

Безопасность объектов строительства (2.1.15. технические науки)

Научная статья
УДК 614.849
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.20.45.001

Статистическое моделирование зависимости ущерба от пожаров в жилом секторе городов от показателей оперативного реагирования и тушения пожаров

Сергей Николаевич Тростянский¹

Евгений Заудятович Арифиллин¹

Денис Сергеевич Королев²

Александр Сергеевич Тростянский³

¹Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

²Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, Воронеж, Россия

³Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (филиал РАНХиГС), г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Николаевич Тростянский, trostyansky2012@yandex.ru

Аннотация. На основе анализа пожарной статистики по Воронежской области с 2019 по 2021 годы получены количественные зависимости величины уничтоженной и поврежденной пожаром общей площади жилого помещения в жилых домах и квартирах городов от показателей оперативного реагирования и тушения пожаров. Для жилых домов и квартир городов Воронежской области проведена оценка среднего ущерба на один пожар, связанного с уничтожением и повреждением общей площади жилого помещения, а также связанного с прямым материальным ущербом. Показано, что основная доля материального ущерба от пожара в жилых домах и квартирах городов Воронежской области связана с уничтожением и повреждением общей площади жилого помещения.

На основе панельного анализа статистических данных пожарной статистики по регионам России с 2006 по 2018 годы получена количественная зависимость интегрального пожарного риска R_2 гибели людей от пожаров в жилом секторе регионов России от времени прибытия к месту пожара первого пожарного расчета. Статистическая значимость коэффициента, определяющего влияние среднего времени прибытия первого караула к месту пожара на величину R_2 , свидетельствует о том, что пожарные расчеты, прибывшие к месту пожара за минимальное время, заметно увеличивали количество спасенных при пожаре людей.

Полученные результаты позволяют более точно учитывать человеческие и материальные потери от пожаров в жилом секторе регионов России, в зависимости от показателей оперативного реагирования и тушения пожаров.

Ключевые слова: ущерб от пожаров; статистический анализ; показатели оперативного реагирования и тушения пожаров; жилой сектор

Для цитирования: Тростянский С.Н., Королев Д.С., Арифиллин Е.З., Тростянский А.С. Статистическое моделирование зависимости ущерба от пожаров в жилом секторе городов

от показателей оперативного реагирования и тушения пожаров // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 10-18.
<https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.20.45.001>.

Original article.

Statistical modeling of the dependence of damage from fires in the residential sector of cities on the indicators of rapid response and fire extinguishing

*Sergey N. Trostyansky*¹

*Evgeny Z. Arifullin*¹

*Denis S. Korolev*²

*Alexander S. Trostyansky*³

¹*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

²*Voronezh Institute for Advanced Training of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Voronezh, Russia*

³*Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (branch of RANEP), Voronezh, Russia*

Corresponding author: *Sergey N. Trostyansky, trostyansky2012@yandex.ru*

Abstract. Based on the analysis of fire statistics for the Voronezh Region from 2019 to 2021, quantitative dependencies were obtained for the amount of total area of residential premises destroyed and damaged by fire in residential buildings and apartments of cities on the indicators of rapid response and fire extinguishing. For residential buildings and apartments of cities of the Voronezh Region, an assessment was made of the average damage per fire associated with the destruction of and damage to the total area of residential premises, as well as associated with direct material damage. It is shown that the main share of material damage from a fire in residential buildings and apartments of cities of the Voronezh Region is associated with the destruction of and damage to the total area of residential premises. Based on the panel analysis of statistical data on fire statistics for the regions of Russia from 2006 to 2018, a quantitative dependence of the integral fire risk R_2 of deaths from fires in the residential sector of the regions of Russia on the time of arrival of the first fire brigade to the scene of the fire was obtained. The statistical significance of the coefficient determining the influence of the average time of arrival of the first guard to the fire site on the value of R_2 indicates that fire brigades that arrived to the fire site for the minimum time significantly increased the number of people saved during the fire.

