Научная статья
УДК 519.85:614.8

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС РОССИИ

✉Шофеев Тимур Германович;
Сафарова Светлана Юрьевна;
Матвеев Александр Владимирович.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉*shofeevtg@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрены вопросы решения задачи распределения пожарно-спасательной техники между территориальными подразделениями в условиях ресурсных ограничений. Проанализированы преимущества и недостатки симплекс-метода при решении данной задачи. Предложена оптимизационная модель и алгоритм распределения техники, в которой в качестве целевой функции вместо традиционно используемого показателя экономической выгоды принимается удовлетворение потребностей территориальных подразделений. Обосновывается, что модель распределения с учетом относительной потребности подразделений оказывается более рациональной для распределения пожарно-спасательной техники, чем модель линейного программирования.

Ключевые слова: модель, пожарно-спасательная техника, пожарно-спасательное подразделение, распределение, потребность, ограниченность

Для цитирования: Шофеев Т.Г., Сафарова С.Ю., Матвеев А.В. Модель и алгоритм оптимального распределения ресурсов подразделений МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 2. С. 125–133.

Scientific article

MODEL AND ALGORITHM FOR THE OPTIMAL DISTRIBUTION OF RESOURCES OF UNITS OF EMERCOM OF RUSSIA

✉Shofeev Timur G.;
Safarova Svetlana Yu.;
Matveev Aleksandr V.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉*shofeevtg@yandex.ru*

Abstract. The article considers the issues of solving the problem of the distribution of fire and rescue equipment between territorial divisions under resource constraints. The advantages and disadvantages of the simplex method in solving this problem are analyzed. An optimization model and an algorithm for the distribution of equipment are proposed, in which the satisfaction of the needs of territorial divisions is taken as an objective function instead of the traditionally used indicator of economic benefit. It is proved that the distribution model, taking into account the relative needs of the units, turns out to be more rational for the distribution of fire and rescue equipment than the linear programming model.

Keywords: model, fire-rescue equipment, fire-rescue unit, distribution, need, limitation

For citation: Shofeev T.G., Safarova S.Yu., Matveev A.V. Model and algorithm for the optimal distribution of resources of units of EMERCOM of Russia // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 2. P. 125–133.

Введение

Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) продолжает оставаться одной из важнейших задач государственной политики нашего государства и являться одной из функций системы обеспечения национальной безопасности. В условиях объективно существующих ресурсных ограничений и рисков техногенных катастроф и стихийных бедствий проблема эффективного управления силами и средствами подразделений МЧС России, является весьма важной. Одной их актуальных задач в этой области является организация материально-технического обеспечения территориальных подразделений МЧС России [1], предполагающая оптимальное распределение ресурсов между ними в интересах обеспечения требуемого уровня безопасности жизнедеятельности населения. Для решения такого рода задач чаще всего используются методы линейного программирования [2], целочисленного программирования [3], динамического программирования [4], методы стохастического моделирования [5–7], методы кластерного анализа [8], методы имитационного моделирования [9, 10], генетические алгоритмы [11], а также эвристические методы и интуитивные модели. В большинстве из вышеперечисленных подходов в качестве целевой функции выступают показатели экономической эффективности. Однако данный подход не может быть в полной мере применим при решении задач распределения ресурсов подразделений МЧС России, в частности пожарно-спасательной техники (ПСТ), когда каждому территориальному или функциональному подразделению должна быть выделена соответствующая техника для выполнения задач по предназначению. Данная совокупность факторов требует постановки задачи по разработке модели оптимального распределения ПСТ между подразделениями, где в качестве целевой функции будет приниматься суммарное удовлетворение их потребностей.

