

Научная статья
УДК 504.064.36:614.876
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.29.89.015

Методика оценки готовности системы мониторинга радиационной обстановки для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения

Александр Иванович Мазаник¹
Николай Прохорович Валуев¹
Иван Юрьевич Сергеев²
Глеб Александрович Николаев²

¹Академия гражданской защиты, Москва, Россия

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Глеб Александрович Николаев, 89082194153@mail.ru

Аннотация. В статье описана методика оценки уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения. Разработанная методика позволяет оценить текущий уровень готовности системы мониторинга по пятибалльной шкале. Методикой предусмотрено последовательное решение шести задач, для которых разработаны соответствующие алгоритмы, основанные на известных научных методах (метод парных сравнений, метод Дельфи, метод ранжирования и метод анализа иерархий).

Ключевые слова: ЗАТО, радиация, радиоактивность, ионизирующее излучение, гамма-излучение, радиационный контроль, атомная промышленность, радиоэкология, ядерный терроризм, ядерное оружие

Для цитирования: Мазаник А.И., Валуев Н.П., Сергеев И.Ю., Николаев Г.А. Методика оценки готовности системы мониторинга радиационной обстановки для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 131-141.

Original article

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE READINESS OF THE RADIATION MONITORING SYSTEM TO DETECT LOCAL SOURCES OF IONIZING RADIATION

Alexander I. Mazanik¹
Nikolay P. Valuev¹
Ivan Y. Sergeev²
Gleb A. Nikolaev²

¹Civil Defense Academy EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

²Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Gleb A. Nikolaev, 89082194153@mail.ru

Abstract. The article describes a methodology for assessing the level of readiness of the radiation monitoring system to detect local sources of ionizing radiation of terrorist origin. The developed methodology makes it possible to assess the current level of readiness of the monitoring system on a five-point scale. The methodology provides for the sequential solution of six problems, for which appropriate algorithms based on well-known scientific methods (the method of paired comparisons, the Delphi method, the ranking method and the method of hierarchy analysis) have been developed.

Keywords: closed city, radiation, radiation control, ionizing radiation, gamma radiation, nuclear industry, radioecology, nuclear terrorism, nuclear weapons

For citation: Mazanik A.I., Valuev N.P., Sergeev I.Y., Nikolaev G.A. Methodology for assessing the readiness of the radiation monitoring system to detect local sources of ionizing radiation // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2022. № 2 (25). С. 131-141.

В актуализированной редакции Концепции радиационной, химической и биологической защиты населения [1] подчеркнута растущая угроза глобального экстремизма (терроризма) и его новых проявлений в условиях недостаточно эффективного международного антитеррористического сотрудничества. Существует реальная угроза подготовки и проведения терактов с применением радиоактивных веществ. На международную обстановку все большее влияние оказывает критическое состояние физической сохранности радиоактивных материалов, особенно в государствах с нестабильной внутривнутриполитической ситуацией, что повышает вероятность возможных проявлений ядерного терроризма.

Для органов управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций является актуальным вопрос организации эффективных практических мероприятий, направленных на предупреждение возможных проявлений ядерного терроризма на территории Российской Федерации. Эффективность мероприятий по предупреждению возможных проявлений ядерного терроризма в субъектах Российской Федерации и муниципальных образованиях зависит от текущего состояния системы мониторинга радиационной обстановки.

Система мониторинга радиационной обстановки муниципального образования (на примере закрытого административно-территориального образования (ЗАТО) г. Железнодорожного Красноярского края) состоит из стационарных и мобильных пунктов наблюдения. Пункт наблюдения представляет из себя датчик (систему датчиков, дозиметрическую систему), регистрирующий мощность дозы гамма-излучения (рисунок 1).

