

Научная статья

УДК 614.8:004.932; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-55-62

ПОЧТИ-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАКОПЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ ТАЙФУНОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ АКТИВНОСТЬЮ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

✉ **Малыгин Игорь Геннадьевич.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия;
Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук.**

Калач Андрей Владимирович.

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия;
МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия.**

Парамонов Александр Александрович.

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

✉ malygin_com@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты применения метода почти-периодического анализа на основе сдвиговой функции к обработке временного ряда, характеризующего индекс накопленной энергии циклонов в Атлантическом океане. Накопленная энергия циклонов представляет собой индекс, используемый для измерения активности сезона ураганов. Он сочетает в себе количество возникших ураганов за исследуемый период, как долго они существовали и насколько мощными были. Исследуемые данные представлены временным рядом наблюдений в период с 1851 по 2023 г. с частотой замеров в один год. В ходе исследования были получены результаты, показывающие, что наибольшая активность циклонов происходит с периодичностью в 15 лет и 62 года. Выявленные почти-периоды были подтверждены для тайфунов в западной части Тихого океана. Исследование показало возможности оценивания появления экстремальных годовых значений накопленной энергии тайфунов.

Ключевые слова: методы анализа данных, данные с упорядоченным аргументом, тренд, нелинейные колебания, почти-период, временной ряд, чрезвычайные ситуации, тайфуны

Для цитирования: Малыгин И.Г., Калач А.В., Парамонов А.А. Почти-периодический анализ накопленной энергии тайфунов при исследовании развития чрезвычайных ситуаций, обусловленных активностью тропических циклонов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 55–62. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-55-62.

Scientific article

NEAR-PERIODIC ANALYSIS OF THE ACCUMULATED ENERGY OF TYPHOONS IN THE STUDY OF THE DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATIONS CAUSED BY THE ACTIVITY OF TROPICAL CYCLONES

✉ Malygin Igor G.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia;
Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences,
Saint-Petersburg, Russia.

Kalach Andrey V.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia;
MIREA – Russian technological university, Moscow, Russia.

Paramonov Aleksandr A.

MIREA – Russian technological university, Moscow, Russia

✉ malygin_com@mail.ru

Abstract. The article presents the results of applying the method of almost-periodic analysis based on the shift function to the processing of a time series characterizing the index of accumulated cyclone energy in the Atlantic Ocean. Accumulated cyclone energy is an index used to measure the activity of the hurricane season. It combines the number of hurricanes that occurred during the study period, how long they existed, and how powerful were. The studied data are represented by a time series of observations from 1851 to 2023 with a measurement frequency of one year. The results obtained in the course of the study show that the greatest cyclone activity occurs with a periodicity of 15 years and 62 years. The identified almost-periods were confirmed for typhoons in the western Pacific Ocean. The study showed the possibility of estimating the occurrence of extreme annual values of accumulated typhoon energy.

Keywords: data analysis methods, ordered argument data, trend, nonlinear oscillations, almost-period, time series, emergencies, typhoons

For citation: Malygin I.G., Kalach A.V., Paramonov A.A. Near-periodic analysis of the accumulated energy of typhoons in the study of the development of emergency situations caused by the activity of tropical cyclones // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 3 (71). P. 55–62. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-55-62.

Введение

Изменения климатических условий сопровождаются возникающими экстремальными погодными явлениями. По сей день актуальной является задача по идентификации и прогнозированию возникновения таких явлений с целью минимизации материального ущерба и, самое главное, предотвращения жертв среди населения [1–4].

К подобным явлениям относятся, например, тайфуны. Для тайфуна характерны такие разрушительные факторы, как шквалистый ветер и заливные дожди, способные наносить структурный ущерб самым крепким и устойчивым конструкциям. Одним из показателей, используемых для оценки общей активности тропических циклонов, является накопленная энергия циклонов (англ. ACE). Этот показатель можно применять в рамках оценки активности циклонов при решении задач техносферной безопасности как к единичному тропическому шторму, оценивая его мощь, так и при оценке группы тайфунов, которые происходили за определенный период времени: от месяца до нескольких сезонов.