Методы исследования

Предположим, что в некотором территориальном органе МЧС России (далее – система) в интересах повышения эффективности реагирования и ликвидации происшествий и ЧС осуществляется распределение ПСТ с общим объемом выделяемых средств на ее закупку, равным Sum. В системе имеется m пожарно-спасательных подразделений (ПСП) и n типов запрашиваемой ПСТ. Пусть i – одно из подразделений, запрашивающих ПСТ, где i=1,2,…,m; j – один из типов ПСТ, где j=1,2,…,n. В качестве исходных параметров модели будут рассматриваться:

A_{ij} – количество ПСТ j, обеспечивающее потребность ПСП i;

D_{ij} – количество ПСТ j, имеющейся в настоящее время в распоряжении ПСП i;

C_{ij} – максимально возможное количество ПСТ вида j, которое может содержаться в ПСП i;

x_{ij} – количество ПСТ j, выделяемое ПСП i для решения задач по предназначению;

P_j – стоимость единицы ПСТ вида j.

Пусть Ys_{ij} – срок службы, а Y_{ij} – средний срок эксплуатации ПСТ вида j подразделением i. Показатель степени износа (S_{ij}) ПСТ j в ПСП i может быть найден на основе следующего выражения:

$$S_{ij} = \begin{cases} \dfrac{Y_{ij}}{Ys_{ij}}, \; если \; Y_{ij} < Ys_{ij} \\ 1, \; если \; Y_{ij} \geq Ys_{ij} \end{cases}.$$

Определим Z_{ij} как уровень обеспеченности ПСТ j в ПСП i, который можно определить, используя выражение:

$$Z_{ij} = \frac{D_{ij}\left(1 - S_{ij}\right) + x_{ij}}{C_{ij}}.$$

Обеспеченность ПСП i всеми типами ПСТ в этом случае будет соответственно определяться с помощью выражения:

$$Z_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{D_{ij}\left(1-S_{ij}\right)+x_{ij}}{C_{ij}}.$$

Суммируя данный показатель по всем m подразделениям, входящим в территориальный орган МЧС России, можно определить показатель обеспеченности ПСТ для всей системы в целом:

$$Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} \frac{D_{ij}\left(1-S_{ij}\right)+x_{ij}}{C_{ij}}.$$

Данный показатель может выступать в качестве целевой функции оптимизационной задачи, которая состоит в распределении выделяемой ПСТ для обеспечения потребностей каждого ПСП x_{ij} таким образом, чтобы суммарный показатель обеспеченности достигал максимального значения:

$$Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} \frac{D_{ij}\left(1-S_{ij}\right)+x_{ij}}{C_{ij}} \to \max$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} x_{ij} \le \begin{cases} A_{ij},\ \textit{если}\ A_{ij} \le C_{ij} - D_{ij}\left(1-S_{ij}\right) \\ C_{ij} - D_{ij}\left(1-S_{ij}\right)\ \textit{если}\ A_{ij} > C_{ij} - D_{ij}\left(1-S_{ij}\right) \end{cases} \\ \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} p_j \le Sum \\ x_{ij} \ge 0 \end{cases}.$$

Преобразуем целевую функцию к следующему виду:

$$Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} \frac{x_{ij}}{C_{ij}} + W \to \max,$$

где $W = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} \frac{D_{ij}\left(1-S_{ij}\right)}{C_{ij}}$.

Ограничения могут быть представлены в виде:

$$\begin{cases} x_{ij} \le \min\left\{A_{ij}, \left(C_{ij} - D_{ij}\left(1-S_{ij}\right)\right)\right\} = b_{ij} \\ \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} p_j \le Sum \\ x_{ij} \ge 0 \end{cases}.$$

Приводя данную оптимизационную задачу к канонической форме записи, получаем:

$$\sum_{k=1}^{2(m\times n)+1} C_k x_k \to \max,$$

если $k=1,\ldots,m\times n$, тогда $C_k=\dfrac{1}{C_{ij}}$, $x_k=x_{ij}$, $i=1,\ldots,m$ $j=1,\ldots,n$;

если $k=m\times n+1,\ldots,2\times(m\times n)$, тогда:

$$\begin{cases} x_{11} & 0 & \ldots & 0 & x'_{11} & 0 & \ldots & 0 & 0 & =b_{11} \\ 0 & x_{12} & \ldots & 0 & 0 & x'_{12} & \ldots & 0 & 0 & =b_{12} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \ldots & x_{mn} & 0 & 0 & \ldots & x'_{mn} & 0 & =b_{mn} \\ x_{11}p_1 & x_{12}p_2 & \ldots & x_{mn}p_n & 0 & 0 & \ldots & 0 & x'_{mp} & =Sum \end{cases},$$

