

УДК 622.8:504

Лонский Олег Васильевич

кандидат технических наук, доцент
кафедры Безопасность жизнедеятельности,
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет,
614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д.29
e-mail lov000@yandex.ru

Третьякова Полина Сергеевна

магистрант очной формы обучения направления
подготовки 20.04.01 Техносферная безопас-
ность, программа "Организация и управление
охраной труда и безопасностью производства",
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
e-mail info@tplusgroup.ru

**К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ
ОПТИМАЛЬНОГО
МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ
ФОРМИРОВАНИЙ НА ОПАСНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА**

Аннотация:

На предприятиях России более 340 тыс. опасных производственных объектов, в процессе эксплуатации которых высока вероятность аварий или аварийных ситуаций. Наряду с риском гибели людей и материального ущерба от аварии существуют и экологические риски (загрязнение природной среды, гибель фауны и флоры, изменение ландшафта местности (провалы) и т.д.). Главная задача аварийно-спасательного формирования на предприятии, где имеются опасные производственные объекты, – при возникновении чрезвычайной ситуации максимально быстро оказаться на месте аварийной ситуации, осуществить ее локализацию, спасение людей, предотвращение или уменьшение воздействия аварии на экологию (удаление загрязняющих веществ, тушение пожара и т.д.). Очевидно, что чем раньше аварийно-спасательное формирование прибывает на аварийный объект, тем меньше будет негативных последствий. Наличие на предприятии аварийно-спасательного формирования является одним из действенных методов управления экологическим риском, защищающих от аварий на опасных производственных объектах.

Многие предприятия (химические, нефтехимические, бурения и добычи нефти и газа, горно-обогатительные, пороховые и т.д.) имеют в своем составе ряд опасных производственных объектов, находящихся на территории предприятия на различных расстояниях.

В настоящее время нет официального документа, регулирующего порядок размещения ава-

DOI: 10.25635/2313-1586.2026.01.099

Lonsky Oleg V.

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
of the Department of Life Safety,
Perm National Research Polytechnic University,
29 Komsomolsky Prospekt, Perm, 614990
Perm Region,
e-mail lov000@yandex.ru

Tretyakova Polina S.

full-time Master's student
in the field of training 20.04.01
Technosphere safety,
program "Organization and management
of occupational safety and industrial safety",
Perm National Research Polytechnic University
e-mail info@tplusgroup.ru

**ON THE ISSUE OF CHOOSING
THE OPTIMAL LOCATION
FOR EMERGENCY RESCUE UNITS
AT HAZARDOUS PRODUCTION
FACILITIES IN ORDER TO REDUCE
ENVIRONMENTAL RISK**

Abstract:

There are more than 340 thousand hazardous production facilities at Russian enterprises. There is a high probability of accidents or emergency situations during the operation of these facilities. Along with the risk of loss of life and material damage from an accident, there are also environmental risks (pollution of the natural environment, loss of fauna and flora, changes in the landscape (sinkholes), etc.). The main task of an emergency rescue unit at an enterprise where there are hazardous production facilities is in case of an emergency at the facility. — to be at the scene of an emergency as quickly as possible, to localize it, rescue people, prevent or reduce the impact of an accident on the environment (removal of pollutants, fire extinguishing, etc.). Obviously, the sooner the rescue team arrives at the emergency facility, the fewer negative consequences there will be. The presence of an emergency rescue unit at the enterprise is one of the most effective methods of managing the environmental risk from accidents at hazardous production facilities. Many enterprises (chemical, petrochemical, mining, powder, etc.) include a number of hazardous production facilities that are located on the territory of the enterprise at various distances. Currently, there is no official document regulating the procedure for the deployment of an emergency rescue unit, in particular, at enterprises with several hazardous production facilities. In the studied literature, no methods have been proposed for solving the problem of determining the optimal location of an emergency rescue unit at enterprises. The paper considers three options for determining the conditionally optimal location of an emergency rescue unit at enterprises with a number of hazardous production facilities under certain assumptions.

рийно-спасательного формирования, в частности, на предприятиях, имеющих в своем составе несколько опасных производственных объектов. В литературе не предложено методов решения задачи определения оптимального расположения аварийно-спасательного формирования на предприятиях.

В работе рассмотрены три варианта определения условно оптимального расположения аварийно-спасательного формирования на предприятиях, имеющих в своем составе ряд опасных производственных объектов при определенных допущениях.

