

УДК 614.8

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИБОРОВ ПОИСКА

Веселов Алексей Вячеславович¹, Давыдов Роман Михайлович¹, Кузьмин Александр Викторович²

¹ Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Российская Федерация

² Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу технических средств, используемых для поиска пострадавших в чрезвычайных ситуациях, вызванных разрушением зданий и сооружений. В работе акцентировано внимание на ключевых факторах, определяющих эффективность поисково-спасательных работ, таких как временные рамки, точность идентификации пострадавших, устойчивость оборудования к чрезвычайным условиям и возможность интеграции с другими системами. Проведен детальный обзор современных технических средств поиска, включая акустические, тепловизионные и радиолокационные системы, применяемые в условиях чрезвычайных ситуаций. В настоящей статье предложена комплексная методика, позволяющая решить взаимосвязанные задачи: определить рациональный перечень параметров для оценки технических средств поиска пострадавших; определить весовые коэффициенты выбранных параметров оценки; повысить эффективность на этапе проектирования и разработки, и использования технических средств поиска пострадавших в условиях разрушений зданий и сооружений. Представленный научно-методический аппарат позволяет решить оптимизационную задачу обоснования рациональных параметров комплексной оценки эффективности технических средств поиска, а его реализация — обеспечить максимизацию эффективности проведения поисково-спасательных работ с использованием технических средств поиска.

Ключевые слова: поисково-спасательные работы, приборы поиска пострадавших, эффективность, акустические приборы, оптические приборы, радиолокационные приборы, модель комплексной оценки эффективности технических средств поиска пострадавших

Для цитирования: Веселов А. В., Давыдов Р. М., Кузьмин А. В. Комплексная методика оценки эффективности приборов поиска // Техносферная безопасность. 2025. № 3 (48). С. 99–113.

COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF SEARCH DEVICES

Alexey V. Veselov¹, Roman M. Davydov¹, Alexander V. Kuzmin²

¹ Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

² Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, Kazan, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to a comprehensive analysis of the technical means used to search for victims in emergency situations caused by the destruction of buildings and structures. The paper focuses on key factors determining the effectiveness of search and rescue operations, such as time frames, accuracy of victim identification, resilience of equipment to emergency conditions, and the ability to integrate with other systems. A detailed review of modern technical search tools, including acoustic, thermal imaging and radar systems used in emergency situations is conducted. This article proposes a comprehensive methodology that allows solving interrelated tasks: to determine a rational list of parameters for evaluating technical means of searching for victims; to determine the weighting coefficients of selected evaluation parameters; to increase efficiency at the design and development stage, and the use of technical means of searching for victims in the conditions of destruction of buildings and structures. The presented scientific and methodological apparatus allows solving the optimization problem of substantiating the rational parameters of a comprehensive assessment of the effectiveness of technical search equipment and its implementation ensures maximization of the effectiveness of search and rescue operations using technical search equipment.

Keywords: search and rescue operations, victim search devices, efficiency, acoustic devices, optical devices, radar devices, a model for a comprehensive assessment of the effectiveness of victim search equipment

For Citation: Veselov A. V., Davydov R. M., Kuzmin A. V. Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of search devices // *Technospheric safety*. 2025. № 3 (48). pp. 99–113.

Введение

Чрезвычайные ситуации занимают значимое место в истории человечества, выступая в качестве факторов, приводящих к человеческим жертвам, разрушению материальных и культурных ценностей, а также к значительным социально-экономическим последствиям. По своей природе возникновения чрезвычайные ситуации классифицируются на природные (обусловленные естественными процессами в окружающей среде) и техногенные (возникающие вследствие антропогенного воздействия на технические объекты или инфраструктуру) [1].

В условиях чрезвычайных ситуаций, связанных с обрушением зданий и сооружений, наличие опасных факторов завала, таких как

низкое содержание кислорода, риск вторичных обрушений, воздействие низких или высоких температур, а также психофизиологические нагрузки, представляет непосредственную угрозу жизни и здоровью пострадавших. Это обуславливает необходимость оперативного проведения поисково-спасательных работ, где время играет критически важную роль. Чем быстрее будут обнаружены и извлечены пострадавшие, тем выше вероятность их выживания и тем быстрее будут минимизированы последствия для здоровья. Данные работы осуществляются в соответствии с установленной типовой технологией ведения аварийно-спасательных работ (рис. 1).

Поиск пострадавших представляет собой один из ключевых этапов поисково-

спасательных работ, включающий комплекс мероприятий, направленных на определение местоположения людей и их состояния, организацию связи с ними и принятия решения на оказание требуемой помощи в нужном объеме.

Основные способы поиска пострадавших представлены на рис. 2.

Выбор оптимальных методов поиска определяется совокупностью факторов, включающих доступность материально-тех-

нических и человеческих ресурсов, задействованных в ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, специфику оперативной обстановки в зоне проведения аварийно-спасательных работ, а также характером и масштабом задач, поставленных перед спасательными подразделениями. Данные критерии формируют основу для принятия решений, направленных на обеспечение эффективности и целесообразности применяемых поисковых технологий.