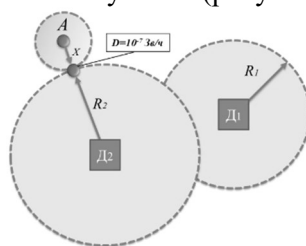


Рис. 1. Иллюстрация принципа обнаружения локального источника ионизирующего излучения, где D – пункт наблюдения, A – активность источника ионизирующего излучения, X – расстояние от источника, на котором создается искомая мощность дозы ($D=10^{-7}$ Зв/ч), R – расстояние от пункта наблюдения, на котором регистрируется мощность дозы 10^{-7} Зв/ч

Все дозиметрические системы различаются порогом чувствительности. Порог чувствительности – это показатель, который характеризует обнаруживающую способность прибора, и представляет собой минимальную величину отклонения показаний датчика, такую, что используемый датчик при этом надежно, гарантированно (с вероятностью не менее 0,95) зафиксирует данное отклонение, и обеспечит таким образом обнаружение локального источника ионизирующего излучения [2].

Локальный источник ионизирующего излучения – это некоторое количество опасного радиоактивного вещества, размещенное в контейнере, капсуле, сумке, в составе взрывного или

распыляющего устройства. В качестве радиоактивных веществ изучаются плутоний, уран и продукты их распада.

Особенностью локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения является то, что даже при незначительном физическом объеме самого изделия, такие источники уже могут соответствовать самым высоким уровням опасности по международной шкале ядерных событий. При этом гамма-излучение от такого скрытого (спрятанного) локального источника достаточно слабое и его можно будет зафиксировать только в том случае, если удастся хорошо приблизиться к нему с дозиметрическим оборудованием. Такая особенность локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения предопределяет и влечет за собой риск вообще не обнаруживать их в течение продолжительного времени.

Стационарные пункты наблюдения, объединенные в единую сеть сбора данных, составляют действующую автоматизированную систему контроля радиационной обстановки (АСКРО). К стационарным пунктам наблюдения относятся также дозиметрические системы, которые используются на контрольно-пропускных пунктах и пунктах поточного контроля транспорта, но они, как правило, не интегрированы в действующую АСКРО. АСКРО функционирует непрерывно, информация о радиационном фоне со стационарных пунктов наблюдения АСКРО доступна населению на сайте (рисунок 2). Но АСКРО абсолютно не рассчитана на обнаружение локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения. В составе АСКРО для этого недостаточное количество стационарных пунктов наблюдения, даже с учетом повышения их чувствительности. Применение АСКРО рассчитано только на крупные производственные радиационные аварии с большим объемом выбросом радиоактивных веществ, или в случае применения ядерного оружия, для оперативного контроля радиационного фона и прогнозирования размеров зон радиоактивного загрязнения местности.



Рис. 2. Информационная система автоматизированной системы контроля радиационной обстановки на предприятиях Росатома

Мобильные пункты наблюдения представляют собой носимые приборы или дозиметрические системы, размещенные на базе автомобильного (рисунок 3), водного, воздушного транспорта, робототехнических и беспилотных систем. Мобильные пункты наблюдения, как правило, не задействованы на постоянной основе и используются только по мере необходимости, в том числе и в случае террористической угрозы с использованием радиоактивных веществ.



Рис. 3. Радиометрическая лаборатория на базе Ford Transit LWB

Предпосылки террористической угрозы с использованием радиоактивных веществ возникают при их утрате, в процессе их транспортировки, при нарушении мер безопасности на радиационно опасных объектах, в том числе в случае несанкционированного доступа на производственные объекты, кражи или деятельности диверсионных групп. В результате на территории муниципального образования могут располагаться (храниться, накапливаться и/или использоваться) единичные и множественные источники ионизирующего излучения.

Для предупреждения террористических угроз с использованием радиоактивных веществ при ухудшении международной обстановки, получении оперативного неблагоприятного прогноза, поступлении анонимных сообщений, органами управления (по решению соответствующих руководителей) организовывается оперативный радиационный контроль территории и объектов с целью скорейшего обнаружения возможных источников ионизирующего излучения террористического происхождения (или подтверждения информации об их отсутствии на основе результатов проведенного обследования).