Такие сведения можно представить в виде временной последовательности замеров накопленной энергии циклонов. Как известно, данные временные зависимости имеют

в своем составе медленные и быстрые движения, оценивать которые необходимо отдельно друг от друга. В связи с этим для определения структурных характеристик накопленной энергии циклонов предлагается использовать метод почти-периодического анализа, основанный на сдвиговых функциях [5].

Методы исследования

Предлагаемый метод анализа для обнаружения зависимостей основывается на разделении нелинейных связей, которыми обладают анализируемые данные, на составляющие для исключения влияния их друг на друга в ходе обработки. Данные с упорядоченным аргументом обладают трендовой характеристикой, описывающей их основную тенденцию, и колебательной характеристикой, позволяющей определить критические точки смены трендов. Ввиду априорной неизвестности уравнения тренда задача по разделению таких характеристик является нетривиальной. В качестве независимого метода по разделению трендовой и колебательной составляющих используется метод, основанный на теории пропорций, позволяющий представить данные в координатах:

$$\ln\left(\frac{y_{t-\Delta t} \cdot y_{t+\Delta t}}{y_t^2}\right) \sim t, \quad (1)$$

где y_t – текущее значение; $y_{t-\Delta t}$ – предыдущее значение на расстоянии Δt по аргументу; $y_{t+\Delta t}$ – следующее значение на расстоянии Δt по аргументу.

Полученные в результате разделения (1) колебания затем анализируются на предмет наличия почти-периодов с учетом влияния параметра сдвига Δt :

$$a(\tau, \Delta t) = \frac{1}{n - \tau - 2\Delta t} \cdot \sum_{t=1}^{n-\tau-2\Delta t} \left| \ln\left(\frac{y_{t-\Delta t+\tau} \cdot y_{t+\Delta t-\tau}}{y_{t+\tau}^2}\right) - \ln\left(\frac{y_{t-\Delta t} \cdot y_{t+\Delta t}}{y_t^2}\right) \right|, \quad (2)$$

где n – общее число отсчетов функции $y(t)$; τ – почти-период.

Анализ колебательной составляющей позволяет определить параметры смены структуры исследуемой системы. Описанные возможности подтверждают ряд проведенных к этому моменту исследований по оценке экономических структур разного уровня: от биржевых показателей компаний [6] до макроэкономических показателей страны [7].

Данный подход показал свою эффективность перед классическим анализом методом Фурье, основанным на априорных периодических функциях анализа больших данных [5], а также при выявлении периодических компонент в данных по атмосферному давлению [8].

В качестве данных для анализа выступают ежегодные данные из открытого банка для исследования и достижения прогресса в решении крупных мировых проблем по накопленной циклонической энергии ураганов в Атлантическом океане [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Накопленная энергия циклонов (АСЕ) представляет собой индекс, используемый для измерения активности сезона ураганов. Он сочетает в себе количество возникших ураганов за исследуемый период, как долго они существовали и насколько мощными они были. Исследуемые данные представлены временным рядом с 1851 по 2023 г. с частотой замеров в один год (рис. 1).

Из исходных данных видно, что значение индекса на разные годы приходится в разный диапазон величин, в какие-то годы ураганы проявляли чрезмерную активность в области Атлантического океана (например, самый высокий показатель индекса приходится на 1933 г. – 258,57 ед.), а в некоторые почти полностью отсутствовали (например, в 1914 г. индекс ACE насчитывал только 2,53). Для работы с данными, в которых встречаются величины больших и малых показателей с целью проведения их качественной оценки, необходимо привести исходные показатели к масштабу, позволяющему оценивать такие значения одинаково. Для этого применяется преобразования в координатах $\ln(y) \sim t$, где y – исходные данные, t – время. Такие координаты еще носят названия полулогарифмических.