Ключевые слова: опасный производственный объект, расположение, оптимальность, расчет, экологический риск, координаты, взрывоопасность, радиус.

Key words: hazardous production facility, optimality, calculation, environmental risk, coordinates, explosion hazard, radius.

Введение

Экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды, вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера [1].

Критерии риска определяются вероятностью (или частотой) реализации неблагоприятных, опасных или катастрофических явлений и размером ущерба от реализации этих явлений. Управление риском – это разработка и реализация мероприятий по снижению риска.

В процессе эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО) на предприятиях России высока вероятность аварий или аварийных ситуаций [2]. Существуют риски гибели людей и экологические риски (загрязнение природной среды, гибель фауны и флоры, изменение ландшафта местности (провалы) и т.д.), а также материальный ущерб от аварий. Основная задача аварийно-спасательного формирования (АСФ) на предприятии, где имеются ОПО, – при возникновении чрезвычайной ситуации максимально быстро оказаться на месте аварийной ситуации, осуществить ее локализацию, спасение людей, предотвращение или уменьшение воздействия аварии на экологию (удаление загрязняющих веществ, тушение пожара и т.д.). Очевидно, что чем раньше АСФ прибывает на аварийный объект, тем меньше будет негативных последствий. Наличие на предприятии АСФ является одним из действенных методов управления экологическим риском, защищающих от аварий на ОПО.

Около 100 млн человек или 70 % населения государства постоянно проживает в зонах возможных техногенных аварий. Поэтому обеспечение экологической безопасности является одной из главных задач для государства [3].

Техногенные аварии сегодня в России составляют около 80 % всех чрезвычайных ситуаций. При этом МЧС РФ отмечает, что, например, в период с 2003 по 2015 г. в авариях погибло более 26 человек, а пострадало свыше 5 млн человек.

При этом в большинстве случаев у пострадавших в авариях людей негативные последствия для здоровья возникают со временем и сразу после аварии не фиксируются [4].

В соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ [5] предприятия, имеющего ОПО 1, 2 класса опасности, обязаны иметь АСФ.

Изложение рассматриваемого вопроса

Размещение АСФ на предприятиях, имеющих в своем составе несколько ОПО, никакими нормативными документами конкретно не регулируется и чаще всего далеко не оптимальное. Это часто связано с тем, что предприятия развиваются и на их территории возникают новые ОПО, которые раньше не учитывались.

В процессе изучения литературных источников по данной тематике были обнаружены публикации по размещению АСФ на территории крупных объектов (районов, поселков, городов и т.д.) [6 – 11].

Цель работы – методика выбора оптимального места расположения АСФ на предприятиях.

При этом учитывается, что расстояния от одной точки до другой на плане предприятия при прямоугольной транспортной сети отличаются от расстояния по прямой.

Первый вариант

Постановка задачи:

1. Найти оптимальное расположение АСФ на предприятии.
2. Критерий оптимальности – минимальное расстояние от АСФ до самых удаленных ОПО.

Принятые допущения:

- 1) на предприятии прямоугольная сетка дорог;
- 2) скорость движения транспорта АСФ по предприятию одинакова;
- 3) все ОПО равноопасны и не взрывоопасны.

Решение

Решение задачи методами, предложенными в работах [12 – 14], невозможно.

На план предприятия наносим координатную сетку с шагом (например, 50 м). Координатные оси должны совпадать (быть параллельными) дорогам предприятия. Далее определяем координаты всех ОПО и точки 0 возможного расположения АСФ. Пример первого варианта расположения ОПО на территории предприятия представлен на рис. 1