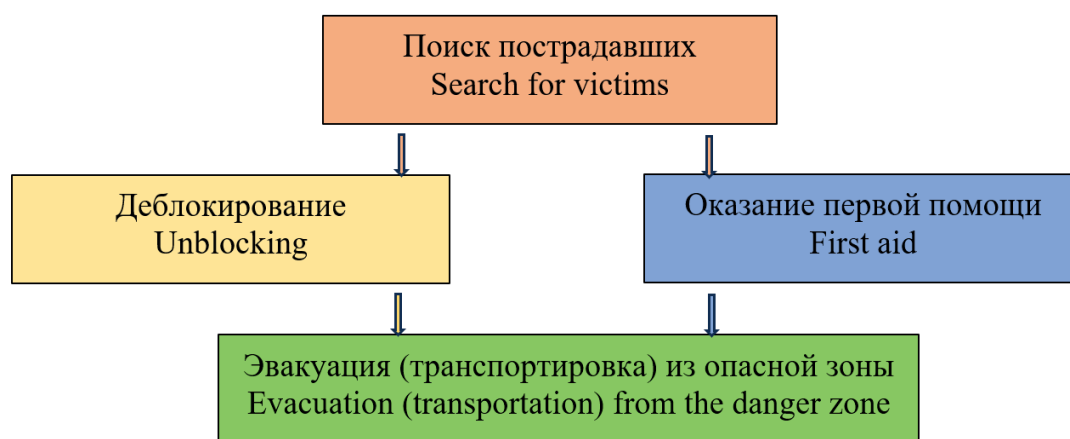


Рис. 1. Типовая технология ведения аварийно-спасательных работ

Fig. 1. Typical technology of emergency rescue operations

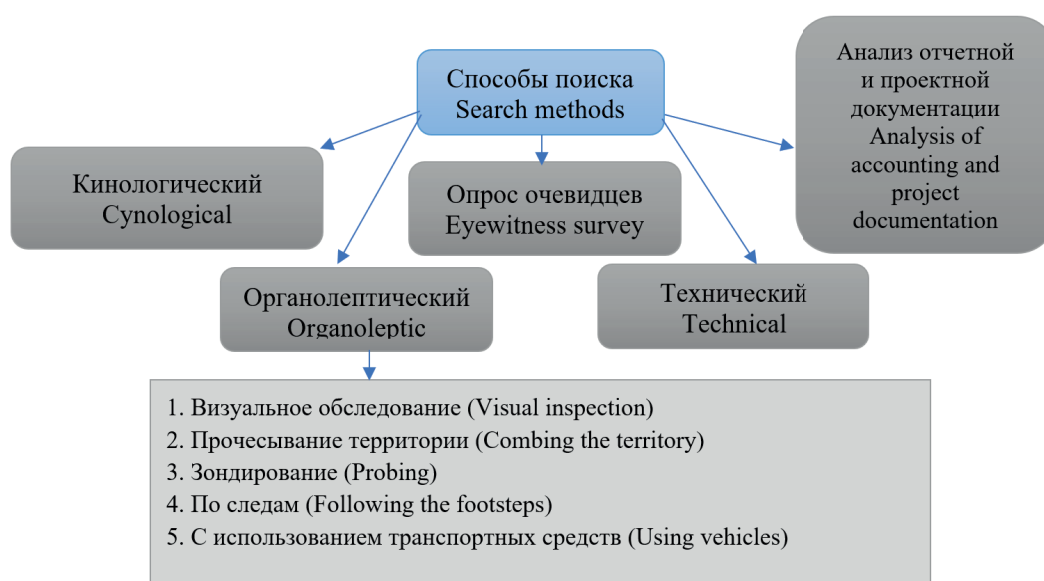


Рис. 2. Способы поиска пострадавших

Fig. 2. Ways to find victims

Основная часть

Одним из наиболее эффективных способов поиска пострадавших в условиях чрезвычайных ситуаций, вызванных разрушением зданий и сооружений, является применение технических средств, что позволяет с высокой степенью вероятности идентифицировать местонахождение и состояние пострадавших.

Средства поиска пострадавших в завалах представляют собой специализированные технические устройства, функционально ориентированные на выявление и фиксацию биометрических признаков жизнедеятельности человека, находящегося под слоем разрушенных конструкций. Их функционирование основано на интеграции нескольких физических принципов обнаружения, включая акустический, оптический (телевизионные технологии), радиолокационный (с использованием георадаров и биорадаров), электрографический, тепловой, а также химический методы. Совокупность таких устройств формирует комплексную систему поиска [2, 3].

На основе проведенного краткого анализа технических средств поиска пострадавших (далее — ТСПП) в чрезвычайных ситуациях, связанных с разрушением зданий и сооружений, можно сделать вывод о том, что ключевыми параметрами технических средств поиска пострадавших в условиях чрезвычайных ситуаций, связанных с разрушением зданий и сооружений, являются: дальность обнаружения пострадавших (L), вероятность успешного обнаружения пострадавших (W), надежность работы системы (N_{ϕ}) и длительность работы в каждой точке поиска (t_c) [10].