Оперативный радиационный контроль территории и объектов представляет собой процесс последовательного радиационного обследования (с использованием стационарных и мобильных пунктов наблюдения) всех имеющихся участков местности, квартир, домов, социально-значимых, инфраструктурных, производственных объектов, транспортных потоков. Эффективность данного процесса может быть количественно охарактеризована некоторым показателем. Показателем эффективности системы мониторинга радиационной обстановки может являться количество обследованных объектов за отведенное время контроля.

Недостаточная эффективность действующей в настоящее время АСКРО при решении таких задач, связанных с обнаружением локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения, порождает противоречие в практической области: с одной стороны, необходимо повысить эффективность применения системы мониторинга; с другой стороны, имеются строгие ограничения по финансовым, материальным и людским ресурсам. Разрешение данного противоречия представляется возможным за счет обоснования рационального количества пунктов наблюдения, с учетом их обнаруживающей способности, стоимости, а также распределения пунктов наблюдения по имеющимся районам радиационного обследования на территории муниципального образования.

Под «районом радиационного обследования» понимается множество объектов, участков местности и транспортных потоков, классифицированных исходя из их географического расположения, а также одинакового применяемого для их обследования дозиметрического оборудования и необходимых специалистов. Все районы радиационного обследования предлагается классифицировать по областям поиска. Области поиска – это результат классификации множества районов радиационного обследования для облегчения решения задачи оценки текущего уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки (примерные наименования областей поиска: «социально-значимые объекты»; «жилые объекты»; «участки дорог»; «объекты промышленности»; «объекты торговли»; «труднодоступные участки»; «транспортные потоки»).

Смысл определения текущего уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки заключается в комплексной экспертной оценке, выраженной в баллах, на основе следующих критериев: «укомплектованность и техническая оснащенность органов управления»; «наличие датчиков и оборудования пунктов наблюдения, запасов материальных и технических средств»; «наличие системы сбора и обработки информации»; «наличие комплекса средств для прогнозирования и моделирования радиационной обстановки»; «наличие сил и средств для организации мониторинга радиационной обстановки».

Разработанная методика оценки готовности системы мониторинга радиационной обстановки для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения позволяет оценить текущий уровень готовности в баллах – от 1 до 5. Для этого методикой предусмотрено последовательное решение шести задач (рисунок 4), для которых разработаны соответствующие

алгоритмы, основанные на известных, достоверных и многократно апробированных методах, подробно описанных в научной литературе [3-14].



Рис. 4. Последовательность выполнения методики оценки готовности системы мониторинга радиационной обстановки для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения

Задача классификации множества районов радиационного обследования решается с использованием разработанного алгоритма, основанного на методе парных сравнений и методе Дельфи (рисунок 4, поз. 1-2). В результате группировки все районы радиационного обследования объединяются в виды областей поиска. До членов экспертной группы доводится перечень исходных данных и правила заполнения матриц попарных сравнений. Принимается решение об исключении некомпетентных специалистов из состава экспертной группы. При необходимости организуется обсуждение полученных матриц предпочтений сравниваемых объектов с целью повышения согласованности мнений экспертов. Осуществляется сравнительная оценка предлагаемых объектов с учетом исходных данных. Заполняются матрицы попарных сравнений соответствующих размерностей. На основе обработки матриц попарных сравнений определяется компетентность каждого эксперта. Разрабатываются рекомендации по исключению из экспертной группы некомпетентных специалистов. Рассчитываются значения коэффициентов, характеризующих согласованность мнений экспертов. На основе значений коэффициентов, характеризующих согласованность мнений экспертов, определяют целесообразность проведения процедуры обсуждения полученных матриц предпочтений сравниваемых объектов.