The obtained results allow more accurate accounting of human and material losses from fires in the residential sector of the regions of Russia, depending on the indicators of rapid response and fire extinguishing.

Keywords: fire damage; statistical analysis; indicators of rapid response and fire extinguishing; residential sector

For citation: Trostyansky S.N., Korolev D.S., Arifullin E.Z., Trostyansky A.S. Statistical modeling of the dependence of damage from fires in the residential sector of cities on the indicators of rapid response and fire extinguishing // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 3 (38). С. 10-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.20.45.001>.

Введение

Целью настоящей работы было определение количественной зависимости ущерба от пожара, выраженного в человеческих жертвах и материальных потерях от времени свободного

развития пожара и времени прибытия к месту пожара первого пожарного расчета, обеспечивающего эвакуацию людей и тушение пожара.

Среди работ, связанных с исследованием данной проблематики, нужно отметить результаты, представленные в статье [1], на основе пожарной статистики за период с 2006 по 2010 годы, сделаны выводы о том, что 90 % всех жертв пожаров погибают в первые 5-7 минут развития пожара, до прибытия к месту пожара первых пожарных подразделений. При этом, число пожаров с погибшими составляли примерно 5 %. В работе [2] по аналогичной статистике, что и в работе [1], только за период с 2007 по 2011 годы получено, что по данным 2011 года, при среднем времени прибытия первого пожарного расчета составлявшем 9,08 минут, для времени прибытия первого караула к месту пожара в промежутке 16-20 минут, сокращение времени прибытия на 1,8 минуты, привело бы к сокращению количества жертв пожаров примерно на 4,16 %, что соответствовало бы уменьшению количества погибших от пожаров за год в России примерно на 500 человек. В 2011 году в России число погибших на 100 пожаров $R_2 = 7,1 \cdot 10^{-2}$, а средние материальные потери на один пожар оценивались примерно в 107 тысяч рублей [2].

Моделирование временной зависимости ущерба от пожара

Базу данных нашего исследования составляла статистика ГПС МЧС России «Распределение значений показателей обстановки с пожарами в субъектах Российской Федерации по группам объектов и населенных пунктов» и данные Росстата по 82 регионам России с 2006 по 2018 год. Также проводился статистический анализ данных на основе карточек учета пожаров в Воронежской области с 2019 по 2021 годы. При этом, статистика по R_2 в России анализировалась именно для жилого сектора, а статистика данных карточек учета пожаров анализировалась для пожаров в жилых домах и квартирах городов Воронежской области.

Статистический анализ панельных данных по пожарной и социально-экономической статистике, выполненный с применением пакета Stata на основе модели со случайным эффектом [3] показал, что для R_2 в жилом секторе значимыми факторами (со значимостью $p \leq 0,05$), являются следующие: количество литров этанола (L) употребляемого в среднем на 1 жителя региона в год и время (τ) прибытия к месту пожара первого пожарного расчета.

Таким образом, из анализа панельных данных для R_2 в жилом секторе получим модель вида:

$$R_{2it} = a_1 L_{it} + a_2 \tau_{it} + C, \quad (1)$$

где, i - регион; t - год; R_2 - среднее количество погибших на 100 пожаров в жилом секторе; τ - среднее время (в минутах) прибытия первого пожарного расчета, относительно времени сообщения о пожаре (t_1-t_c) по всем пожарам в анализируемых регионах; L - число литров этанола, употребляемого в среднем на 1 жителя региона в год; C - постоянная учитывающая другие не включенные в уравнение (1) факторы. Результаты расчетов параметров модели со случайным эффектом на основе уравнения (1) представлены в Табл.1.

Табл.1. Результаты расчетов модели со случайным эффектом

Значения коэффициентов и константы уравнения (1)
$a_1=0,194195$ ($p = 0,000$);
$a_2 = 0,0791567$ ($p = 0,004$);
$C = 6,860313$ ($p = 0,000$);
$W=55,136$

В табл.1: W – результаты теста Вальда, p – значимость.