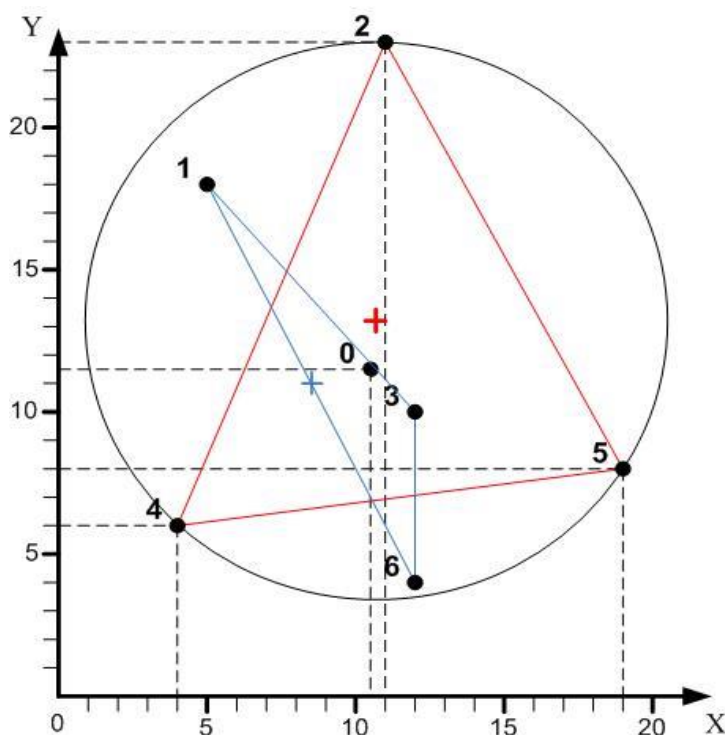


Рис. 1. Пример первого варианта расположения ОПО на территории предприятия

Расстояние $d_{1,2}$ от одной точки на предприятии до другой с учетом прямоугольной сетки дорог рассчитывается по следующей формуле:

$$d_{1,2} = |(X_1 - X_2)| + |(Y_1 - Y_2)|, \quad (1)$$

где X_1Y_1, X_2Y_2 – координаты точек 1 и 2 на плане предприятия.

Если есть координаты уже существующего АСФ, то можно проверить, насколько его расположение оптимально, путем расчета расстояний от каждого ОПО до АСФ. Необходимо так расположить АСФ, чтобы расстояния от наиболее удаленных ОПО до места предполагаемого расположения АСФ были равными.

Определить приблизительно координаты предполагаемого места расположения АСФ можно, определив центр окружности, описанной вокруг трех выбранных наиболее удаленных друг от друга ОПО. Это точки с координатами $X_2=11, Y_2=23, X_4=4, Y_4=6, X_5=19, Y_5=8$ (см. рис. 1), а координаты центра окружности будут $X=10,7, Y=13,2$ (крестик на рис. 1). Но расстояния до АСФ от ОПО на самом деле будут другие, так как сетка дорог прямоугольная.

Для нахождения координат точки 0 составим следующие равенства:

$$|(X_2 - X_0)| + |(Y_2 - Y_0)| = |(X_4 - X_0)| + |(Y_4 - Y_0)| = |(X_5 - X_0)| + |(Y_5 - Y_0)|, \quad (2)$$

где $X_2, Y_2, X_4, Y_4, X_5, Y_5, X_0, Y_0$, соответственно, координаты трех ОПО (2, 4, 5) и точки (0).

Исходя из этих равенств находим координаты т. 0.

Для нашего примера $X_0=10,5; Y_0=11,5$.

Остальные ОПО будут ближе к АСФ, чем самые удаленные ОПО. В реальных условиях АСФ надо располагать на территории предприятия в месте с координатами, близкими к координатам расчетной точки 0.

Такое решение справедливо, если точки расположения выбранных 3 ОПО образуют остроугольный треугольник. При тупоугольном треугольнике точка 0 находится посередине длинной стороны треугольника. На рис. 1 это показано на треугольнике с вершинами ОПО 1, 3, 6.

Второй вариант

Постановка задачи:

- 1) то же, что в 1 варианте;
- 2) критерий оптимальности – минимальное расстояние от АСФ до наиболее удаленных взрывоопасных ОПО.

Принятые допущения:

- 1) на предприятии прямоугольная сетка дорог;
- 2) скорость движения транспорта АСФ по предприятию одинакова;
- 3) ряд ОПО взрывоопасны.

Предварительно рассчитав координаты точки 0, как в нашем примере в первом варианте (см. рис. 1), при наличии взрывоопасных ОПО 1 и 2 из точек их расположения рисуем окружности радиусом, равным радиусу действия взрывной волны, например, для ОПО 1, 2. (рис. 2.)