Следующим шагом является определение коэффициентов значимости выполнения радиационного обследования по каждому виду областей поиска (рисунок 4, поз. 3-4). Алгоритм решения данной задачи основан на методе ранжирования. Сущность ранжирования заключается в том, что каждый эксперт располагает виды областей поиска по порядку убывания (возрастания) уровня их значимости. Наиболее значимому виду областей поиска эксперт присваивает ранг 1, второму по значимости – ранг 2 и т.д. до n , где n – число сравниваемых видов областей поиска. После этого определяется значимость выполнения радиационного обследования по всем районам поиска с учетом значимости видов областей поиска, в состав которых они входят.

На следующем этапе определяются уровни готовности системы мониторинга в отдельности по каждой из областей (рисунок 4, поз. 5). Первым шагом является определение коэффициентов их готовности. Для решения этой задачи предлагается использовать метод анализа иерархии. Решение данной задачи предусматривает следующие этапы: определение вектора локальных приоритетов частных критериев; определение матрицы локальных приоритетов видов областей поиска по каждому частному критерию; определение вектора глобальных приоритетов видов областей поиска.

С помощью метода анализа иерархии определяются относительные оценки уровня готовности системы мониторинга по всем видам областей поиска, на основе которых могут быть получены абсолютные оценки по пятибалльной шкале.

В рассматриваемой задаче применение метода анализа иерархии позволяет определить коэффициенты готовности системы мониторинга в каждом из видов областей поиска на основе процедуры их структурирования и упорядочивания в виде иерархии. В наиболее элементарном виде иерархия строится с вершины (цели, которая формулируется с точки зрения принятия

рационального решения) через промежуточные уровни (частные критерии, с помощью которых сравниваются элементы на нижнем уровне) к нижнему уровню иерархии (перечню сравниваемых альтернатив). Для сформулированной задачи уровни иерархии могут быть интерпретированы следующим образом:

вершина иерархии определяет цель, которая заключается в оценке уровня готовности системы мониторинга для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения в выбранном виде области поиска;

на втором уровне иерархии размещаются частные критерии, влияющие на проводимую оценку готовности системы мониторинга;

на третьем уровне иерархии размещаются оцениваемые виды областей поиска.

В общем виде иерархия «цель-частные критерии-виды областей поиска», структурирующая проблему определения коэффициентов готовности системы мониторинга для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения представлена на рис. 5.

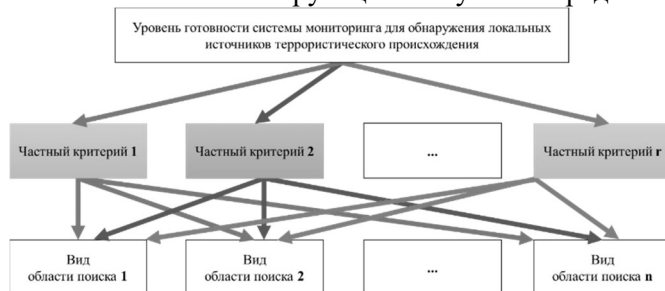


Рис. 5. Общий вид иерархии «цель-частные критерии-виды областей поиска»

Основными этапами решения задачи определения коэффициентов готовности на основе метода анализа иерархий являются:

- заполнение экспертами матриц попарных сравнений соответствующей размерности на основе оценки готовности системы мониторинга для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения в каждом из видов областей поиска;
- определение значений элементов результирующей матрицы на основе обработки матриц попарных сравнений, заполненных каждым экспертом;
- определение значения среднего геометрического для каждой строки результирующей матрицы;
- определение значений вектора локальных приоритетов на основе получения нормализованных значений средних геометрических;
- оценка согласованности мнений экспертов на основе расчета значения отношения согласованности и его сравнения с табличным значением;
- определение значений вектора глобальных приоритетов.

Рассмотрим более детально каждый из приведенных выше этапов.

1. В методе анализа иерархий при заполнении экспертами матрицы попарных сравнений все элементы на каждом уровне сравниваются попарно по отношению к каждому элементу верхнего уровня. С этой целью строятся матрицы парных сравнений, которые являются квадратными и обратно симметричными с единичной главной диагональю (таблица 1). В табл. 1 значение r определяет число частных критериев.