$x_{ij}\geq 0,\ i=1,\ldots,m\ \ j=1,\ldots,n$,

$C_k=0$, $x_k=x_{ij}$, $x_{ij}\geq 0,\ i=1,\ldots,m\ \ j=1,\ldots,n$;

если $k=2\times(m\times n)+1$, тогда $C_k=0$, $x_{2(m\times n)+1}=x_{mp}$.

Таким образом, получаем следующую постановку задачи линейного программирования в канонической форме:

$$\sum_{k=1}^{2(m\times n)+1} C_k x_k \to \max, \tag{1}$$

где если $k=1,\ldots,m\times n$, тогда $C_k=0$, $x_k=x_{ij}$, (2)

если $k=m\times n+1$, тогда $C_k=0$, $x_{m\times n+1}=x_{mp}$, (3)

если $k=m\times n+2,\ldots,2\times(m\times n)+1$, тогда $C_k=\dfrac{1}{C_{ij}}$, $x_k=x_{ij}$, (4)

$i=1,\ldots,m\ \ j=1,\ldots,n$.

Так, получаем:

$$\begin{array}{cccccccccc} x_1 & x_2 & x_{m\times n} & x_{m\times n+1} & x_{m\times n+2} & x_{m\times n+3} & x_{2(m\times n)+1} & & & b \end{array}$$

$$\begin{cases} 1 & 0 & \ldots & 0 & 0 & 1 & 0 & \ldots & 0 & b_1 \\ 0 & 1 & \ldots & 0 & 0 & 0 & 1 & \ldots & 0 & b_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 & 0 & 0 & 0 & \ldots & 1 & b_{m\times n} \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 & p_1 & p_2 & \ldots & p_n & sum \end{cases}, \tag{5}$$

где $b_k=b_{ij}$, $k=1,\ldots,m\times n$.

Представленная задача линейного программирования (1–5) может быть решена с использованием стандартного симплекс-метода [12].

Проводя анализ целевой функции (1), можно отметить следующее. Если $k=m\times n+2,\ldots,2\times(m\times n)+1$, то $C_k=\dfrac{1}{C_{ij}}$. В этом случае получается, что чем больше C_{ij}, тем меньше C_k. То есть значение C_k будет влиять на приоритет распределения ПСТ при применении симплекс-метода решения задачи линейного программирования. Таким образом, ПСП с наименьшим C_{ij} будет выделен ресурс j первым. Однако данный подход к распределению ПСТ между ПСП едва ли можно считать рациональным.

Результаты исследования и их обсуждение

Для более рационального решения поставленной выше задачи распределения ПСТ между ПСП необходимо несколько модифицировать данную модель.

Согласно представленной выше постановке задачи, показатель $D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right)$ можно интерпретировать как объем ПСТ j в ПСП i с учетом уже отработанного техникой срока, а показатель $\left(C_{ij} - D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right)\right)$, в свою очередь, будет представлять собой фактическую потребность ПСТ j в ПСП i. Очевидно, что распределение ПСТ должно быть связано именно с ее потребностью каждым подразделением.

Рассмотрим следующую ситуацию. Допустим для некоторого ПСП A $C_{ij} = 100$, а $D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right) = 90$. В этом случае потребность в технике вида j для данного подразделения $C_{ij} - D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right) = 10$. Для другого ПСП B предположим $C_{ij} = 10$, а $D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right) = 3$. Таким образом, дефицит в технике j для данного подразделения $C_{ij} - D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right) = 7$. Предположим, что значение показателя A_{ij} для каждого из этих ПСП равно 2. Однако, несмотря на то, что дефицит техники вида j в ПСП A больше, чем в ПСП B, более рациональным представляется выделение ПСТ j подразделению B.