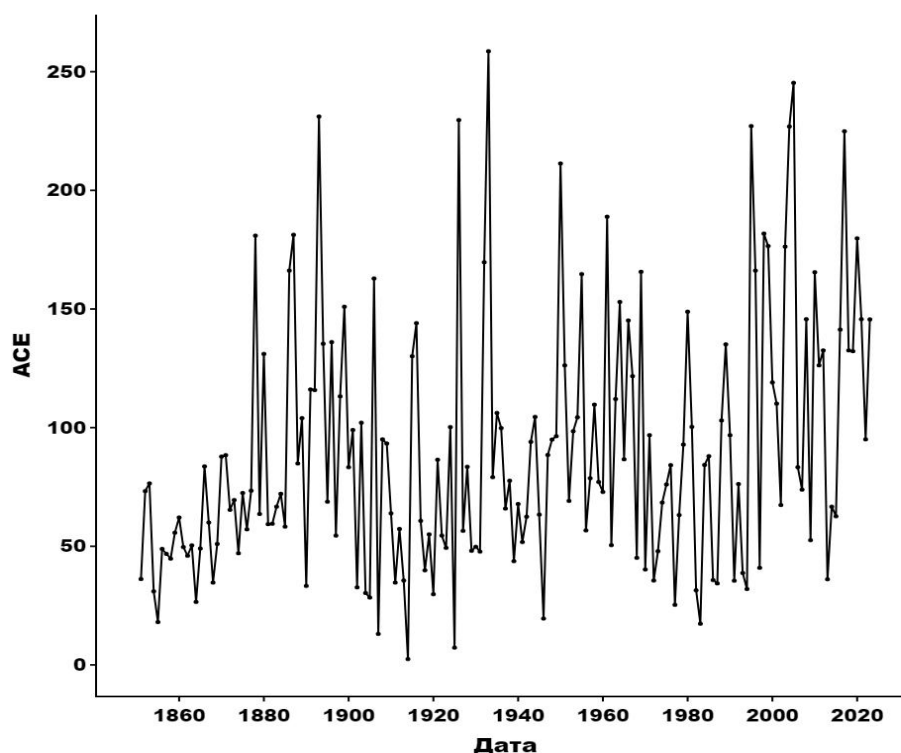


Рис. 1. Накопленная циклоническая энергия ураганов в Атлантическом океане по результатам наблюдений в период с 1851 по 2023 г.

Данные из рис. 1 в полулогарифмических координатах представлены на рис. 2, на котором видно, что данные обладают периодической сменой тенденций по накопленной циклонической энергии.

Для определения периодических компонент исключим из исходных данных трендовую составляющую и полученные колебания обработаем сдвиговой функцией, в результате получим набор значений обобщенной сдвиговой функции (2). На рис. 3 представлена сдвиговая функция при параметре сдвига $\Delta t = 8$. Ярким выраженным почти-периодом является значение в 15 лет, на данных в полулогарифмическом масштабе его наличие показано на рис. 4. Близким по кратности к нему является почти-период в 62 года (рис. 3). Данный почти-период выделяет характерную циклическую изменчивость в данных, начало и конец которой приходится при достижении минимальных значений. При этом можно выделить значение в половину почти-периода 62 года, который приходится на значение смены с восходящей тенденции на нисходящую уже внутри цикла в 62 года (на рис. 5 представлен пунктирной линией).

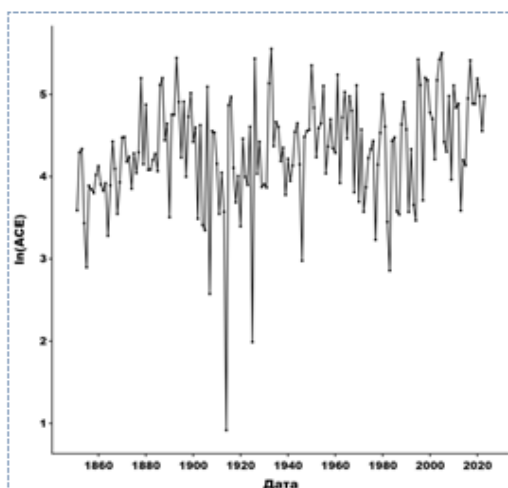


Рис. 2. Логарифм накопленной циклонической энергии ураганов в Атлантическом океане с 1851 по 2023 г.