Таблица 1. Общий вид матрицы парных сравнений

$j = \overline{1, r}$	1	2	...	r
$i = \overline{1, r}$	1	f_{12}	...	f_{1r}
2	f_{21}	1	...	f_{2r}
...	1	...
R	f_{r1}	f_{r2}	...	1

На пересечении строк и столбцов эксперты выставляют значения в соответствии со шкалой относительной важности (таблица 2), используемой для сравнения объектов [6;13]. При этом должны выполняться следующие условия

$$f_{ij} = \frac{1}{f_{ji}}, f_{ii} = 1, i = \overline{1, r}, j = \overline{1, r}, \quad (1)$$

где r – число частных критериев.

2. Определение значений элементов результирующей матрицы осуществляется на основе обработки матриц попарных сравнений, заполненных каждым экспертом. При этом значения, стоящие на пересечении соответствующих строк и столбцов матриц, поэлементно складываются и определяется среднее арифметическое результирующего значения.

Таблица 2. Шкала относительной важности сравниваемых критериев

Интенсивность относительной важности	Определение
1	Равная важность элементов
3	Умеренное превосходство одного элемента над другим
5	Существенное или сильное превосходство одного элемента над другим
7	Значительное превосходство одного элемента над другим
9	Очень сильное превосходство одного элемента над другим
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения приоритетов
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении одного элемента с другим получено одно из вышеуказанных чисел, то при сравнении второго элемента с первым получим обратную величину

3. Для определения вектора локальных приоритетов необходимо найти множество значений собственных векторов результирующей матрицы попарных сравнений. Вычисление значений собственных векторов – довольно сложная и трудоемкая задача. Для приближенной оценки значений собственных векторов матрицы попарных сравнений можно вычислить геометрическое среднее значений по каждой строке матрицы. Для этого необходимо перемножить значения элементов в каждой строке результирующей матрицы и извлечь корень r -ой степени

$$f_i = \sqrt[r]{\prod_{j=1}^r f_{ij}} \quad (2)$$

где f_{ij} – значение элемента результирующей матрицы, расположенное на пересечении i -ой строки и j -го столбца.

На следующем этапе производится нормализация результатов, полученных на предыдущем этапе, и определяются тем самым значения вектора локальных приоритетов сравниваемых объектов

$$f_{Ni} = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^r f_i} \quad (3)$$

Для определения согласованности мнений экспертов необходимо:

а) определить значение индекса согласованности (ИС) из выражения

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - r}{r - 1}, \quad (4)$$

где $\lambda_{max} = \sum_{i=1}^r \lambda_i$; $\lambda_i = f_{Ni} \sum_{i=1}^r f_{ij}$, при $j = i, i = \overline{1, r}$.

Применительно к симметричной матрице всегда соблюдается условие $\lambda_{max} \geq r$. При абсолютной согласованности матрицы $\lambda_{max} = r$.

б) определить значение отношения согласованности (ОС)

$$ОС = \frac{ИС}{СС},$$

где СС – значение случайной согласованности, определяемое из таблицы 3 [6;13].

Таблица 3. Значения случайной согласованности для матриц разного порядка

Размер матрицы	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность (СС)	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Полученные коэффициенты значимости и уровни готовности системы мониторинга по видам областей поиска позволяют определить текущий уровень готовности системы мониторинга в целом на основе разрабатываемой мультипликативной свертки (рисунок 4, поз. б).

Значимо повысить эффективность и обеспечить прирост текущего уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки для обнаружения локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения можно за счет увеличения количества пунктов наблюдения (преимущественно мобильных) путем закупки, аренды или привлечения дополнительного дозиметрического оборудования.

