

Научная статья

УДК 004.051; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-56-63

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ УПРАВЛЕНИЯ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ МЧС РОССИИ

✉ Счастливцев Владимир Александрович.

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

Биятдинов Камиль Закирович.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора

Александра I, Санкт-Петербург, Россия

✉ vlsch1004@mail.ru

Аннотация. Определены основные параметры, влияющие на эффективность функционирования центров управления в кризисных ситуациях МЧС России. В модели предлагается оригинальный подход к расчёту значений интегрального показателя эффективности, математическое описание взаимосвязей и применение корректирующих коэффициентов. Модель основана на систематизированном анализе факторов, влияющих на работу центров управления в кризисных ситуациях, и позволяет обоснованно совершенствовать процессы управления в организационных системах. Разработка интегральной математической модели для оценки эффективности центров управления в кризисных ситуациях актуальна в связи с ростом количества и сложности задач в условиях неопределённости. Модель учитывает как технические параметры, так и человеческий фактор, обеспечивая комплексный подход. Теоретическая значимость модели состоит в развитии методологической базы для анализа сложных организационных систем. Её принципы могут быть адаптированы для применения в других предметных областях, расширяя теоретический потенциал. Практическая значимость модели проявляется в возможности её использования для повышения эффективности руководства центрами управления в кризисных ситуациях, выявления недостатков и оптимизации процессов принятия решений. Она позволяет своевременно устранять проблемы, что способствует повышению готовности системы к чрезвычайным ситуациям.

Ключевые слова: интегральная математическая модель, оценка состояния, оценка эффективности функционирования, центр управления в кризисных ситуациях, управление, организационные системы

Для цитирования: Счастливцев В.А., Биятдинов К.З. Интегральная математическая модель для оценки состояния и эффективности функционирования центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 1. С. 56–63. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-56-63.

Scientific article

INTEGRAL MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE STATUS AND EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF THE CRISIS MANAGEMENT CENTERS OF THE EMERCOM OF RUSSIA

✉ Schastlivtsev Vladimir A.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

Bilyatdinov Kamil Z.

Emperor Alexander I Saint-Petersburg state transport university, Saint-Petersburg, Russia

✉ vlsch1004@mail.ru

Abstract. The article identifies the main parameters influencing the efficiency of the functioning of crisis management centers of the EMERCOM of Russia. The model proposes an original approach to calculating the values of the integral efficiency indicator, providing a mathematical description of interrelationships and the use of corrective coefficients. The model is based on a systematic analysis of factors affecting the operation of crisis management centers and enables well-grounded improvements to management processes in organizational systems. The development of an integral mathematical model for assessing the efficiency of crisis management centers is relevant due to the growing number and complexity of tasks under conditions of uncertainty. The model takes into account both technical parameters and human factors, ensuring a comprehensive approach. The theoretical significance of the model consists in advancing the methodological framework for analyzing complex organizational systems. Its principles can be adapted for application in other subject areas, expanding its theoretical potential. The practical significance of the model is demonstrated by its ability to improve the efficiency of managing crisis management centers, identify shortcomings, and optimize decision-making processes. It allows for timely problem resolution, which enhances the system's readiness for emergency situations.

Keywords: integral mathematical model, assessment of the state, assessment of the effectiveness of functioning, crisis management center, management, organizational systems

For citation: Schastlivtsev V.A., Bilyatdinov K.Z. Integral mathematical model for assessing the status and efficiency of the functioning of the crisis management centers of the EMERCOM of Russia // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 1. P. 56–63. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-56-63.

Введение

Актуальность разработки и внедрения интегральной математической модели для оценки состояния и эффективности функционирования (модель) центров управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) МЧС России обусловлена повышением количества и сложности задач, с которыми сталкиваются сотрудники ЦУКС. В условиях неопределенности и динамичных изменений внешней среды необходимы научно обоснованные методологические решения для учёта различных аспектов функционирования ЦУКС как важнейших организационных систем в составе МЧС России. При этом эффективность управления ЦУКС напрямую влияет на оперативность, качество принимаемых решений и уровень готовности ЦУКС к реагированию на чрезвычайные ситуации (ЧС).

Поэтому в модели должны учитываться как технические параметры, так и человеческий фактор, обеспечивая комплексный подход к повышению эффективности функционирования ЦУКС в целом.

