires in the regions of the Russian Federation] / A. V. Kalach, I. A. Kajbichev, A. M. Tararykin [et al.]. Aktual'nye problemy prikladnoj matematiki, informatiki i mekhaniki: sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Voronezh: FGBOU VO «Voronezhskij gosudarstvennyj universitet», 2020. Pp. 840–846.

9. Trostyanskij S. N., Trostyanskij A. S., Kuprienko P. S. Srednesrochnoe prognozirovaniye integral'nogo pozharnogo riska R1 dlya zhilogo sektora regionov Rossii [Medium-term forecasting of the integrated fire risk R1 for the residential sector of Russian regions]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*, 2024, vol. 2, pp. 53–62.

10. Brown R. G. 1956. Exponential Smoothing for Predicting Demand. 10th National Meeting of the Operations Research Society of America, San Francisco.

11. Winters P. 1960. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Management Science. 6: pp. 324–342.

12. Forecasting: Principles and Practice by Rob J. Hyndman. <https://otexts.org/fpp2/>.

Шварев Евгений Анатольевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: e\_shvarev@inbox.ru

Shvarev Evgeny Anatolevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: e\_shvarev@inbox.ru