Введем показатели относительной потребности ПСТ вида j в подразделениях в следующем виде:

$$\left(C_{ij} - D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right)\right) \frac{1}{C_{ij}}. \tag{6}$$

В итоге получаем следующую постановку оптимизационной задачи:

$$\sum_{k=1}^{2(m \times n)+1} C_k x_k \to \max ,$$

где: если $k = 1, \ldots, m \times n$, тогда $C_k = 0$, $x_k = x_{ij}$,

если $k = m \times n + 1$, тогда $C_k = 0$, $x_{m \times n+1} = x_{mp}$,

если $k = m \times n + 2, \ldots, 2 \times \left(m \times n\right) + 1$, тогда $C_k = \left(C_{ij} - D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right)\right) \frac{1}{C_{ij}}$, $x_k = x_{ij}$,

$i = 1, \ldots, m$ $j = 1, \ldots, n$.

Соответственно при данной постановке задачи получается, чем больше относительная потребность, тем выше вероятность того, что подразделение сможет получить приоритет при распределении ПСТ. Но даже при такой постановке задачи, вводя показатели относительной потребности (6), не удается в полной мере рационально решить задачу распределения техники, используя симплекс-метод.

Предположим, что в ПСП A для ПСТ вида j значение $C_{ij} = 100$, а $D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right) = 50$. В этом случае относительный дефицит техники j будет равен 0,5. С другой стороны, допустим, что для ПСТ вида j в ПСП B, $D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right)$=6, а объем $C_{ij} = 10$. Таким образом, согласно выражению (6) относительная потребность ПСТ j равна 0,4 соответственно. По правилу симплекс-метода сначала будет удовлетворяться запрос ПСП A на обеспечение техникой вида j. Фактически, толь ко после получения 11-й единицы ПСТ вида j относительная потребность в ПСП A составит 0,39, что окажется меньше относительной потребности в данном виде техники ПСП B. И после получения 1 единицы ПСТ вида j относительная потребность в ПСП B сразу уменьшается до 0,3, что снова окажется меньше, чем в ПСП A. В этом случае снова будет восстановлен приоритет ПСП A при распределении техники. Логичным было бы определенным образом чередовать приоритет в распределении между подразделениями.

Дальнейшая модификация предложенной выше модели состоит в определении сначала коэффициента абсолютной потребности техники вида j в ПСП i:

$$C_{ij} - D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right) - x_{ij},$$

а затем формирование на его основе модифицированного коэффициента относительной потребности:

$$q_{ij} = \left(C_{ij} - D_{ij} \times \left(1 - S_{ij}\right) - x_{ij}\right)\frac{1}{C_{ij}}.$$

Алгоритм распределения ПСТ заключается в том, что подразделение с наибольшей относительной потребностью получит приоритет при распределении, а далее, получая каждую единицу техники, выполняется пересчет и переоценка коэффициентов потребностей ПСП (рис.).