Анализ открытых научных исследований показывает, что существует ряд работ, посвященных вопросам оценки эффективности принятия решений при ЧС.

В частности в работе [1] предложена методика, основанная на анализе дерева отказов, которое используется для описания логических связей между условиями и факторами, приводящими к возникновению и развитию ЧС, позволяющая рассматривать различные альтернативные действия по реагированию с учетом различных сценариев развития ЧС, проводить ранжирование возможных альтернативных действий и выбирать наиболее эффективное.

В исследовании [2] рассматриваются особенности современных информационных технологий, делается особый акцент на технических особенностях процессов принятия управленческих решений в условиях ЧС. Однако вопросы интегральной оценки эффективности в данных работах затронуты не были.

В статье [3] обоснован общий подход к оценке эффективности функционирования ЦУКС, сформулирована проблема разработки инструментария оценки эффективности его функционирования, однако, данные инструменты не представлены.

Остудин Н.В. и В.И. Антюхов [4, 5] предложили подход к оценке эффективности системы интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц ЦУКС МЧС России, но не на ЦУКС как организационной системе в целом. Аналогично в статье [6] предложен подход лишь к оценке действий оперативной дежурной службы при реагировании на техногенные пожары по каждому основному показателю, характеризующему качество работы ЦУКС.

В статье [7] авторы, напротив, предложили метод, позволяющий решать задачи определения количественных значений обобщенных показателей эффективности и результативности исключительно технических средств, а на их основе производить выбор предпочтительного варианта для включения в структуру организационно-технических систем.

Анализ данных исследований показывает, что в целом отсутствуют системные решения, в полной мере учитывающие все особенности функционирования ЦУКС МЧС России.

Существующие нормативные документы¹ также регламентируют деятельность ЦУКС, но не содержат конкретных методик оценки их эффективности.

Таким образом, задачей настоящего исследования является разработка интегральной математической модели для оценки состояния и эффективности функционирования ЦУКС МЧС России, учитывающей параметры функционирования и взаимосвязь элементов системы. В составе модели необходимо определить основные параметры, влияющие на эффективность работы ЦУКС, а также предложить алгоритм расчета интегрального показателя эффективности ЦУКС.

Методы исследования

Предлагаемая модель предназначена для комплексной оценки состояния и эффективности функционирования ЦУКС как организационной системы с целью определения недостатков и для формирования обоснованных рекомендаций по их своевременному устранению. Модель основана на мультикритериальном подходе с использованием линейной зависимости [8, 9], нормализации данных, взвешенной суммы параметров, корректирующих коэффициентов и описания взаимосвязей между параметрами.

В процессе анализа работы ЦУКС предполагается, что все факторы, влияющие на её функционирование, поддаются количественной оценке. Кроме того, считается, что между уровнями системы и её общей эффективностью существует линейная взаимосвязь, где

¹ Об утверждении Правил обеспечения центрами управления в кризисных ситуациях территориальных органов МЧС России координации деятельности органов повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и органов управления гражданской обороной, организации информационного взаимодействия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций на межрегиональном и региональном уровнях: приказ МЧС России от 5 июля 2021 г. № 430. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

изменение уровней приводит к прямо пропорциональному изменению эффективности. Эти условия позволяют упростить исследование, сосредотачиваясь на ключевых аспектах работы системы.

На основе анализа научной литературы и нормативных документов² были определены основные параметры, влияющие на эффективность работы ЦУКС (рис.).