Совокупность указанных параметров формирует концептуальную основу для оценки эффективности технических средств, при-

меняемых для поиска пострадавших в условиях чрезвычайных ситуаций. Данное понятие раскрывается через оценку операционной производительности технического устройства, которая количественно выражается в доле успешно идентифицированных пострадавших, находящихся под слоем завала, за фиксированный временной интервал, с учетом вероятности возникновения ложноположительных результатов [5, 6].

Таким образом, эффективность средств поиска представляет собой комплексный показатель, отражающий не только скорость и точность обнаружения, но и надежность работы системы в целом в условиях неопределенности данных, характерных для зон бедствия.

С учетом изложенного возникает необходимость использования комплексного показателя P , представляющего собой функцию от множества частных показателей, выявленных в ходе анализа, которые необходимо максимизировать. Этот показатель позволяет комплексно оценить эффективность технического средства с учетом всех значимых параметров.

В формализованном виде задача оценки эффективности технических средств поиска пострадавших по присущим им параметрам выглядит следующим образом [9].

Необходимо определить такой i -й прибор поиска, который обеспечит максимальную эффективность P для заданных:

P_i — эффективность i -го прибора поиска;

L_i — дальность обнаружения пострадавших i -го прибора поиска;

W_i — вероятность успешного обнаружения пострадавших i -го прибора поиска;

$N_{\phi i}$ — надежность работы системы i -го прибора поиска;

t_{ci} — длительность работы в каждой точке поиска i -го прибора поиска.

$$P_i = f(P_i(L_i, W_i, N_{\phi i}, t_{ci}) \Rightarrow \max. \quad (1)$$

Одними из важных показателей являются вероятность успешного обнаружения пострадавших и дальность их обнаружения. Чем выше дальность и вероятность обнаружения пострадавших, тем будет больше значение комплексного показателя P , а следовательно, и эффективность прибора.

Однако в формализованном виде задача оценки эффективности технических средств учитывает только технические характеристики прибора, но не учитывает влияние различных параметров завала (размеры,

состав, плотность) и условия окружающей среды. На основе этого, вместе с введением весовых коэффициентов для технических характеристик прибора, имеется необходимость ввести коэффициенты K_z и K_j , зависящие от условий завала и окружающей среды соответственно, учитывая при этом физический принцип работы прибора.

Для решения задачи на рис. 3 представлена общая схема проведения исследования, которая включает перечисленные ниже этапы [5].

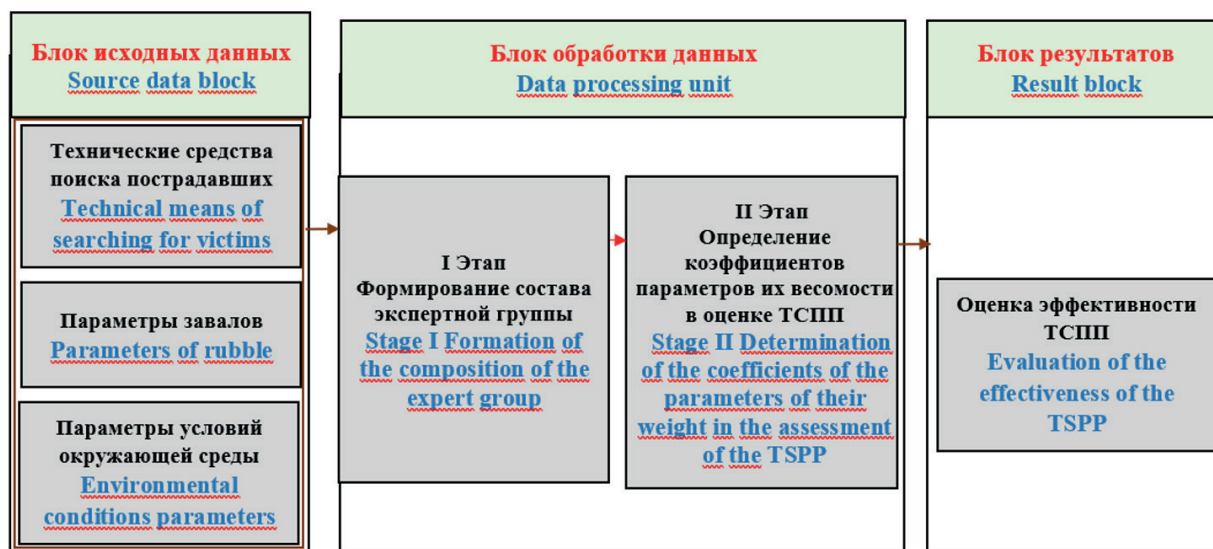


Рис. 3. Общая схема проведения исследования по определению комплексного показателя для оценки технических средств поиска пострадавших

Fig. 3. General scheme of the study to determine a comprehensive indicator for assessing the technical means of searching for victims

I этап. Формирование состава экспертной группы

Поскольку для решения задачи по оценке эффективности технических средств поиска пострадавших в качестве исходных данных используется информация, полученная на основе обработки экспертных мнений, целесообразно выработать общий концептуальный подход к формированию экспертных групп, который будет использоваться

при решении ряда частных задач в ходе проведения исследования.