Анализируя уравнение (1) учитываем, что среднее значение R_2 для жилого сектора по анализируемым регионам России за период 2006-2018 годы составляло примерно $R_2 = 9,09$;

среднее количество литров на человека в год употребляемого этанола, по рассматриваемым регионам России за период 2006 – 2018 годы, составляло $L = 9,29$ литров; постоянная $C = 6,86$. Тогда получаем, что даже при времени прибытия первого пожарного расчета $\tau = 0$, в среднем от пожара уже погибает 95,28 % от всех погибших. Это согласуется с выводами работы [1], что большинство жертв пожаров погибает в первые минуты после начала пожара. За время после $\tau = 0$, оставшиеся 4.72 % людей погибают согласно формуле (1) в среднем еще через 5,42 минуты. Согласно пожарной статистике, среднее время прибытия к месту пожара первого пожарного расчета, по всем пожарам (не только по жилому сектору) в анализируемых 82 регионах, за период 2006-2018 годы составляло 10,08 минуты, однако, по данным [4], например в 2014 году в РФ на 27,89 % пожаров первый караул прибывал за время менее 5 минут. Статистическая значимость коэффициента, определяющего влияние среднего времени прибытия первого караула к месту пожара на величину R_2 , свидетельствует о том, что пожарные расчеты, прибывшие к месту пожара за минимальное время, заметно увеличивали количество спасенных при пожаре людей.

Полученные результаты подтверждают, что наиболее эффективным для спасения людей от пожара является оснащение объектов жилого сектора системами автоматической пожарной сигнализации (АПС) и автоматическими установками пожаротушения (АУПТ). Актуальным для реализации этого процесса является Постановление Правительства РФ от 1 сентября 2021 г. N 1464 [5].

На основе статистического анализа данных карточек учета пожаров в Воронежской области с 2019 по 2021 годы получены средние значения уничтоженной и поврежденной пожаром общей площади жилых помещений, приходящейся на один пожар, в зависимости от показателей оперативного реагирования и тушения пожаров.

В Табл.2 представлены средние значения уничтоженной и поврежденной за один пожар площади жилых помещений $S(t_1-t_c)$ в городских домах и квартирах Воронежской области, в зависимости от времени прибытия к месту пожара первого пожарного расчета, относительно времени сообщения о пожаре (t_1-t_c), а также площади $S(t_{ctb}-t_{ob})$, в зависимости от времени подачи первого пожарного ствола относительно времени обнаружения пожара ($t_{ctb} - t_{ob}$).

Табл.2. Средние значения уничтоженной и поврежденной пожаром площади жилых помещений в городских домах и квартирах, в зависимости от t_1-t_c и от $t_{ctb}-t_{ob}$

t_1-t_c (МИН)	$S(t_1-t_c)$ (M^2)	$t_{ctb} - t_{ob}$ (МИН)	$S(t_{ctb}-t_{ob})$ (M^2)
3	6,5	4	8,074074
4	12,92	5	11,15152
5	13,55	6	10,54167
6	14,21	7	15,34419
7	22,73	8	23,05426
8	16,99	9	17,59596
9	24,66	10	19,89412
10	17,71	11	19,42857
11	22,71	12	17,07143
12	16,28	13	24,0625
13	20,18	14	15,7
14	31,5	15	30,57143

На основе данных Табл.2 также получены функциональные зависимости $S(t_{\text{ств}}-t_{\text{об}})$ аппроксимированные линейной (4) и степенной (5) функциями и значения соответствующих им коэффициентов детерминации R^2 .