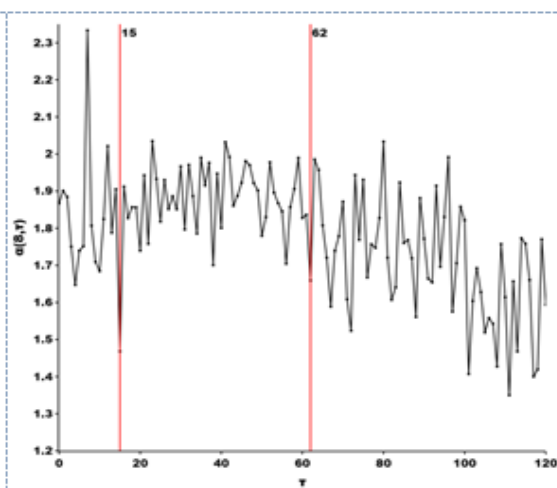


Рис. 3. Сдвиговая функция накопленной энергии при $\Delta t = 8$

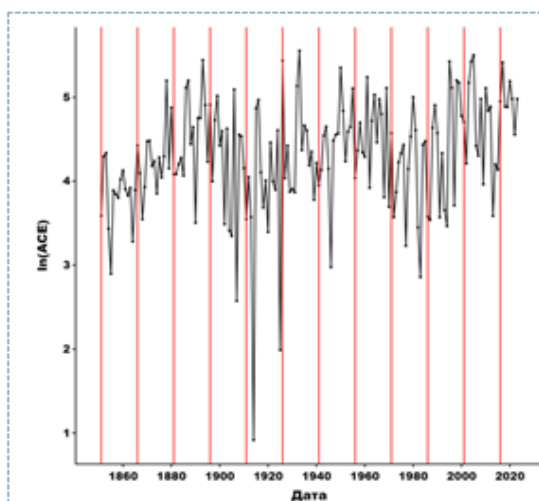


Рис. 4. Почти-период в 15 лет

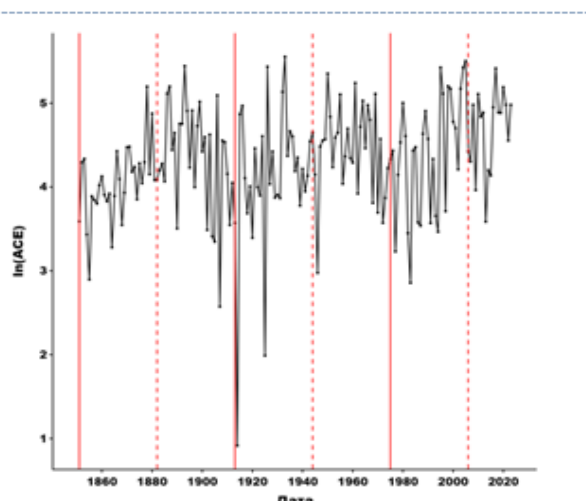


Рис. 5. Почти-период в 62 года

На основе выявленных значений можно провести ряд прогнозных оценок. Согласно размеченным данным (рис. 5), установлено, что общие темпы накопленной энергии тайфунов будут снижаться до второй половины 2030-х гг. С учетом полученного значения почти-периода в 15 лет (рис. 4) в начале 2030-х гг. стоит ожидать очередного экстремума по индексу ACE.

Для сравнения полученных значений почти-периодов была проведена оценка накопленной циклонической энергии ураганов в западной части Тихого океана. Данные приводятся с 1951 по 2023 г., ранее наблюдения Объединенным центром предупреждения о тайфунах в данной области не проводились [10].

На рис. 6 представлены исходные данные, а на рис. 7 – результат обработки обобщенной сдвиговой функцией.

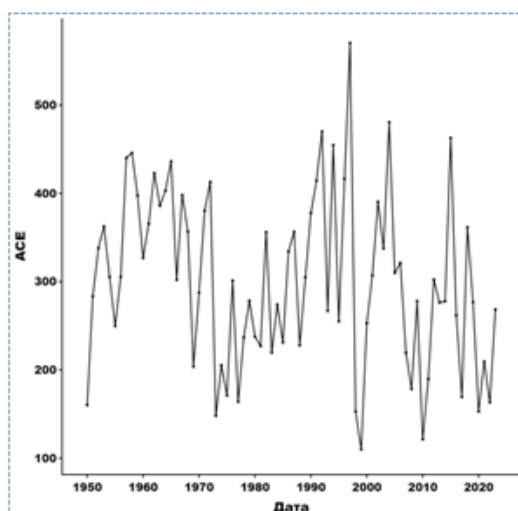


Рис. 6. Накопленная циклоническая энергия ураганов в западной части Тихого океана