Анализ проведенных ранее исследований [5–7] показал, что выбор состава экспертной группы представляет собой многоэтапный процесс, состоящий из следующих процедур.

1. Определение предметной области исследования, зависящей от поставленной цели и перечня исходных данных,

необходимых для проведения исследования. В тематике данного исследования очевидно, что областью исследования являются технические приборы поиска и подходы к повышению эффективности их применения. Вследствие этого выбор экспертов для проведения исследования целесообразно осуществлять из числа специалистов, в функциональные обязанности которых входят проектирование и производство технических средств поиска, у которых имеется опыт в проведении поисково-

спасательных работ с приборами поиска, и/или из числа профессорско-преподавательского состава учебных заведений.

2. Формирование списка возможных кандидатов в состав экспертной группы, который может быть составлен с помощью метода снежного кома [8].

3. Оценка уровня компетентности специалистов, включаемых в состав экспертных групп. В ходе анализа работ было выявлено, что для оценки уровня компетентности (F_g) каждого g -го эксперта целесообразно использовать формулу (2).

$$F_g = \frac{1}{5} \sum_{m=1}^5 F_{gm} , \quad (2)$$

где:

F_{g1} — коэффициент, отражающий уровень профессиональной подготовки и информированности g -го эксперта;

F_{g2} — коэффициент, отражающий уровень базовой аргументации g -го эксперта при принятии им решения;

F_{g3} — коэффициент, отражающий личные качества g -го эксперта, вычисляемый на основании самооценки;

F_{g4} — коэффициент, отражающий личные качества g -го эксперта, определяемый на основе мнений всех экспертов;

F_{g5} — коэффициент, отражающий уровень согласованности действий g -го эксперта с членами рабочей группы при проведении тестовой оценки уровня важности определенного фактора или варианта при заданном их наборе.

Приведенные коэффициенты могут быть определены в соответствии с методическим подходом к формированию состава экспертной группы, изложенным в статье.

4. Формирование окончательного списка экспертов рабочей группы. Для решения данной задачи всех экспертов.

II этап. Определение коэффициентов параметров и их весовости в оценке технических средств поиска пострадавших

Для количественной оценки эффективности технических средств поиска пострадавших в завалах в данной работе использованы метод экспертных оценок (аналитической иерархии, метод Саати) и статистический анализ данных испытаний [8].

Для составления экспертной оценки была сформирована группа из десяти специалистов, которые имеют опыт работы в зонах разрушений зданий и сооружений: разработчики поискового оборудования, а также преподаватели и авторы публикаций на данную тематику.

Специалистам было предложено сравнить четыре параметра попарно по 9-бальной шкале, где:

1 — равная важность параметров;

2 — умеренное превосходство одного над другим;

- 5 — сильное превосходство;
 7 — очень сильное превосходство;
 9 — абсолютное превосходство.

В результате получилась итоговая матрица парных сравнений параметров (табл. 1).

Для нормализации матрицы для каждого столбца вычисляется сумма, затем каждый элемент делится на сумму своего столбца. Нормализованная матрица представлена в табл. 2.

Таблица 1
Итоговая матрица попарных сравнений
 Table 1
 The final matrix of pairwise comparisons

Параметр Parameter	L	W	N_{Φ}	t_c
L	1	2	4	6
W	1/2	1	3	5
N_{Φ}	1/4	1/3	1	3
t_c	1/6	1/5	1/3	1

Таблица 2
Нормализованная матрица попарных сравнений
 Table 2
 Normalized matrix of pairwise comparisons

Параметр Parameter	L	W	N_{Φ}	t_c
L	0,522	0,566	0,480	0,400
W	0,261	0,283	0,360	0,333
N_{Φ}	0,130	0,094	0,120	0,200
t_c	0,087	0,057	0,040	0,067

Определение весомости коэффициентов:

$$K_L = \frac{0,522 + 0,566 + 0,480 + 0,400}{4} = 0,492.$$

$$K_W = \frac{0,261 + 0,283 + 0,360 + 0,333}{4} = 0,309.$$

$$K_{N_{\Phi}} = \frac{0,130 + 0,094 + 0,120 + 0,200}{4} = 0,136.$$

$$K_{t_c} = \frac{0,087 + 0,057 + 0,040 + 0,067}{4} = 0,063.$$

Чтобы избежать влияния разных единиц измерения, все параметры приводятся к безразмерному виду (например, по шкале 0–1):

$$L_{\text{норм}} = \frac{L}{L_{\text{max}}}, W_{\text{норм}} = \frac{W}{100}, N_{\text{норм}} = \frac{N_{\phi}}{100}, t_{\text{норм}} = 1 - \frac{t_c}{t_{\text{max}}}. \quad (3)$$

Время t_c инвертируется, т. к. меньшее время в данном случае лучше.