$$S(t_I - t_c) = 1,3796 \cdot (t_I - t_c) + 6,6019, \quad (2)$$

$$R^2 = 0,578$$

$$S(t_I - t_c) = 4,1862 \cdot (t_I - t_c)^{0,6904}, \quad (3)$$

$$R^2 = 0,5931$$

$$S(t_{\text{смв}} - t_{\text{об}}) = 1,3395 \cdot (t_{\text{смв}} - t_{\text{об}}) + 4,9818, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,584$$

$$S(t_{\text{смв}} - t_{\text{об}})^{0,7466}, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,593$$

Экстраполируя линейную функцию (4) до значения $S(t_{\text{ств}} - t_{\text{об}}) = 0$:

$$S(t - t_{\text{об}}) = 1,3395 \cdot (t - t_{\text{об}}) + 4,9818 = 0, \quad (6)$$

Можно оценить на сколько отстоит от времени обнаружения значение времени t , при котором уничтоженная и поврежденная пожаром площадь S равна нулю. Это время должно совпадать со временем возникновения пожара $t_{\text{в}}$. Из соотношения (6) можно найти, что $t = - 3,719$ мин., то есть время обнаружения пожара в городских жилых домах и квартирах в среднем составляет $t_{\text{в}} = 3,719$ мин. после его возникновения.

Пользуясь найденным значением $t_{\text{в}}$, найдем соотношение, определяющее среднее значение, уничтоженной и поврежденной за один пожар площади жилых помещений $S(t_{\text{св}})$ в городских домах и квартирах, в зависимости от времени свободного горения $t_{\text{св}} = t_{\text{ств}} - t_{\text{в}}$. Для этого построим Табл.3.

Табл.3. Среднее значение уничтоженной и поврежденной за один пожар площади жилых помещений $S(t_{\text{св}})$ в городских домах и квартирах, в зависимости от времени свободного горения $t_{\text{св}}$

$t_{\text{св}}$ (мин)	$S(t_{\text{св}})$ (м^2)
7,719149	8,074074
8,719149	11,15152
9,719149	10,54167
10,71915	15,34419
11,71915	23,05426
12,71915	17,59596
13,71915	19,89412
14,71915	19,42857
15,71915	17,07143
16,71915	24,0625
17,71915	15,7
18,71915	30,57143

На основе данных Табл.3 также получены функциональные зависимости $S(t_{\text{св}})$ аппроксимированные линейной (7) и степенной (8) функциями и значения соответствующих им коэффициентов детерминации R_2 .

$$S(t_{ce}) = 1,3395 \cdot t_{ce} + 0,000, \quad (7)$$

$$R^2 = 0,584$$

$$S(t_{ce}) = 1,0596 \cdot (t_{ce})^{1,0819}, \quad (8)$$

$$R^2 = 0,582.$$

Расчет стоимости материального ущерба от пожара в жилых домах и квартирах городов Воронежской области

Объективная оценка материального ущерба от пожаров стала еще более актуальной с введением в действие Федерального закона № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации». Однако при учете материального ущерба от пожаров регистрация документально не подтвержденных данных об ущербе от пожара не допускается. После вступления в действие в 2019 году приказа МЧС России об изменении правил учета пожаров и их последствий [6], доля пожаров с зарегистрированным материальным ущербом составляла только 5,1 %.

Для более адекватной оценки материальных потерь от пожаров в работах [7;8] предлагалось применять расчетно-аналитический и прямой расчетные методы.

В нашей работе расчеты стоимости материального ущерба от пожаров в жилых домах и квартирах городов проводились на основе статистики пожаров в Воронежской области с 2019 по 2021 годы. Средняя рыночная стоимость одного квадратного метра общей площади жилого помещения в Воронежской области составляла для 2019 года 37328 рублей [9], для 2020 года 39822 рубля [10], для 2021 года составляла 45755 рублей [11].

Средняя стоимость уничтоженной и поврежденной от пожаров общей площади жилого помещения на один пожар определяется по формуле:

$$C_S = CI_S \cdot S, \quad (9)$$

где, C_S – средняя рыночная стоимость, уничтоженной и поврежденной общей площади жилого помещения на один пожар;

CI_S – средняя рыночная стоимость одного квадратного метра общей площади жилого помещения;

S – среднее значение общей площади в жилых домах и квартирах городов, уничтоженной и поврежденной на один пожар.