Данные о радиусах взрывной волны имеются в ПЛАС этих ОПО или декларации промышленной безопасности каждого ОПО. Если точка 0, рассчитанная по первому варианту, попадает в зону действия взрывной волны хотя бы от одного ОПО, то будет необходимо перенести точку 0 в ближайшее место, где нет действия взрывной волны от ОПО, например, в точку 0_1 . Проверку можно выполнить, если рассчитать по формуле (3) расстояние по прямой между взрывоопасными объектами и выбранной точкой расположения АСФ и сравнить их с радиусом зоны разрушения взрывной волной:

$$d = \sqrt{(X_0 - X_i)^2 + (Y_0 - Y_i)^2}, \quad (3)$$

где d – расстояние между точками на плоскости по прямой; X_0Y_0, X_iY_i – координаты, соответственно, точки расположения АСФ и координаты i ОПО производственного объекта предприятия.

Расстояния от ОПО до точки 0_1 должны быть больше радиуса зоны разрушения.

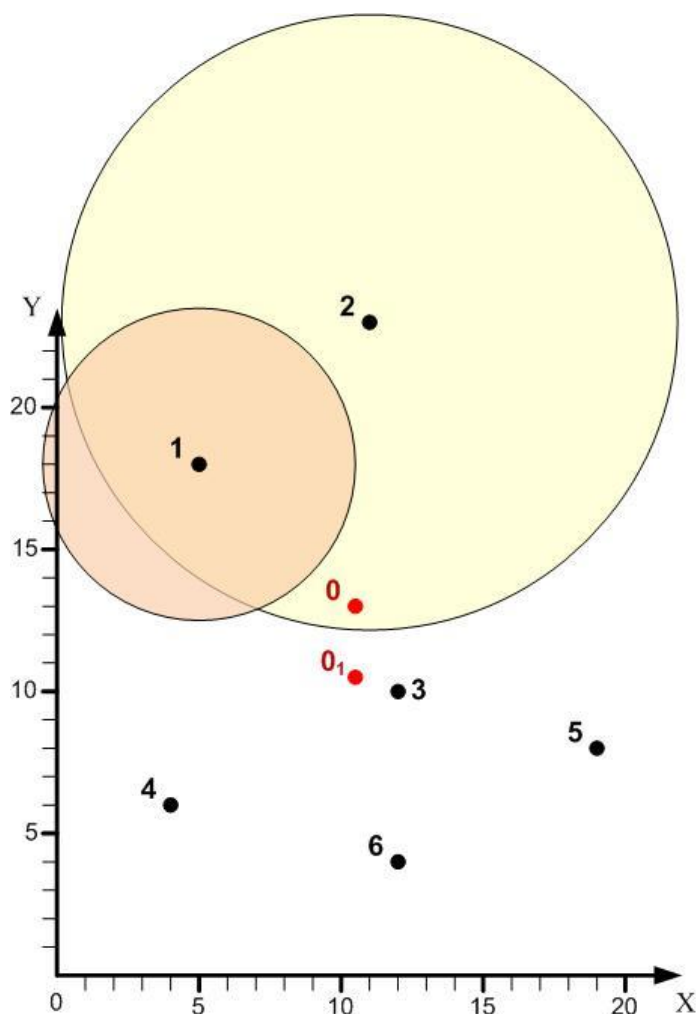


Рис. 2. Пример второго варианта расположения ОПО на территории предприятия

Третий вариант

Постановка задачи:

- 1) то же, что в 1 варианте;
- 2) критерий оптимальности – минимальное расстояние от АСФ до наиболее удаленных ОПО.

Принятые допущения:

- 1) на предприятии прямоугольная сетка дорог;
- 2) скорость движения транспорта АСФ по предприятию одинакова;
- 3) ОПО невзрывоопасны;
- 4) Предприятие, на котором невзрывоопасные ОПО располагаются практически на одной прямой (рис. 3).