Комплексный показатель P вычисляется как линейная комбинация параметров с их весами:

$$P = k_L \cdot L_{\text{норм}} + k_W \cdot W_{\text{норм}} + k_{N_{\phi}} \cdot N_{\text{норм}} + k_{t_c} \cdot t_{\text{норм}}. \quad (4)$$

Подставляя значение весовых коэффициентов:

$$P = 0,49 \cdot L_{\text{норм}} + 0,31 \cdot W_{\text{норм}} + 0,14 \cdot N_{\text{норм}} + 0,06 \cdot t_{\text{норм}}.$$

Если же нормировка не применяется, формула может быть записана в исходных единицах, но с коэффициентами масштабирования:

$$P = 0,49 \cdot \frac{L}{30} + 0,31 \cdot \frac{W}{100} + 0,14 \cdot \frac{N_{\phi}}{100} + 0,06 \cdot \left(1 - \frac{t_c}{15}\right).$$

Для примера возьмем прибор с $L = 25$ м, $W = 80$ %, $N_{\phi} = 90$ %, $t_c = 5$ мин:

$$P = 0,49 \cdot \frac{25}{30} + 0,31 \cdot 0,8 + 0,14 \cdot 0,9 + 0,06 \cdot \left(1 - \frac{5}{15}\right) = 0,41 + 0,25 + 0,13 + 0,04 = 0,83.$$

Тогда итоговая формула имеет вид:

$$P = 0,49 \cdot L_{\text{норм}} + 0,31 \cdot W_{\text{норм}} + 0,14 \cdot N_{\text{норм}} + 0,06 \cdot t_{\text{норм}}. \quad (5)$$

Определение коэффициента K_z . Для расчета и анализа возьмем следующие варианты условий завала.

1-й вариант: кирпичные здания и сооружения ($z = 1$). В данном случае завал имеет следующую структуру:

- обломки железобетонных и бетонных конструкций (до $0,8 \text{ м}^3$) — 60 %;
- кирпичные обломки (до 1 м^3) — 20 %;
- металлические конструкции — 10 %;
- строительный мусор — 7 %;
- деревянные конструкции — 3 %.

2-й вариант: панельные здания и сооружения ($z = 2$). В данном случае завал имеет следующую структуру:

- обломки железобетонных и бетонных конструкций (до $0,8 \text{ м}^3$) — 75 %;
- деревянные конструкции — 18 %;
- строительный мусор — 5 %;

- металлические конструкции — 2 %.

3-й вариант: кирпичные промышленные здания и сооружения ($z = 3$). В данном случае завал имеет следующую структуру:

- крупногабаритные обломки (более 5 т) — 60 %;
- мелкие обломки и строительный мусор — 15 %;
- средние обломки (0,2–2 т) — 15 %;
- крупные обломки (2–5 т) — 10 %.

4-й вариант: панельные промышленные здания и сооружения ($z = 4$). В данном случае завал имеет следующую структуру:

- крупногабаритные обломки (более 5 т) — 60 %;
- средние обломки (0,2–2 т) — 20 %;
- крупные обломки (2–5 т) — 10 %;
- мелкие обломки и строительный мусор — 10 %.

Для анализа за стандартную площадь завала, при разрушении зданий и сооружений, принята площадь в 1 000 м².

Размеры зоны завала:

1-й вариант ($u = 1$): длина $a = 100$ м, ширина $b = 100$ м, высота $h = 5$ м.

2-й вариант ($u = 2$): длина $a = 50$ м, ширина $b = 20$ м, высота $h = 3$ м (разрушение стандартного панельного дома).

Рассчитаем коэффициент K_z для акустических ТСПП. Для каждого типа завала коэффициент вычисляется по формуле:

$$K_z = 1 + \left(\sum_{i=1}^3 w_i \cdot x_i \right) - C, \quad (6)$$

где:

w_i — весовые коэффициенты параметров;

x_i — нормированные значения параметров (0–1);

$C = 0,5$ — эмпирическая константа коррекции.

Методом экспертных оценок были определены весовые коэффициенты:

$$W_{\text{пустоты}} = 0,4.$$

$$W_{\text{шумы}} = 0,26.$$

$$W_{\text{глубина}} = 0,34.$$

Введем эталонные значения для нормировки:

$$\text{Пустоты}_{\max} = 50 \%, \text{ Шумы}_{\max} = 100 \text{ дБ}, \text{ Глубина}_{\max} = 10 \text{ м}.$$

Произведем расчет для каждого сценария:

$z = 1$ (кирпичные здания):

$$\text{пустоты} — 35 \% \rightarrow x_1 = \frac{35}{50} = 0,7,$$

$$\text{шумы} — 65 \text{ дБ} \rightarrow x_2 = 1 - \frac{65}{100} = 0,35,$$

$$\text{глубина} — 2,1 \text{ м} \rightarrow x_3 = 1 - \frac{2,1}{10} = 0,79,$$

$$K_{z=1} = 1 + (0,40 \cdot 0,70 + 0,26 \cdot 0,35 + 0,34 \cdot 0,79) - 0,5 = 1 + (0,280 + 0,091 + 0,2686) - 0,5 = 1,14.$$

