

Научная статья

УДК 53.089.6+352/354-1; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-80-90

КОМПЛЕКСНАЯ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В МЧС РОССИИ

Гарелина Светлана Александровна;

✉ Любкин Роман Николаевич;

Сысоев Денис Олегович.

Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Россия

✉ r.lyubkin@agz.50.mchs.gov.ru

Аннотация. Представлена комплексная риск-ориентированная методика планирования и организации поверки средств измерений в системе МЧС России. Методика направлена на минимизацию совокупных потерь, включающих прямые затраты и потенциальный ущерб от временного вывода приборов из эксплуатации. Разработана модульная структура, объединяющая аналитические, логистические и экономические модели, обеспечивающая системный и воспроизводимый подход к управлению поверочными ресурсами. В неё входят пять взаимосвязанных модулей: приоритизация территориальных объектов, оптимизация маршрутов подвижных метрологических лабораторий, распределение средств измерений между каналами поверки, оптимизация поверки приборов радиационного мониторинга и оценка целесообразности расширения поверочных мощностей. Для анализа эффективности предложены количественные критерии, отражающие предотвращённые потери и уровень бюджетной отдачи. Применение предложенной методики позволяет учитывать реальное распределение рисков и ресурсных ограничений, обеспечивая научно обоснованное планирование поверок, рациональное использование бюджета и повышение надёжности функционирования измерительных комплексов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке программ метрологического обеспечения, совершенствовании системы технического контроля и формировании стратегий развития инфраструктуры поверочных лабораторий.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, риск-ориентированный подход, поверка, оптимизация, радиационный мониторинг, подвижная метрологическая лаборатория, бюджетная эффективность

Для цитирования: Гарелина С.А., Любкин Р.Н., Сысоев Д.О. Комплексная риск-ориентированная методика обоснования рациональных параметров системы организации поверки средств измерений в МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 80–90. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-80-90

Scientific article

COMPREHENSIVE RISK-BASED METHODOLOGY JUSTIFICATIONS OF RATIONAL PARAMETERS SYSTEMS FOR THE ORGANIZATION OF VERIFICATION OF MEASURING INSTRUMENTS IN EMERCOM OF RUSSIA

Garelina Svetlana A.;

✉ Lyubkin Roman N.;

Sysoev Denis O.

✉ r.lyubkin@agz.50.mchs.gov.ru

Abstract. A comprehensive risk-based methodology for planning and organizing the verification of measuring instruments in the EMERCOM of Russia system is presented. The technique is aimed at minimizing cumulative losses, including direct costs and potential damage from temporary decommissioning of devices. A modular structure has been developed that combines analytical, logistical and economic models, providing a systematic and reproducible approach to the management of verification resources. It includes five interrelated modules: prioritization of territorial facilities, optimization of routes for mobile metrological laboratories, distribution of measuring instruments between verification channels, optimization of verification of radiation monitoring devices, and assessment of the feasibility of expanding verification capacities. To analyze the effectiveness, quantitative criteria are proposed that reflect the prevented losses and the level of budget return. The application of the proposed methodology makes it possible to take into account the real distribution of risks and resource constraints, ensuring scientifically sound planning of checks, rational use of the budget and improving the reliability of measuring systems. The results of the research can be used in the development of metrological support programs, improvement of the technical control system and formation of strategies for the development of the infrastructure of verification laboratories.

Keywords: metrological support, risk-based approach, verification, optimization, radiation monitoring, mobile metrological laboratory, budgetary efficiency

For citation: Garelina S.A., Lyubkin R.N., Sysoev D.O. Comprehensive risk-based methodology justifications of rational parameters systems for the organization of verification of measuring instruments in EMERCOM of Russia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 80–90. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-80-90

Введение

Метрологическое обеспечение [1] в системе МЧС России является неотъемлемой частью поддержания технической готовности аварийно-спасательных подразделений и систем радиационного мониторинга¹. Более 90 % парка средств измерений (СИ) в территориальных органах и учреждениях (ТОиУ) составляют приборы давления и вакуума (около 80 %), радиационного излучения и ядерных констант (около 10 %). Исправность этих СИ критически важна для обеспечения готовности как аварийно-спасательного оборудования, так и системы наблюдения за радиационной обстановкой [2]. СИ, входящие в состав технического оснащения аварийно-спасательных подразделений, непосредственно обеспечивают выполнение работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) [3]. Их временная недоступность снижает общую оперативную готовность и увеличивает время реагирования. СИ, обеспечивающие работу сети радиационного мониторинга, формируют территориальный охват

¹ Об обеспечении единства измерений»: Федер. закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008

измерений. Их изъятие приводит к уменьшению плотности наблюдений и, как следствие, повышает риск пропуска опасных изменений радиационной обстановки.