Прирост текущего уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки – это функция, результат которой выражается в баллах, и характеризует долю объектов (участков местности, транспортных потоков), которые могут быть обследованы при проведении оперативного радиационного контроля в случае террористической угрозы, уже с учетом выбора и использования дополнительных закупленных (арендованных, привлеченных) пунктов наблюдения. На закупку дополнительного дозиметрического оборудования могут выделяться финансовые средства из бюджета. Выделение финансовых средств на эти цели происходит не в момент террористической угрозы, а заблаговременно, при формировании бюджета.

Научная задача исследования заключается в том, чтобы разработать научно-методический аппарат для обоснования рациональных предложений по распределению финансовых средств (при ограниченном бюджете), так, чтобы проведение оперативного радиационного контроля в случае возможной террористической угрозы обеспечивало бы обследование максимально возможного количества объектов, участков местности и транспортных потоков на территории муниципального образования.

Для заданных исходных данных требуется определить такое рациональное количество пунктов наблюдения φ_{ri}^* , распределенных по имеющимся районам радиационного обследования, которое позволит обеспечить максимальный прирост готовности системы по обнаружению локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения (обеспечить максимальное количество обследованных объектов, участков местности и транспортных потоков).

В целевой функции:

$$Q(\varphi_{ri}^*) = f(a_{ri}^{BK}(a_{ri}^{PP}, C_{\Gamma}^{ПOT}), \varphi_{ri}(x_{ri}, t)) \Rightarrow \max \quad (5)$$

$Q(\varphi_{ri}^*)$ – прирост готовности системы мониторинга, в баллах.

a_{ri}^{BK} – значение вклада осуществления радиационного обследования в Γ -ом районе радиационного обследования i -го вида области поиска в значение прироста уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки.

Значение вклада осуществления радиационного обследования – это коэффициент, полученный в результате сравнительной оценки важности мероприятий по обследованию различных объектов (участков местности, транспортных потоков), полученной на основе

обработки мнений экспертов, количественно отражающий их влияние на повышение значения уровня готовности системы мониторинга.

a_{ri}^{np} – приведенная оценка значимости осуществления радиационного обследования в r -ом районе радиационного обследования i -го вида области поиска.

Приведенная оценка значимости осуществления радиационного обследования – это комплексный коэффициент, отражающий результат ранжирования всех районов радиационного обследования по их значимости на основе обработки мнений экспертов (уже с учетом проведенной классификации районов радиационного обследования по соответствующим областям поиска, которые тоже, в свою очередь, ранжированы по значимости и, соответственно, имеют разный приоритет).

$C_r^{пот}$ – потенциальный прирост уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки.

Потенциальный прирост уровня готовности системы мониторинга радиационной обстановки – это функция, выраженная в баллах, которая количественно отражает повышение значения уровня готовности системы мониторинга в результате выполнения радиационного обследования в r -ом районе радиационного обследования i -го вида области поиска.

φ_{ri} – количество пунктов наблюдения, которые распределяются по районам радиационного обследования, входящим в соответствующие области поиска.

x_{ri} – количество обследованных объектов в процессе оперативного радиационного контроля.

t – время, выделенное на выполнение оперативного радиационного контроля в случае террористической угрозы.

Вводится следующее ограничение:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R S_{ri} \varphi_{ri} \leq S \quad (6)$$

где

S_{ri} – стоимость дозиметрического оборудования, применяемого в r -ом районе радиационного обследования i -го вида области поиска;

S – объем финансовых средств, заблаговременно выделенных из бюджета на закупку дополнительного дозиметрического оборудования.

Управляемыми переменными для достижения максимума целевой функции (5) является количество пунктов наблюдения и количество обследованных объектов, участков местности и транспортных потоков.

Реализация на практике разработанной методики позволит должностным лицам единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций произвести анализ имеющейся системы мониторинга радиационной обстановки, количественно оценить уровень ее готовности для решения задачи обнаружения локальных источников ионизирующего излучения террористического происхождения, а также использовать полученные данные для дальнейшего обоснования рационального количества пунктов наблюдения при выделении финансовых средств на совершенствование действующей системы.