$z = 2$ (панельные здания):

$$\text{пустоты} — 15 \% \rightarrow x_1 = \frac{15}{50} = 0,3,$$

$$\text{шумы} — 75 \text{ дБ} \rightarrow x_2 = 1 - \frac{75}{100} = 0,25,$$

$$\text{глубина} — 3,4 \text{ м} \rightarrow x_3 = 1 - \frac{3,4}{10} = 0,66,$$

$$K_{z=2} = 1 + (0,40 \cdot 0,30 + 0,26 \cdot 0,25 + 0,34 \cdot 0,66) - 0,5 = 1 + (0,12 + 0,065 + 0,2244) - 0,5 = 0,91.$$

$z = 3$ (промышленные здания кирпичные):

$$\begin{aligned} \text{пустоты} &— 12 \% \rightarrow x_1 = \frac{12}{50} = 0,24, \\ \text{шумы} &— 80 \text{ дБ} \rightarrow x_2 = 1 - \frac{80}{100} = 0,20, \\ \text{глубина} &— 4,2 \text{ м} \rightarrow x_3 = 1 - \frac{4,2}{10} = 0,58, \\ K_{z=3} &= 1 + (0,40 \cdot 0,24 + 0,26 \cdot 0,20 + 0,34 \cdot 0,58) - 0,5 = 1 + (0,096 + 0,052 + 0,1972) - \\ &\quad - 0,5 = 0,85. \end{aligned}$$

$z = 4$ (промышленные здания панельные):

$$\begin{aligned} \text{пустоты} &— 8 \% \rightarrow x_1 = \frac{8}{50} = 0,16, \\ \text{шумы} &— 85 \text{ дБ} \rightarrow x_2 = 1 - \frac{85}{100} = 0,15, \\ \text{глубина} &— 5 \text{ м} \rightarrow x_3 = 1 - \frac{5}{10} = 0,5, \\ K_{z=4} &= 1 + (0,40 \cdot 0,16 + 0,26 \cdot 0,15 + 0,34 \cdot 0,50) - 0,5 = 1 + (0,064 + 0,039 + \\ &\quad + 0,170) - 0,5 = 0,77. \end{aligned}$$

Рассчитаем коэффициент K_z для оптических ТСПП. Для каждого типа завала коэффициент вычисляется по формуле:

$$K_z = 1 + \left(\sum_{i=1}^3 w_i \cdot x_i \right) - C + \Delta_{\text{метал}}, \quad (8)$$

где:

w_i — весовые коэффициенты параметров;

x_i — нормированные значения параметров (0–1);

$C = 0,5$ — эмпирическая константа коррекции;

$\Delta_{\text{метал}}$ — поправка на металлические включения.

Методом экспертных оценок по шкале Саати были определены весовые коэффициенты:

$$\begin{aligned} \text{металлические включения} &— W_1 = 0,45, \\ \text{влажность среды} &— W_2 = 0,30, \\ \text{плотность завала} &— W_3 = 0,25. \end{aligned}$$

Введем эталонные значения для нормировки:

$$x_1 = \frac{W_{11}}{30 \%}, \quad x_2 = 1 - \frac{W_{22}}{100 \%}, \quad x_3 = 1 - \frac{W_{33}}{2500}, \quad \Delta_{\text{метал}} = 0,1 \left(1 - \frac{W_{11}}{50 \%} \right).$$

Произведем расчет для каждого сценария:

$z = 1$ (кирпичные здания):

$$\begin{aligned} W_{11} &= 35 \% \rightarrow x_1 = 0,33, \\ W_{22} &= 60 \% \rightarrow x_2 = 0,4, \\ W_{33} &= 1800 \rightarrow x_3 = 0,28, \\ \Delta_{\text{метал}} &= 0,08, \\ K_{z=1} &= 1 + (0,45 \cdot 0,33 + 0,30 \cdot 0,40 + 0,25 \cdot 0,28) - 0,5 + 0,08 = 1,05. \end{aligned}$$

$z = 2$ (панельные здания):

$$\begin{aligned} W_{11} &= 18 \% \rightarrow x_1 = 0,33, \\ W_{22} &= 70 \% \rightarrow x_2 = 0,3, \\ W_{33} &= 2100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \rightarrow x_3 = 0,16, \\ \Delta_{\text{метал}} &= 0,06, \\ K_{z=2} &= 1 + (0,45 \cdot 0,60 + 0,30 \cdot 0,30 + 0,25 \cdot 0,16) - 0,5 + 0,06 = 0,85. \end{aligned}$$

$z = 3$ (промышленные кирпичные здания):

$$\begin{aligned} W_{11} &= 25 \% \rightarrow x_1 = 0,83, \\ W_{22} &= 75 \% \rightarrow x_2 = 0,25, \\ W_{33} &= 2300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \rightarrow x_3 = 0,08, \\ \Delta_{\text{метал}} &= 0,05, \\ K_{z=3} &= 1 + (0,45 \cdot 0,83 + 0,30 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 0,08) - 0,5 + 0,05 = 0,73. \end{aligned}$$

$z = 4$ (промышленные панельные здания):

$$\begin{aligned} W_{11} &= 32 \% \rightarrow x_1 = 1, \\ W_{22} &= 80 \% \rightarrow x_2 = 0,20, \\ W_{33} &= 2400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \rightarrow x_3 = 0,04, \\ \Delta_{\text{метал}} &= 0,04. \\ K_{z=4} &= 1 + (0,45 \cdot 1 + 0,30 \cdot 0,20 + 0,25 \cdot 0,04) - 0,5 + 0,04 = 0,65. \end{aligned}$$

Результаты вычислений коэффициента K_z для различных типов технических средств поиска представлены в табл. 3.