Соответственно, временная зависимость C_S от времени свободного горения t_{ce} определяется по формуле:

$$C_S(t_{ce}) = CI_S \cdot S(t_{ce}). \quad (10)$$

В Табл.4 приведены средние значения C_S , средняя стоимость C_m - прямого материального (имущественного) ущерба на один пожар, а также доли d_S и d_m (в %) количества пожаров с зарегистрированным материальным ущербом для C_S и для C_m в жилых домах и квартирах городов Воронежской области в 2019, 2020 и в 2021 году.

Табл.4. Средние значения стоимости C_S и C_m а также доли d_S и d_m по годам

Год	C_S (руб.)	d_S (%)	C_m (руб.)	d_m (%)
2019	654351,6	100	1465,5	2,821
2020	758707	100	98,36	0,328
2021	699457,1	99,698	1299,1	0,604

На основании данных из Табл.4 следует, что основную стоимость материального ущерба от пожаров в домах и квартирах городов Воронежской области составляет стоимость уничтоженной и поврежденной пожаром жилой площади.

Если анализировать влияние времени от обнаружения пожара до подачи первого пожарного ствола в соответствии с уравнением (4) или влияние времени от возникновения пожара до подачи первого пожарного ствола в соответствии с уравнением (7) и учесть, что средняя общая площадь жилых помещений, уничтоженная и поврежденная за один пожар в городах Воронежской области, составляла примерно 17,33 квадратных метра, то каждая минута сокращения времени от обнаружения пожара до подачи первого пожарного ствола ($t_{\text{ств}} - t_{\text{об}}$) меньше 9,22 мин. (при среднем времени $t_{\text{ств}} - t_{\text{об}} = 8,78$ мин.) и каждая минута сокращения времени от возникновения пожара до подачи первого пожарного ствола ($t_{\text{ств}} - t_{\text{в}}$) меньше 12,94 мин. (при среднем времени $t_{\text{ств}} - t_{\text{в}} = 12,50$ мин.) позволяет сохранить 1,34 квадратных метра площади жилого помещения, что например, по ценам 2021 года составляло 61289 рублей.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Пожарные расчеты, прибывшие и приступившие к тушению пожара за время менее 5 минут, наиболее эффективно уменьшают число погибших при пожаре в жилом секторе людей.
2. Наиболее эффективным для спасения людей от пожара в жилом секторе является оснащение объектов жилого сектора системами автоматической пожарной сигнализации (АПС) и автоматическими установками пожаротушения (АУПТ).
3. Основную стоимость материального ущерба от пожаров в домах и квартирах городов составляет стоимость уничтоженной и поврежденной пожаром жилой площади.
4. Минута сокращения времени до подачи первого пожарного ствола при пожарах в городах Воронежской области позволяла сохранить 1,34 квадратных метра площади жилого помещения.

Список источников

1. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара. Пожаровзрывобезопасность. Т.20. №9. 2011. С.42-48.
2. Хафизов Ф.Ш., Савин М.А. Об оценке эффективности оперативной деятельности пожарных подразделений. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 5. С. 375-390.
3. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс: учеб.-6-е издание переаб. и доп. М.: Дело, 2004. 576 с.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году: Статистический сборник. Под общей редакцией А.В. Матюшина. М.: ВНИИПО.2015. 124 с.
5. Постановление Правительства РФ от 1 сентября 2021 г. N 1464 «Об утверждении требований к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре». URL: <https://base.garant.ru/402704985/?ysclid=m93cd21bmu643886930/> (дата обращения: 15.03.2025).
6. О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий: приказ МЧС России № 625 от 24.12.2018. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_docLAW317860/ (дата обращения: 15.03.2025).
7. Загуменнова М.В., Порошин А.А., Фирсов А.Г. Методологический подход к определению материального ущерба от пожаров // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 64–79. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-6.
8. Загуменнова М. В. (2023). Алгоритмизация процессов расчета материального ущерба от пожаров. Информационное общество. (4). 118-126. извлечено от <http://infosoc.iis.ru/article/view/1045/>(дата обращения: 15.03.2025).