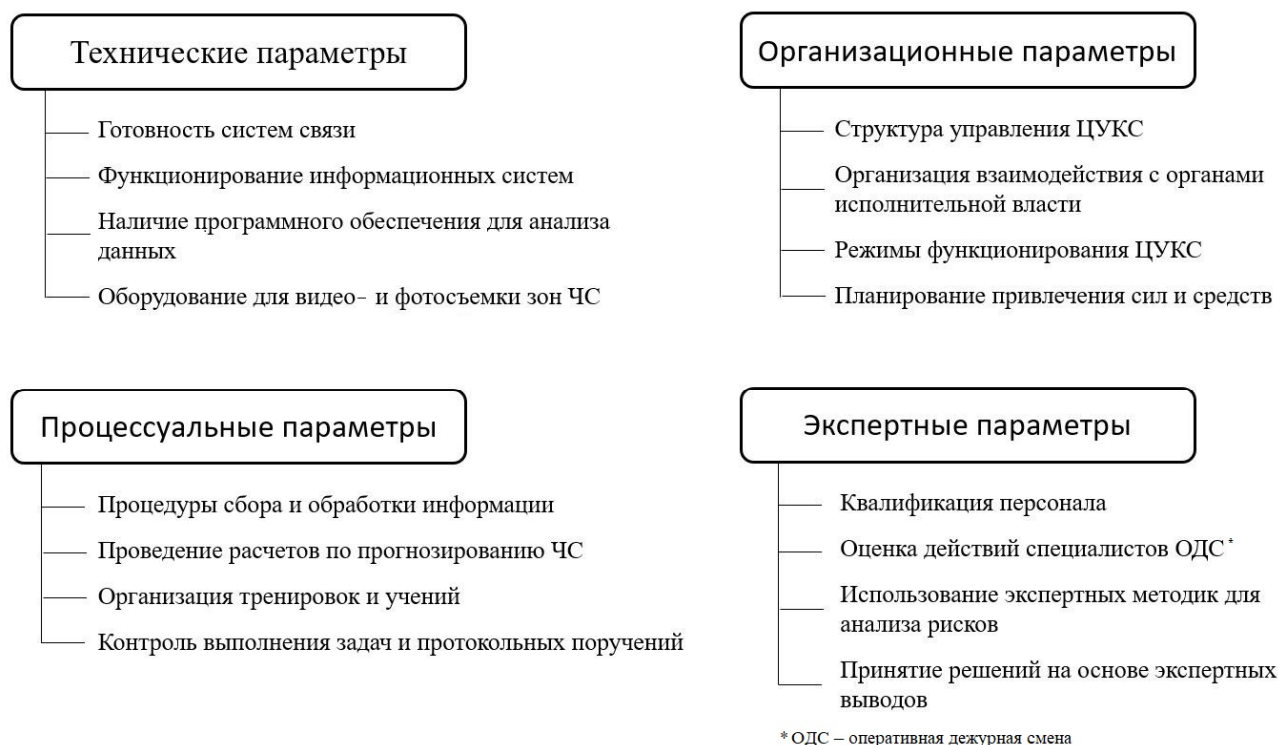


Рис. Основные параметры, влияющие на эффективность функционирования ЦУКС

Результаты исследования

Алгоритм расчета интегрального показателя эффективности включает следующие этапы:

1. Формирование базы данных.

Сбор исходных данных о состоянии параметров. Данные могут быть получены из отчетов, результатов тестирования, экспертных оценок и других источников.

2. Нормализация данных.

Для обеспечения возможности сравнения параметров с разными единицами измерения все значения приводятся к единой шкале от 0 до 1. Например, если значение параметра x_i находится в диапазоне $[a, b]$, то нормализованное значение x'_i рассчитывается по формуле:

$$x'_i = \frac{x_i - a}{b - a}.$$

3. Определение весовых коэффициентов.

Важность каждого параметра определяется с помощью экспертных оценок. Для этого проводится опрос среди экспертов, а затем рассчитываются нормированные коэффициенты важности w_i для каждого параметра.

4. Расчёт значений интегрального показателя эффективности.

² Там же.

Интегральный показатель эффективности E рассчитывается как взвешенная сумма нормализованных значений всех параметров:

$$E = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i,$$

где w_i – весовой коэффициент для i -го параметра; x_i – значение i -го параметра; n – общее количество параметров.

5. Оценка согласованности мнений экспертов.

Для проверки надежности результатов используется коэффициент конкордации (W). Если $W \geq 0,7$, мнения экспертов считаются согласованными, в противном случае проводится повторный анализ [10].

Для учета взаимосвязи между параметрами предлагается применять мультикритериальный подход, основанный на следующих принципах:

1. Математическое описание взаимосвязей.

Между параметрами существуют как прямые, так и обратные зависимости. Например, увеличение уровня подготовки персонала может повысить качество принимаемых решений, что, в свою очередь, сокращает время реагирования на ЧС.

Функциональные зависимости между параметрами можно описать следующими уравнениями:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_k);$$

$$y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

где y_1, y_2 – производные показатели, зависящие от базовых параметров x_1, x_2, \dots, x_k .

2. Введение корректирующих коэффициентов.