Таблица 3
Значение коэффициента K_z
Table 3
The value of the K_z coefficient

	Акустические ТСПП Acoustic TSPP	Оптические ТСПП Optical TSPP	Радиолокационные ТСПП Radar TSPP
Кирпичные здания Brick buildings	1,14	0,85	1,05
Панельные здания Panel buildings	0,91	0,72	0,85
Промышленные кирпичные здания Industrial brick buildings	0,85	0,58	0,73
Промышленные панельные здания Industrial panel buildings	0,77	0,53	0,65

Определение коэффициента K_j . С помощью анализа иерархий методом экспертных оценок по методологии Саати получили

следующие значения коэффициентов, представленные в табл. 4, для акустических, радиолокационных и оптических ТСПП.

Таблица 4
Значение коэффициента K_j
Table 4
The value of the K_j coefficient

	Ясно Clear	Дождь Rain	Туман Fog	Снегопад Snowfall
Акустические ТСПП Acoustic TSPP	0,95	0,49	0,65	0,38
Оптические ТСПП Optical TSPP	0,98	0,60	0,45	0,25
Радиолокационные ТСПП Radar TSPP	0,92	0,62	0,78	0,55

Результаты вычислений. Вычислив коэффициенты, учитывающие особенности завалов и влияние погодных условий окружающей среды, получаем следующую формулу:

$$P = (0,49 \cdot \frac{L}{30} + 0,31 \cdot \frac{W}{100} + 0,14 \cdot \frac{N_{\Phi}}{100} + 0,06 \cdot (1 - \frac{t_c}{15})) \cdot K_z \cdot K_j. \quad (9)$$

Для наглядной демонстрации комплексного показателя рассчитаем P для следующих приборов: «АПП-1»; «Система-1К», «Радар-01». Для расчетов возьмем кирпичное здание и погодные условия окружающей среды — ясно.

Как видно из расчетов, наибольшую эффективность ($P = 0,79$) среди сравниваемых приборов демонстрирует «Радар-01», что

подтверждает его преимущество в условиях разрушений зданий и сооружений для анализируемого сценария ЧС.

Предложенная комплексная модель по оценке эффективности ТСПП, по сравнению с другими моделями, учитывает не только тактико-технические характеристики ТСПП, но и влияние характеристик завала и погодных условий окружающей среды.

«АПП-1»:

$$P = (0,49 \cdot 0,67 + 0,31 \cdot 0,85 + 0,14 \cdot 0,88 + 0,06 \cdot 0,60) \cdot 1,10 \cdot 0,95 = 0,78.$$

«Система-1К»:

$$P = (0,49 \cdot 0,5 + 0,31 \cdot 0,9 + 0,14 \cdot 0,92 + 0,06 \cdot 0,47) \cdot 0,85 \cdot 0,98 = 0,57.$$

«Радар-01»:

$$P = (0,49 \cdot 0,83 + 0,31 \cdot 0,8 + 0,14 \cdot 0,85 + 0,06 \cdot 0,67) \cdot 1,05 \cdot 0,92 = 0,79.$$

Заключение

Применение предложенной модели, базирующейся на использовании комплексного показателя (P), открывает новые перспективы для проведения многокритериального и системного анализа эффективности технических средств, используемых для поиска и обнаружения пострадавших в условиях чрезвычайных ситуаций, связанных с масштабными разрушениями зданий и сооружений. Данная методология позволяет не только выявить и систематизировать ключевые аспекты, требующие оптимизации в конструкции и функциональных характеристиках поискового оборудования, но и провести их всестороннюю практическую апробацию с учетом практического опыта применения технических средств поиска пострадавших.

Такой подход обеспечивает научно обоснованный выбор наиболее важных признаков, обеспечивающих эффективное применение приборов поиска, адаптированных под специфику различных сценариев катастроф, включая особенности разрушен-

ных конструкций, степень завалов, наличие опасных факторов и другие параметры. Внедрение данной модели способствует значительному повышению оперативности и точности поисково-спасательных операций, что напрямую влияет на сокращение временных интервалов, необходимых для обнаружения пострадавших и минимизацию рисков, связанных с их жизнью и здоровьем. Ведь чем эффективнее выбранный или спроектированный прибор, тем при его использовании будет быстрее найден пострадавший, тем самым вероятность сохранения жизни и здоровья будет выше.