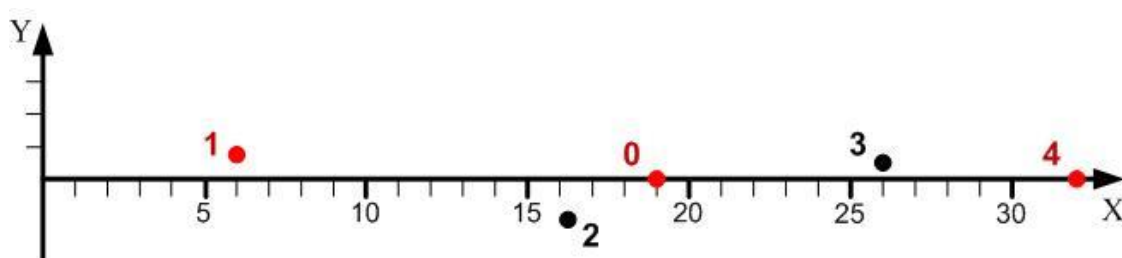


Рис. 3. Пример третьего варианта расположения ОПО на территории предприятия

Тогда точка 0, где должно располагаться АСФ, будет находиться посередине расстояния между наиболее удаленными ОПО.

Возможны и другие комбинации расположения различных ОПО на территории предприятия.

Предложенная методика, основанная на известных формулах аналитической геометрии и элементарной логике, может использоваться для проверки оптимальности расположения газоспасательных, пожарных, горноспасательных, других АСФ на химических, нефтехимических, горных, иных предприятиях, эксплуатирующих ОПО.

Крупные предприятия могут иметь не одну АСФ. Тогда площадка разбивается на несколько участков. В этом случае придется условно разбить территорию предприятия на участки, которые будут обслуживать отдельные АСФ и решать задачу для них.

Заключение

Таким образом, рассмотрены методы практического определения или проверки оптимального месторасположения АСФ на предприятиях, эксплуатирующих несколько ОПО при определенных допущениях.

Список литературы

1. *Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 28.12.2025) "Об охране окружающей среды"* URL: https://rpn.gov.ru/upload/iblock/67a/kdnkvwxgx3eu6q7_nn029g40uxe034z05/1.-Federalnyy-zakon-ot-10.01.2002-N-7_FZ-_red.-ot-28.12.2025_.pdf (дата обращения 04.03.2026)
2. Хан К.А., 2017. Влияние эксплуатации опасных производственных объектов на современное состояние экологии в России. *Вопросы российского и международного права*, Том 7, № 2А, С. 151-159
3. Воробьев Ю.Л., Владимиров В.А., 2016. *Катастрофы и государство*. Москва: Энергоатомиздат, 318 с.
4. Шахраманьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А., 2016. *Оценка природной и техногенной безопасности России. Теория и практика*. Москва: ФИД «Деловой экспресс», 422 с.
5. *Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ*. URL: <http://nvol.gosnadzor.ru/activity/control/prombez/fz116.pdf> (дата обращения 04.03.2026)
6. Гусев С.А., 2017. Оптимальное расположение спасательных служб. *Транспортное дело России*, № 6, С. 72–79.
7. В.В. Харин и др., 2022. Технологии математического моделирования для определения оптимальных мест дислокации специализированных пожарно-спасательных частей. *Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф.* Красноярск, С. 12-18. EDN: FXHTPE.
8. Матюшев П.А., Зарипова С.Н., 2021. О моделировании оптимального размещения аварийно-спасательных формирований на территории субъекта Российской Федерации. *Моделирование сложных процессов и систем: сб. трудов секции № 12 XXXI Междунар. науч.-практ. конф.* Химки, С. 5–16. EDN: MBZYVE.
9. Дурнев Р.А. и др., 2025. Обоснование рациональных мест размещения аварийно-спасательных сил на основе риск-ориентированных подходов. *Проблемы анализа риска*, Т. 22, № 2, С. 58–65. EDN CCFUXS.
10. T. Ferrari et al., 2018. Analysis of the location of rescue ambulance dispatch bases: a case study in Rio de Janeiro, Brazil. *Geographical Analysis*, Vol. 50, № 4, P. 397–421.
11. Akbari A., Eiselt H.A., Pelot R.A., 2018. Maritime search and rescue location analysis considering multiple criteria, with simulated demand. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, Vol. 56, № 1, P. 92–114.

12. Просветов Г.И., 2008. *Математические методы в логистике: задачи и решения: Учебно-практическое пособие*. Москва: Изд-во «Альфа-Пресс», 304 с.

13. Бурков В.Н. и др., 2001. *Теория графов в управлении организационными системами*. Москва: СИНТЕГ, 124 с.

14. Кузнецов О.П., 2009. *Дискретная математика для инженера*. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 400 с.