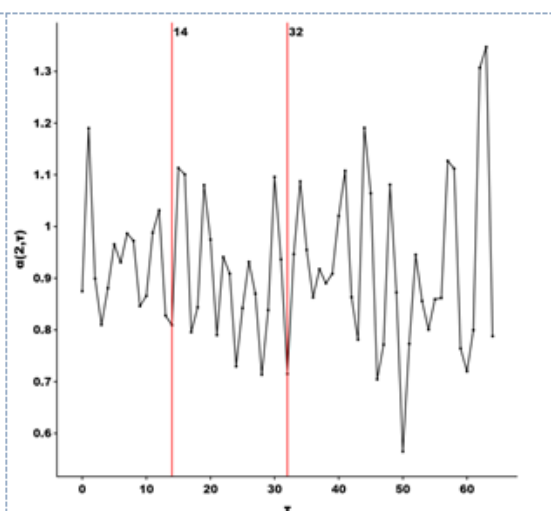


Рис. 7. Сдвиговая функция накопленной энергии при $\Delta t = 2$

Близкие значения почти-периодов, полученные в ходе обработки данных накопленной энергии в Атлантическом океане, были отражены и в тайфунах, проходивших в западной части Тихого океана.

Заключение

В ходе проведенной работы по анализу накопленной энергии циклонов в Атлантическом океане были выявлены значения почти-периодов в 15 лет и 62 года. Необходимо отметить, что первый почти-период характеризует появление экстремальных значений индекса ACE, а второй – определяет циклы, внутри которых происходят смены знаков темпов роста исследуемой системы. Установлено, что найденные значения коррелируют с некоторыми из значений циклов Солнечной активности.

Исследование показало возможности оценивания появления экстремальных годовых значений накопленной энергии тайфунов. Авторы полагают целесообразным продолжить мониторинг индекса ACE и расширение диапазона наблюдений, что позволит проводить не только комплексные оценки характеристик динамики чрезвычайных ситуаций, связанных с активностью тропических циклонов, но и выявлять индивидуальные компоненты периодичности тайфунов.

Список источников

1. Divergent ecological responses to typhoon disturbance revealed via landscape-scale acoustic monitoring / S.R.P.J. Ross [et al.] // *Global Change Biology*. 2024. Vol. 30. № 1. P. 17–67. DOI: 10.1111/gcb.17067.
2. Hokson J.A., Kanae S. The use of a long-track central pressure and movement speed in similar typhoon identification for rainfall prediction // *Journal of JSCE*. 2024. Vol. 12. № 2. P. 23–36. DOI: 10.2208/journalofjsce.23-16036.
3. Lyu Yu., Yuan H., Wang Yu. Economic vulnerability of aquaculture households of elderly people to typhoon disasters and the factors influencing it in the island regions of southeast China // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023. Vol. 85. P. 103–192. DOI: 10.1016/j.ijdr.2022.103492.
4. Global population profile of tropical cyclone exposure from 2002 to 2019 / R. Jing [et al.] // *Nature*. 2024. Vol. 626. № 7999. P. 549–554. DOI: 10.1038/s41586-023-06963-z.

5. Парамонов А.А., Кузьмин В.И. Программный комплекс обработки сигналов, представленных нелинейными колебаниями с трендом // Оптические методы исследования потоков: труды XVII Междунар. науч.-техн. конф. 2023. С. 265–274.

6. Dzerjinsky R.I., Krynetsky B.A., Chernorizova N.V. The Changes Dynamics Analysis in the Japanese Stock Exchange Nikkei 225 Index in the Latest Time. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds) Data Science and Intelligent Systems // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 231. DOI: 10.1007/978-3-030-90321-3_11.

7. Парамонов А.А., Кузьмин В.И. Анализ динамики макроэкономических показателей России // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер.: Естественные и технические науки. 2022. № 11/2. С. 123–128. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.11-2.24.

8. Парамонов А.А., Смоленцева Т.Е., Калач А.В. Современные аспекты анализа больших данных с упорядоченным аргументом // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. трудов Междунар. науч. конф. Воронеж, 2024. С. 609–613.

9. Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/> (дата обращения: 15.07.2024).