9. Приказ Министра Российской Федерации № 553/пр «О показателях средней рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого фонда по субъектам Российской Федерации на IV квартал 2019 года. URL:<https://minstroyrf.gov.ru/docs/18981/> (дата обращения: 15.03.2025).

10. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29.09.2020 № 557/пр «О показателях средней рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по субъектам Российской Федерации на IV квартал 2020 года» URL:<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010060055/> (дата обращения: 15.03.2025).

11. Приказ Минстроя России от 28.09.2021 N 699/пр «О показателях средней рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по субъектам Российской Федерации на IV квартал 2021 года» URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_397488/ (дата обращения: 15.03.2025).

References

1. Brushlinsky N.N., Sokolov S.V. On rationing the arrival time of fire departments to the fire site. Fire and explosion safety. Vol.20. No. 9. 2011. pp.42-48.

2. Khafizov F.Sh., Savin M.A. On evaluating the effectiveness of operational activities of fire departments. Electronic scientific journal "Oil and Gas business". 2014. No. 5. pp. 375-390.

3. Magnus Ya.R., Katyshev P.K., Peresetsky A.A. Econometrica. Initial course: studies-6th edition reprint. Moscow: Delo, 2004. 576 p

4. Fires and fire safety in 2014: A statistical collection. Under the general editorship of A.V. Matyushin. Moscow: VNIPO.2015. 124 p.

5. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1464 dated September 1, 2021 "On Approval of requirements for equipping protection facilities with automatic fire extinguishing systems, fire alarm system, warning system and evacuation control in case of fire." URL: <https://base.garant.ru/402704985/?ysclid=m93cd21bmu643886930/> (accessed: 03.15.2025).

6. On the formation of electronic databases for accounting fires and their consequences: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 625 dated 12/24/2018. URL: http://www.consultant.ru / document/cons_doc LAW 317860/ (accessed: 03.15.2025).

7. Zagumennova M.V., Poroshin A.A., Firsov A.G. A methodological approach to determining material damage from fires // Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. 2021. No. 4. pp. 64-79. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-6.

8. Zagumennova M. V. (2023). Algorithmization of the calculation of material damage from fires. Information Society. (4). 118-126. extracted from <http://infosoc.iis.ru/article/view/1045> /(accessed: 03.15.2025).

9. Order of the Minister of the Russian Federation No. 553/пр "On the indicators of the average market value of one square meter of the total area of the housing stock in the subjects of the Russian Federation for the fourth quarter of 2019. URL:[https://minstroyrf.gov.ru/docs/18981 /](https://minstroyrf.gov.ru/docs/18981/) (accessed: 03.15.2025).

10. Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated 09/29/2020 No. 557/пр "On indicators of the average market value of one square meter of the total area of residential premises in the subjects of the Russian Federation for the fourth quarter of 2020" URL:<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010060055> / (accessed: 03.15.2025).

11. Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 09/28/2021 N 699/пр "On indicators of the average market value per square meter of the total area of residential premises in the subjects of the Russian Federation for the fourth quarter of 2021" URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_397488/ (accessed: 03.15.2025).

Информация об авторах

С.Н. Тростянский – доктор технических наук, доцент
Д.С. Королев – кандидат технических наук, доцент

Е.З. Арифиллин – кандидат технических наук

Information about the author

S.N. Trostyansky – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

D.S. Korolev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

E.Z. Arifullin – Candidate of Technical Science

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.06.2025, одобрена после рецензирования 18.08.2025, принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 15.06.2025, approved after reviewing 18.08.2025, accepted for publication 01.09.2025.