Действующая система поверок в МЧС России сочетает работу подвижных метрологических лабораторий (ПМЛ) и стационарных центров – ФКУ «Центр материально-технического и метрологического обеспечения МЧС России» (Центр МТМО) и аккредитованных коммерческих лабораторий². ПМЛ выполняют поверку на местах эксплуатации СИ давления и вакуума, однако их производительность ограничена временем командировок и транспортной доступностью. Поэтому часть приборов, включая средства радиационного контроля и неохваченные ПМЛ СИ давления и вакуума, направляется в стационарные центры, где цикл изъятия, поверки и возврата занимает от нескольких недель до месяцев.

Таким образом, поверочный процесс сам по себе становится фактором риска, поскольку временное изъятие части СИ из эксплуатации повышает потенциальный ущерб от возможных ЧС из-за снижения доступности приборов. В этих условиях возникает необходимость минимизации совокупных потерь – затрат на поверочный цикл и потенциального ущерба, связанного с простоем СИ. Решение данной задачи требует перехода к риск-ориентированной интегрированной системе поверок, обеспечивающей оптимальный баланс между затратами и возможным ущербом при ограниченных ресурсах. На этой основе разработана комплексная методика обоснования рациональных параметров организации поверки СИ, объединяющая аналитические, логистические и экономические аспекты в единую структуру, направленную на повышение эффективности метрологического обеспечения МЧС России.

Методы исследований

Система организации поверки СИ рассматривается как управляемый объект, в котором совокупные потери зависят от организационных решений, доступных ресурсов и характеристик каналов поверки. Цель исследования – минимизация совокупных потерь P системы организации поверки СИ:

$$P = Z + U,$$

где Z – прямые затраты на поверочный цикл (для ТООУ включающие только транспортные расходы при поверке в Центре МТМО, и полную стоимость поверки при обращении в коммерческие лаборатории); U – ожидаемый (потенциальный) ущерб от временного вывода приборов из эксплуатации.

При этом риск ЧС R в контексте методики рассматривается как произведение вероятности возникновения неблагоприятного события на величину потенциального ущерба. Риск ЧС для каждого ТООУ определяет его приоритет при планировании поверок и распределении ресурсов.

Для количественной оценки потенциального ущерба U при временном выводе приборов из эксплуатации применяются две модели, отражающие специфику разных подсистем метрологического обеспечения.

1. Экспоненциальная модель для СИ, использующихся при аварийно-спасательных работах [4, 5]. Ущерб при временном выводе СИ из эксплуатации увеличивается с ростом продолжительности их простоя и описывается зависимостью:

² Об утверждении Руководства по обеспечению единства измерений в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 30 нояб. 2021 г. № 833 // МЧС России. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/normativnye-pravovye-akty-mchs-rossii/6510> (дата обращения: 17.08.2025)

$$U_{\text{АСР}} = Y e^{\alpha \omega T \frac{mM}{m-1}}, \quad (1)$$

где Y – потенциальный ущерб при полной работоспособности комплекса СИ, руб./год; $\alpha = 0,046$ 1/ч – эмпирический показатель чувствительности ущерба к времени простоя; ω – частота ЧС, 1/мес.; $T = 1$ год – расчётный период; M – средняя длительность поверки одной партии, мес.; m – число партий отправки приборов на поверку.

2. Степенная модель для сетей радиационного мониторинга³. Для стационарных постов радиационного контроля снижение охвата сети приводит к ускоренному росту ущерба [6], который адекватно описывается степенной зависимостью:

$$U_{\text{мон}} = \frac{B_{\text{max}} M}{T} \left(\frac{1}{m} \right)^{\gamma}, \quad (2)$$

где B_{max} – ущерб при полном отсутствии функционирования сети мониторинга, руб.; γ – показатель нелинейности (чувствительность системы к одновременному выводу нескольких постов).

В основу построения методики положены следующие принципы:

1) Риск-ориентированность – приоритет предоставляется ТОиУ с наибольшими значениями R_j , отражающими интегральный риск возникновения ЧС на территории объекта по соответствующему виду СИ, с учётом возможного ущерба для населения, инфраструктуры и критически важных систем контроля.

2) Ресурсная сбалансированность – решения принимаются с учётом ограничений по бюджету B_{Σ} , поверочной мощности ПМЛ ($N_{\text{ПМЛ}}$) и времени поверочного цикла.

3) Иерархичность – методика основана на модульной структуре и включает несколько функциональных уровней, каждый из которых решает строго определённую частную задачу. Уровни выстроены в логическую последовательность, что обеспечивает системность и поэтапность формирования решений.