10. National Centers for Environmental Information. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/> (дата обращения: 15.07.2024).

References

1. Divergent ecological responses to typhoon disturbance revealed via landscape-scale acoustic monitoring / S.R.P.J. Ross [et al.] // Global Change Biology. 2024. Vol. 30. № 1. P. 17–67. DOI: 10.1111/gcb.17067.

2. Hokson J.A., Kanae S. The use of a long-track central pressure and movement speed in similar typhoon identification for rainfall prediction // Journal of JSCE. 2024. Vol. 12. № 2. P. 23–36. DOI: 10.2208/journalofjsce.23-16036.

3. Lyu Yu., Yuan H., Wang Yu. Economic vulnerability of aquaculture households of elderly people to typhoon disasters and the factors influencing it in the island regions of southeast China // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2023. Vol. 85. P. 103–192. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2022.103492.

4. Global population profile of tropical cyclone exposure from 2002 to 2019 / R. Jing [et al.] // Nature. 2024. Vol. 626. № 7999. P. 549–554. DOI: 10.1038/s41586-023-06963-z.

5. Paramonov A.A., Kuz'min V.I. Programmnyj kompleks obrabotki signalov, predstavlennyh nelinejnymi kolebaniyami s trendom // Opticheskie metody issledovaniya potokov: trudy XVII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. 2023. S. 265–274.

6. Dzerjinsky R.I., Krynetsky B.A., Chernorizova N.V. The Changes Dynamics Analysis in the Japanese Stock Exchange Nikkei 225 Index in the Latest Time. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds) Data Science and Intelligent Systems // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 231. DOI: 10.1007/978-3-030-90321-3_11.

7. Paramonov A.A., Kuz'min V.I. Analiz dinamiki makroekonomicheskikh pokazatelej Rossii // Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2022. № 11/2. S. 123–128. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.11-2.24.

8. Paramonov A.A., Smolenceva T.E., Kalach A.V. Sovremennye aspekty analiza bol'shih dannyh s uporyadochennym argumentom // Aktual'nye problemy prikladnoj matematiki, informatiki i mekhaniki: sb. trudov Mezhdunar. nauch. konf. Voronezh, 2024. S. 609–613.

9. Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/> (data obrashcheniya: 15.07.2024).

10. National Centers for Environmental Information. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/> (data obrashcheniya: 15.07.2024).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.07.2024; одобрена после рецензирования: 26.07.2024; принята к публикации: 09.09.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 16.07.2024; approved after review: 26.07.2024; accepted for publication: 09.09.2024

Информация об авторах:

Малыгин Игорь Геннадьевич, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149); директор Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (199178, Санкт-Петербург, 12-я линия В.О., д. 13), доктор технических наук, профессор, e-mail: malygin_com@mail.ru, SPIN-код: 7602-1628

Калач Андрей Владимирович, главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности транспорта Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); профессор кафедры прикладной математики института информационных технологий МИРЭА – Российского технологического университета (119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78), доктор химических наук, профессор, почетный работник сферы образования Российской Федерации, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN-код: 2584-7456

Парамонов Александр Александрович, аспирант, старший преподаватель кафедры прикладной математики института информационных технологий МИРЭА – Российского технологического университета (119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78), e-mail: paramonov_a_a99@mail.ru, SPIN-код: 7885-7510

Information about the authors:

Malygin Igor G., professor of the department of fire extinguishing and emergency rescue operations at the Saint-Petersburg university State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149); director of the N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences (199178, Saint-Petersburg, 12th line V.O., 13), doctor of technical sciences, professor, e-mail: malygin_com@mail.ru, SPIN: 7602-1628

Kalach Andrey V., chief researcher of the department of fire safety of transport of the Scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149); professor of the department of applied mathematics of the institute of information technologies MIREA – Russian technological university (119454, Moscow, Vernadsky ave., 78), doctor of chemical sciences, professor, honorary worker in the field of education of the Russian Federation, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN: 2584-7456

Paramonov Alexandr A., post-graduate student, senior lecturer at the department of applied mathematics of the institute of information technologies of the MIREA – Russian university of technology (119454, Moscow, Vernadsky ave., 78), e-mail: paramonov_a_a99@mail.ru, SPIN: 7885-7510