Кроме того, применение комплексного показателя (P) дает возможность систематизировать оценку эффективности технических средств, что упрощает разработку универсальных критериев для их сравнения и выбора. Это формирует основу для совершенствования нормативной базы, регулирующей использование поискового оборудования, а также для создания инновационных технологий, повышающих устойчивость и надежность техники в чрезвычайных условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Федер. закон № 68-ФЗ от 21.12.1994 : принят Государственной Думой 11.11.1994 // КонсультантПлюс : справочно-правовая система. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/ (дата обращения: 24.01.2025).
2. ГОСТ 22.9.22–2023. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Средства аварийно-спасательные. Классификация : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07.12.2023 № 1535-ст : введен впервые // Гарант.ру : информационно-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/408378205/> (дата обращения: 24.01.2025).
3. ГОСТ 22.9.04–2022. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Средства поиска людей в завалах. Общие технические требования : введен в действие Приказом Федерального агентства

по техническому регулированию и метрологии от 31.08.2022 № 852-ст : взамен ГОСТ 22.9.04–97 // Консорциум Кодекс : электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200192954> (дата обращения: 24.02.2025).

4. Комплексная методика обоснования рациональных параметров программы боевого слаживания специальных формирований гражданской обороны / Е. Б. Кондратьев [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (51). С. 33–42. URL: <https://clck.ru/3NxLV7> (дата обращения: 10.02.2025).

5. Методы экспертных оценок / В. Е. Горелов [и др.]. М., 1997. 165 с.

6. Получение и анализ экспертной информации / В. Н. Бурнов [и др.]. М., 1991. 273 с.

7. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М., 1993. 198 с.

8. Запорожец А. И., Коробков С. Н., Тодосейчук С. П. О методологическом подходе к оценке эффективности технических средств поиска пострадавших в чрезвычайных ситуациях // Технологии гражданской безопасности. С. 94–99. URL: <https://clck.ru/3NxLpy> (дата обращения: 24.01.2025).

9. Аксенов М. Б., Переяслов А. Н. Основные тенденции развития приборов поиска пострадавших // Технологии гражданской безопасности. С. 100–109. URL: <https://clck.ru/3NxMJr> (дата обращения 24.02.2025).

REFERENCES

1. On the Protection of the Population and Territories from Natural and Man-made Emergencies : Federal Law № 68-FZ dated 21.12.1994 : adopted by the State Duma on 11.11.1994 // ConsultantPlus. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/ (date of application: 24.01.2025).

2. GOST 22.9.22–2023. Safety in emergency situations. Emergency rescue equipment. Classification : approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 07.12.2023 No. 1535-st: introduced for the first time // Garant.ru : information and legal portal. URL: <https://base.garant.ru/408378205/> (date of application: 24.01.2025).

3. GOST 22.9.04–2022. Safety in emergency situations. Means of searching for people in the rubble. General technical requirements : Enacted by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 31.08.2022 № 852-st : in place of GOST 22.9.04–974 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200192954> (date of application: 24.02.2025).

4. A comprehensive methodology for substantiating the rational parameters of the combat coordination program for special civil defense formations // E. B. Kondratiev et al. URL: <https://clck.ru/3NxLV7> (date of application: 10.02.2025).

5. Methods of expert assessments / V. E. Gorelov et al. M., 1997. 165 p.

6. Obtaining and analyzing expert information / V. N. Burnov et al. M., 1991. 273 p.

7. Saati T. L. Decision-making. Hierarchy analysis method. Trans. M., 1993. 198 p.

8. Zaporozhets A. I., Korobkov S. N., Todoseychuk S. P. On a methodological approach to assessing the effectiveness of technical means of searching for victims in emergency situations // Civil Security Technology. pp. 94–99. URL: <https://clck.ru/3NxLpy> (date of application: 24.01.2025).

9. Aksenov M. B., Pereyaslov A. N. The main trends in the development of victim search devices // Civil Security Technology. pp. 100–109. URL: <https://clck.ru/3NxMJr> (date of application: 24.02.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Веселов Алексей Вячеславович, старший преподаватель кафедры аварийно-спасательных работ Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Российская Федерация, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А); РИНЦ ID: 1111605; e-mail: Alexey-19_87@mail.ru

Давыдов Роман Михайлович, курсант командно-инженерного факультета Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Российская Федерация, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А); e-mail: roma2003101@yandex.ru

Кузьмин Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной и экологической безопасности Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева (420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, 10); SPIN-код: 5231-2804; e-mail: avkuzmin16@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey V. Veselov, Senior Lecturer at the Department of Emergency Rescue Operations of the Academy of Civil Protection of EMERCOM of Russia (1A Sokolovskaya str. Moscow region, Khimki, md. Novogorsk 141435, Russian Federation); RSCI ID: 1111605; e-mail: Alexey-19_87@mail.ru

Roman M. Davydov, cadet of the command and engineering faculty of the Academy of Civil Protection of EMERCOM of Russia (1A Sokolovskaya str. Moscow region, Khimki, md. Novogorsk 141435, Russian Federation); e-mail: roma2003101@yandex.ru

Alexander V. Kuzmin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Industrial and Environmental Safety, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev (10 Karla Marksa str., Kazan, 420111, Russian Federation); SPIN-код: 5231-2804; E-mail: avkuzmin16@gmail.com

Поступила в редакцию 05.03.2025
Одобрена после рецензирования 07.05.2025
Принята к публикации 15.09.2025