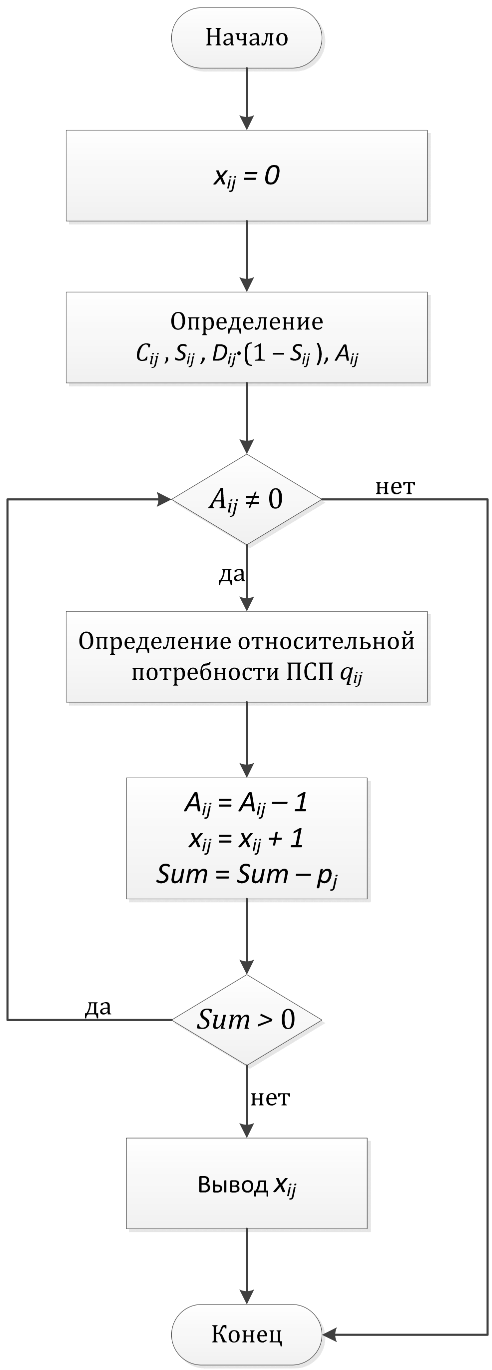

Рис. **Алгоритм распределения ПСТ на основе оценки относительной потребности ПСП**

Заключение

Разработанная модель и алгоритм позволяют оптимизировать распределение ресурсов (в том числе техники) между территориальными подразделениями, когда в качестве целевой функции рассматривается не значение экономической выгоды, а наибольшее удовлетворение потребностей ПСП при существующих ограничениях.

Решение задачи распределения ресурсов с использованием метода линейного программирования будет менее рациональным, в то время как предложенная в статье модель и алгоритм будут давать более надежный результат при их практическом применении.

Разработанная в статье модель может быть использована также и при распределении других видов ресурсов.

Список источников

1. Применение методов системного анализа при исследовании деятельности пожарно-спасательных подразделений / Н.В. Мартинович [и др.] // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 6 (31). С. 119. DOI: 10.15862/86TVN615. EDN VOBHHT.

2. Черных А.К., Буданов Д.С. Моделирование распределения сил и средств подразделений государственной противопожарной службы МЧС России на газотранспортной системе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2015. № 4 (16). С. 24–31. EDN WKRBPT.

3. Черных А.К. Яшин М.Г. Элементы оптимизации в плане технического прикрытия объектов на коммуникациях // Специальная техника и технологии транспорта. 2020. № 6 (44). С. 188–198. EDN MIXAUC.

4. Корнеев А.М., Лаврухина Т.В., Сметанникова Т.А. Решение задачи оптимального распределения ресурсов МЧС методом динамического программирования // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 71-1. С. 20–24. DOI: 10.18411/lj-03-2021-05. EDN ZYEAFY.

5. Зайченко Ю.С., Шкунов С.А., Тараканов Д.В. Исследование информационно-аналитической модели принятия решений по переоснащению парка основных пожарных автомобилей в территориальных пожарно-спасательных гарнизонах: материалы XXIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2017. С. 465–469. EDN ZFGFTJ.

6. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

7. Maximov A.V., Matveev A.V., Zavodskov G.N. Mathematical emergency response model of rescue services // Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021. 2021. P. 012124. EDN AWGTVT.

8. Методика определения потребности пожарно-спасательных подразделений в пожарной технике, оборудовании и пожарно-техническом вооружении / Н.В. Мартинович [и др.] // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 6 (31). С. 120. DOI: 10.15862/85TVN615. EDN VOBHID.

9. Zhou J., Tu C., Reniers G. Simulation analysis of fire truck scheduling strategies for fighting oil fires // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020. Vol. 67. P. 104205.

10. Ghasemi P., Babaeinesami A. Simulation of fire stations resources considering the downtime of machines: A case study // Journal of Industrial Engineering and Management Studies. 2020. Vol. 7. № 1. P. 161–176.

11. Biological-based genetic algorithms for optimized disaster response resource allocation / J.S. Chou [et al.] // Computers & Industrial Engineering. 2014. Vol. 74. P. 52–67.