References

1. Federal'nyi zakon ot 10.01.2002 N 7-FZ (red. ot 28.12.2025) "Ob okhrane okruzhayushchei sredy" [Federal Law No. 7-FZ of 10.01.2002 (as amended on 12/28/2025) "On Environmental Protection"] URL: https://rpn.gov.ru/upload/iblock/67a/kdnkvwxgx3eu6q7nn029g40uxe034z05/1.-Federalnyy-zakon-ot-10.01.2002-N-7_FZ-_red.-ot-28.12.2025_.pdf (data obrashcheniya 04.03.2026)

2. Khan K.A., 2017. Vliyanie ekspluatatsii opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov na sovremennoe sostoyanie ekologii v Rossii [Impact of the operation of hazardous production facilities on the current state of the environment in Russia]. *Voprosy rossiiskogo i mezhdunarodnogo prava*, Vol. 7, № 2A, P. 151-159

3. Vorob'ev Yu.L., Vladimirov V.A., 2016. *Katastrofy i gosudarstvo* [Disasters and the state]. Moscow: Energoatomizdat, 318 p.

4. Shakhraman'yan M.A., Akimov V.A., Kozlov K.A., 2016. *Otsenka prirodnoi i tekhnogennoi bezopasnosti Rossii* [Assessment of natural and man-made safety of Russia. Theory and practice]. *Teoriya i praktika*. Moscow: FID "Delovoi ekspres", 422 p.

5. Federal'nyi zakon "O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov" [Federal Law "On Industrial Safety of Hazardous Industrial Facilities"] ot 21.07.1997 № 116-FZ. URL: <http://nvol.gosnadzor.ru/activity/control/prombez/fz116.pdf> (data obrashcheniya 04.03.2026)

6. Gusev S.A., 2017. Optimal'noe raspolozhenie spasatel'nykh sluzhb [The optimal location of rescue services]. *Transportnoe delo Rossii*, № 6, P. 72–79.

7. V.V. Kharin i dr., 2022. *Tekhnologii matematicheskogo modelirovaniya dlya opredeleniya optimal'nykh mest dislokatsii spetsializirovannykh pozharno-spasatel'nykh chastei* [Mathematical modeling technologies for determining the optimal locations of specialized fire and rescue units]. *Monitoring, modelirovanie i prognozirovaniye opasnykh prirodnykh yavlenii i chrezvychainykh situatsii: sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Krasnoyarsk*, P. 12-18. EDN: FXHTPE.

8. Matyushev P.A., Zaripova S.N., 2021. *O modelirovanii optimal'nogo razmeshcheniya avariino-spasatel'nykh formirovaniy na territorii sub"ekta Rossiiskoi Federatsii* [On modeling the optimal deployment of emergency rescue units on the territory of a constituent entity of the Russian Federation]. *Modelirovanie slozhnykh protsessov i sistem: sb. trudov sektsii № 12 XXXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Khimki*, P. 5–16. EDN: MBZYVE.

9. Durnev R.A. i dr., 2025. *Obosnovaniye ratsional'nykh mest razmeshcheniya avariino-spasatel'nykh sil na osnove risk-orientirovannykh podkhodov* [Justification of rational locations of emergency rescue forces based on risk-oriented approaches]. *Problemy analiza riska*, Vol. 22, № 2, P. 58–65. EDN CCFUXS.

10. T. Ferrari et al., 2018. Analysis of the location of rescue ambulance dispatch bases: a case study in Rio de Janeiro, Brazil. *Geographical Analysis*, Vol. 50, № 4, P. 397–421.

11. Akbari A., Eiselt H.A., Pelot R.A., 2018. Maritime search and rescue location analysis considering multiple criteria, with simulated demand. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, Vol. 56, № 1, P. 92–114.
12. Prosvetov G.I., 2008. *Matematicheskie metody v logistike: zadachi i resheniya: Uchebno-prakticheskoe posobie [Mathematical methods in logistics: tasks and solutions: An educational and practical guide]*. Moscow: Izd-vo "Al'fa-Press", 304 p.
13. Burkov V.N. i dr., 2001. *Teoriya grafov v upravlenii organizatsionnymi sistemami [Graph theory in the management of organizational systems]*. Moscow: SINTEG, 124 p.
14. Kuznetsov O.P., 2009. *Diskretnaya matematika dlya inzhenera [Discrete mathematics for an engineer]*. Sankt-Peterburg: Izd-vo "Lan", 400 p.