Список источников

1. Решение коллегии МЧС России от 04.12.2019 г. № 8/П «Об утверждении актуализированной редакции Концепции радиационной, химической и биологической защиты населения».

2. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Сергеев И.Ю., Стасишин Л.А. Радиационный контроль транспортных средств с помощью переносных приборов и стационарных систем // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Грузовик». – 2015. – №9. – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». – С. 35-39.

3. Бурнов В.Н. и др. Получение и анализ экспертной информации. – М.: ИПУ, 1991.

4. Горелов В.Е. и др. Методы экспертных оценок. – М.: ВНИИПИ, 1997.
5. Евланов Л.Г. Принятие решений в условиях неопределенности. – М.: Институт управления народным хозяйством, 1976.
6. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. – М.: Наука, 1989.
7. Кузьменко Ю.М. и др. Методы анализа и обработки военно-экономической информации. – М.: Наука, 1978.
8. Девид Г. Метод парных сравнений. – М.: Статистика, 1998.
9. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. – М.: ФМ, 1963.
10. Кендел М. Ранговые корреляции. – М.: Статистика, 1985.
11. Айвазян С.А. и др. Классификация многомерных наблюдений. – М.: Статистика, 1984.
12. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983.
13. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ. – М.: Военное издательство, 2001.
14. Жуков Г.П., Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций. – М.: Воениздат, 1987.

List of sources

1. Decision of the Board of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 04.12.2019 No. 8/II «On approval of the updated version of the Concept of radiation, chemical and biological protection of the population».
2. Valuev N.P., Nikonenkov N.V., Sergeev I.Yu., Stasishin L.A. Radiation control of vehicles using portable devices and stationary systems // Monthly scientific-technical and production magazine «Truck». – 2015. – No. 9. – Moscow: LLC «Publishing House of Mechanical Engineering». – pp. 35-39.
3. Burnov V.N. et al. Obtaining and analyzing expert information. – Moscow: IPU, 1991.
4. Gorelov V.E. et al. Methods of expert assessments. – М.: VNIPI, 1997.
5. Evlanov L.G. Decision-making under uncertainty. – М.: Institute of National Economy Management, 1976.
6. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Expert assessments. - М.: Nauka, 1989.
7. Kuzmenko Yu.M. et al. Methods of analysis and processing of military-economic information. – М.: Nauka, 1978.
8. David G. The method of paired comparisons. – М.: Statistics, 1998.
9. Scheffe G. Analysis of variance. – М.: FM, 1963.
10. Kendel M. Rank correlations. – М.: Statistics, 1985.
11. Ayvazyan S.A. et al. Classification of multidimensional observations. – М.: Statistics, 1984.
12. Ferster E., Rents B. Methods of correlation and regression analysis. – М.: Finance and Statistics, 1983.
13. Vikulov S.F. Military-economic analysis. – М.: Military Publishing House, 2001.
14. Zhukov G.P., Vikulov S.F. Military-economic analysis and operations research. – М.: Voensizdat, 1987.

Информация об авторах

А.И. Мазаник – доктор военных наук, профессор

Н.П. Валуев – доктор технических наук, доцент

И.Ю. Сергеев – кандидат технических наук

Information about the author

A.I. Mazanik – Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Military Sciences,
Full Professor

N.P. Valuev – Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences,
Docent

I.Y. Sergeev – Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов

Мазаник А.И., Валуев Н.П., Сергеев И.Ю. – научное руководство, доработка текста, итоговые выводы. Николаев Г.А. – написание исходного текста.

Contribution of the authors

A.I. Mazanik, N.P. Valuev, I.Y. Sergeev – scientific management, follow-on revision of the text, final conclusions. G.A. Nikolaev – writing the draft.

Статья поступила в редакция 26.05.2022; одобрена после рецензирования 15.06.2022; принята к публикации 30.06.2022.

The article was submitted 26.05.2022, approved after reviewing 15.06.2022, accepted for publication 30.06.2022.