12. Бутырский Е.Ю., Матвеев А.В. Математическое моделирование систем и процессов. СПб.: Инф. изд. учеб.-науч. центр «Стратегия будущего», 2022. 733 с. ISBN 978-5-4268-0064-9. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.

References

1. Primenenie metodov sistemnogo analiza pri issledovanii deyatel'nosti pozharno-spasatel'nyh podrazdelenij / N.V. Martinovich [i dr.] // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2015. T. 7. № 6 (31). S. 119. DOI: 10.15862/86TVN615. EDN VOBHHT.

2. Chernyh A.K., Budanov D.S. Modelirovanie raspredeleniya sil i sredstv podrazdelenij gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii na gazotransportnoj sisteme // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2015. № 4 (16). S. 24–31. EDN WKRBPT.

3. Chernyh A.K. Yashin M.G. Elementy optimizacii v plane tekhnicheskogo prikrytiya ob"ektov na kommunikaciyah // Special'naya tekhnika i tekhnologii transporta. 2020. № 6 (44). S. 188–198. EDN MIXAUC.

4. Korneev A.M., Lavruhina T.V., Smetannikova T.A. Reshenie zadachi optimal'nogo raspredeleniya resursov MCHS metodom dinamicheskogo programmirovaniya // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2021. № 71-1. S. 20–24. DOI: 10.18411/lj-03-2021-05. EDN ZYEAFY.

5. Zajchenko Yu.S., Shkunov S.A., Tarakanov D.V. Issledovanie informacionno-analiticheskoj modeli prinyatiya reshenij po pereosnashcheniyu parka osnovnyh pozharnyh avtomobilej v territorial'nyh pozharno-spasatel'nyh garnizonah: materialy XXIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 80-letiyu FGBU VNIIPO MCHS Rossii. Balashiha: VNIIPO MCHS Rossii, 2017. S. 465–469. EDN ZFGFTJ.

6. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

7. Maximov A.V., Matveev A.V., Zavodskov G.N. Mathematical emergency response model of rescue services // Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021. 2021. P. 012124. EDN AWGTVT.

8. Metodika opredeleniya potrebnosti pozharno-spasatel'nyh podrazdelenij v pozharnoj tekhnike, oborudovanii i pozharno-tekhnicheskom vooruzhenii / N.V. Martinovich [i dr.] // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2015. T. 7. № 6 (31). S. 120. DOI: 10.15862/85TVN615. EDN VOBHID.

9. Zhou J., Tu C., Reniers G. Simulation analysis of fire truck scheduling strategies for fighting oil fires // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020. Vol. 67. P. 104205.

10. Ghasemi P., Babaeinesami A. Simulation of fire stations resources considering the downtime of machines: A case study // Journal of Industrial Engineering and Management Studies. 2020. Vol. 7. № 1. P. 161–176.

11. Biological-based genetic algorithms for optimized disaster response resource allocation / J.S. Chou [et al.] // Computers & Industrial Engineering. 2014. Vol. 74. P. 52–67.

12. Butyrskij E.Yu., Matveev A.V. Matematicheskoe modelirovanie sistem i processov. SPb.: Inf. izd. ucheb.-nauch. centr «Strategiya budushchego», 2022. 733 s. ISBN 978-5-4268-0064-9. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 30.04.2023; одобрена после рецензирования: 30.05.2023;
принята к публикации: 31.05.2023
Information about the article:
The article was submitted to the editorial office: 30.04.2023; approved after review: 30.05.2023;
accepted for publication: 31.05.2023

Сведения об авторах:
Шофеев Тимур Германович, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: shofeevtg@yandex.ru
Сафарова Светлана Юрьевна, аспирант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: safarova-s@mail.ru
Матвеев Александр Владимирович, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: fcvega_10@mail.ru

Information about authors:
Shofeev Timur G., postgraduate of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: shofeevtg@yandex.ru
Safarova Svetlana Yu., postgraduate of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: safarova-s@mail.ru
Matveev Aleksandr V., head of the department of applied mathematics and information technology of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149) candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: fcvega_10@mail.ru