Для учета неопределенностей используются корректирующие коэффициенты a_i , которые позволяют адаптировать модель к конкретным условиям:

$$E_{\text{final}} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x'_i \cdot a_i.$$

3. Оценка рисков ЦУКС.

В рамках модели предлагается реализовать механизм оценки рисков ЦУКС, связанных с недостаточным уровнем готовности системы. Это позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы и принимать профилактические меры. На практике непосредственную оценку рисков рационально проводить с учётом специфики и условий функционирования конкретного ЦУКС.

Для проверки модели представлена демонстрация ее потенциальной возможности:

1. Параметры:

Техническая готовность (x_1) = 0,8;

Организационная эффективность (x_2) = 0,7;

Процессуальная эффективность (x_3) = 0,6;

Экспертная оценка (x_4) = 0,9.

2. Весовые коэффициенты:

$w_1 = 0,4$;

$w_2 = 0,3$;

$w_3 = 0,2$;

$w_4 = 0,1$.

3. Расчет интегрального показателя:

$$E = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + w_4 \cdot x_4 ;$$

$$E = 0,4 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,7 + 0,2 \cdot 0,6 + 0,1 \cdot 0,9 = 0,74 .$$

Таким образом, уровень эффективности работы ЦУКС составляет 74 %.

При этом важно отметить, что для наиболее рационального применения модели на практике необходимо определить критерии эффективности ЦУКС для различных потенциально возможных условий (режимов) функционирования.

Заключение

Разработанная интегральная математическая модель позволяет: провести оценку состояния и эффективности функционирования ЦУКС МЧС России, учитывая взаимосвязь между компонентами организационной системы; выявлять недостатки в работе и принимать своевременные решения (меры) по их устранению.

Модель предназначена для применения исключительно в отношении организационных систем, функционирующих в схожих условиях. Кроме того, для обеспечения корректной работы модели необходима регулярная актуализация данных, что требует постоянного внимания и обновления информации. Эти особенности необходимо учитывать при использовании модели для анализа и прогнозирования.

Научная новизна модели заключается в том, что предлагается комплексный подход к оценке состояния и эффективности функционирования ЦУКС МЧС России, учитывая и организационные, и технические параметры. Предложенная модель интегрирует множество параметров в единый показатель.

Теоретическая значимость модели состоит в развитии методологической базы для анализа сложных организационных систем. Поэтому модель может применяться в других предметных областях.

Практическая значимость модели заключается в возможности применения в организационных системах для повышения эффективности управления и совершенствования процессов принятия решений.

Таким образом, разработанная модель представляет собой инновационное методологическое решение в области совершенствования управления организационными системами. В перспективе применение модели будет являться значительным вкладом в повышение эффективности функционирования ЦУКС МЧС России.

Список источников

1. Максимов А.В., Игошин Д.Д. Методика принятия решений в условиях чрезвычайной ситуации на основе анализа дерева отказов // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2024. № 2 (46). С. 75–84. DOI: 10.37468/2307-1400-2024-2-75-84. EDN CCFSML.
2. Тихонов М.М., Соколова А.А., Соколова С.Н. Современные информационные технологии и управление рисками в условиях чрезвычайных ситуаций // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2020. № 51-1. С. 35–37. EDN YLOMSD.
3. Иванов А.Ю., Клавдеев А.Г., Петросян С.А. Концепция оценки эффективности функционирования центра управления в кризисных ситуациях как сложной организационно-технической системы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 1. С. 69–75. EDN TUFKOV.
4. Антюхов В.И., Остудин Н.В. Моделирование процесса интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 2. С. 78–94. EDN ZRPWPF.
5. Остудин Н.В., Антюхов В.И. Оценка эффективности системы интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России при обеспечении безопасности на транспорте // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 5-3 (25-3). С. 122–128.

6. Подходы к оценке действий оперативной дежурной смены при реагировании на техногенные пожары / Е.В. Скочилов [и др.] // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2022. № 3 (7). С. 80–83. DOI: 10.34987/2712-9233.2022.72.35.013. EDN OOMCIR.

7. Метод многокритериальной оценки эффективности технических средств в организационно-технических системах / Д.Ф. Кожевин [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 4. С. 59–70. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-59-70. EDN NWHMEP.

8. Петровский А.Б., Ройзензон Г.В. Многокритериальный подход к построению интегральных показателей // Таврический вестник информатики и математики. 2008. № 2 (13). С. 143–150. EDN VNYQWD.

9. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход. М.: ООО Изд. фирма «Физико-математическая литература», 2004. 176 с. ISBN 5-9221-0517-5. EDN UGLLBP.

10. Лубенец Ю.В. Альтернативный коэффициент конкордации при наличии связанных рангов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17. № 1. С. 40–45. DOI: 10.36622/VSTU.2021.17.1.005. EDN XBBBII.

References

1. Maksimov A.V., Igoshin D.D. Metodika prinyatiya reshenij v usloviyah chrezvychajnoj situacii na osnove analiza dereva otkazov // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2024. № 2 (46). S. 75–84. DOI: 10.37468/2307-1400-2024-2-75-84. EDN CCFSML.

2. Tihonov M.M., Sokolova A.A., Sokolova S.N. Sovremennye informacionnye tekhnologii i upravlenie riskami v usloviyah chrezvychajnyh situacij // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2020. № 51-1. S. 35–37. EDN YLOMSD.

3. Ivanov A.Yu., Klavdeev A.G., Petrosyan S.A. Konceptiya ocenki effektivnosti funkcionirovaniya centra upravleniya v krizisnyh situacijah kak slozhnoj organizacionno-tekhnicheskoy sistemy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 1. S. 69–75. EDN TUFKOV.

4. Antyuhov V.I., Ostudin N.V. Modelirovanie processa intellektual'noj podderzhki deyatel'nosti dolzhnostnyh lic centrov upravleniya v krizisnyh situacijah MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2017. № 2. S. 78–94. EDN ZRPWPF

5. Ostudin N.V., Antyuhov V.I. Ocenka effektivnosti sistemy intellektual'noj podderzhki deyatel'nosti dolzhnostnyh lic centrov upravleniya v krizisnyh situacijah MCHS Rossii pri obespechenii bezopasnosti na transporte // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 2016. T. 4. № 5-3 (25-3). S. 122–128.

6. Podhody k ocenke dejstvij operativnoj dezhurnoj smeny pri reagirovanii na tekhnogennye pozhary / E.V. Skochilov [i dr.] // Aktual'nye problemy bezopasnosti v tekhnosfere. 2022. № 3 (7). S. 80–83. DOI: 10.34987/2712-9233.2022.72.35.013. EDN OOMCIR.

7. Metod mnogokriterial'noj ocenki effektivnosti tekhnicheskikh sredstv v organizacionno-tekhnicheskikh sistemah / D.F. Kozhevin [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2023. № 4. S. 59–70. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-59-70. EDN NWHMEP.

8. Petrovskij A.B., Rojzenzon G.V. Mnogokriterial'nyj podhod k postroeniyu integral'nyh pokazatelej // Tavricheskij vestnik informatiki i matematiki. 2008. № 2 (13). S. 143–150. EDN VNYQWD.

9. Nogin V.D. Prinyatie reshenij v mnogokriterial'noj srede. Kolichestvennyj podhod. M.: ООО Изд. фирма «Физико-математическая литература», 2004. 176 с. ISBN 5-9221-0517-5. EDN UGLLBP.

10. Lubenec Yu.V. Al'ternativnyj koefficient konkordacii pri nalichii svyazannyh rangov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021. T. 17. № 1. S. 40–45. DOI: 10.36622/VSTU.2021.17.1.005. EDN XBBBII.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 28.01.2025; одобрена после рецензирования: 04.03.2025;
принята к публикации: 05.03.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 28.01.2025; approved after review: 04.03.2025;
accepted for publication: 05.03.2025

Информация об авторах:

Счастливцев Владимир Александрович, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: vlsch1004@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7484-7413>, SPIN-код: 8548-1633

Биятдинов Камиль Закирович, ИО заведующего кафедрой, профессор кафедры информатики и информационной безопасности Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (190031, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9), доктор технических наук, кандидат военных наук, доцент, e-mail: k74b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4027-1449>, SPIN-код: 5877-3502

Information about authors:

Schastlivtsev Vladimir A., postgraduate student of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: vlsch1004@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7484-7413>, SPIN: 8548-1633

Bilyatdinov Kamil Z., acting head of department, professor of the department of informatics and information security of Emperor Alexander I Saint-Petersburg state transport university (190031, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 9), doctor of engineering sciences, candidate of military sciences, associate professor, e-mail: k74b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4027-1449>, SPIN: 5877-3502