4) Замкнутость управления – методика предусматривает использование механизмов обратной связи: результаты выполнения последующих этапов позволяют корректировать параметры предыдущих шагов. Такой подход обеспечивает адаптацию системы к изменяющимся условиям, вариативности исходных данных и неравномерности ресурсной нагрузки.

Совокупные затраты на метрологическое обеспечение ограничиваются бюджетом B_{Σ} , включающим обязательную и вариативную части:

$$B_{\Sigma} = B_{\text{min}} + \Delta B, \quad (3)$$

где B_{min} – минимально необходимый бюджет для обеспечения поверки всего комплекса СИ в Центре МТМО (включая эксплуатацию действующих ПМЛ и фонд оплаты труда персонала), руб.; ΔB – дополнительные средства, направляемые на реализацию оптимизационных решений в рамках модулей методики, руб.

Оптимизация распределения дополнительных средств между модулями формулируется как задача максимизации предотвращённых потерь:

$$\sum \Delta P_i x_i \rightarrow \max, \text{ при } \sum \Delta Z_i x_i \leq \Delta B, x_i \in [0, 1], \quad (4)$$

³ ГОСТ Р 51901.16–2017. Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки (введ. взамен ГОСТ Р 51901.16–2005 (МЭК 61164:1995), дата введения: 2017-09-12 № 1059-ст.). М.: Изд-во «Стандартинформ», 2017. 40 с.

где ΔP_i – предотвращённые совокупные потери при реализации i -го модуля, руб.; ΔZ_i – дополнительные затраты, требуемые для его реализации, руб.; x_i – доля реализации модуля (0 – не реализован, 1 – реализован полностью).

Для оценки результативности каждого решения вводится интегральный показатель отдачи бюджета:

$$\rho_i = \Delta P_i / \Delta Z_i, \quad (5)$$

характеризующий предотвращённые потери на каждый рубль дополнительных затрат.

Показатель ρ_i используется как критерий распределения бюджета при интеграции модулей и позволяет упорядочить решения по их эффективности.

На основе изложенных принципов, моделей (1) – (2) и зависимостей (3) – (5) построена модульная структура комплексной методики, включающая пять взаимосвязанных блоков. Каждый модуль решает отдельную задачу – приоритизацию ТООУ (I), маршрутизацию ПМЛ (II), распределение по стационарным каналам поверки (III – IV) и оценку целесообразности расширения мощностей ПМЛ (V). Эти блоки формируют последовательный и адаптивный цикл управления, направленный на минимизацию совокупных потерь системы метрологического обеспечения МЧС России при заданных ресурсных ограничениях.

Результаты исследования и их обсуждение

Модуль I. Риск-ориентированная приоритизация ТООУ для обслуживания ПМЛ.

Назначение: Определение перечня ТООУ_I, подлежащих обслуживанию ПМЛ в первую очередь. Отбор выполняется по величине риска R_j при ограничении поверочной мощности $N_{ПМЛ}$, что обеспечивает максимальное использование её ресурса.

Исходные данные: R_j ; N_{1j} – количество СИ давления и вакуума; $N_{ПМЛ}$.

Алгоритм работы:

1. ТООУ ранжируются по величине R_j и разбиваются на ранги: $P1 \rightarrow P2 \rightarrow P3$ с шагом $\Delta R = (R_{\max} - R_{\min})/3$.

2. Отбор начинается с ранга $P1$: в план включаются объекты по убыванию R_j до выполнения условия $\sum_j N_{1j} \leq N_{ПМЛ}$.

3. При превышении мощности ПМЛ производится замена наиболее объёмного ТООУ на менее ресурсоёмкий для минимизации $|\sum_j N_{1j} - N_{ПМЛ}| \rightarrow \min$.

Результаты и выходные параметры:

1) Перечень ТООУ_I, включённых в план обслуживания ПМЛ.

2) Объёмы поверяемых СИ $N_{1I}(ТООУ_I)$.

3) Предотвращённые совокупные потери:

$$\Delta P_I = R_0 - R_I - \Delta Z_I,$$

где R_0 – риск при нерациональном (территориальном) распределении выездов ПМЛ, когда планирование выполняется по географическому принципу (метод ближайшего соседа) без учёта уровней риска и приоритетности объектов; R_I – риск после применения риск-ориентированного отбора ТООУ с учётом поверочной мощности ПМЛ; ΔZ_I – дополнительные транспортные затраты, возникающие вследствие увеличения средней длины маршрутов при переходе от территориального принципа планирования к риск-ориентированному.

Таким образом, модуль I формирует оптимальный перечень ТООУ, обеспечивающий максимальное снижение совокупных потерь при заданной мощности ПМЛ. Полученные данные служат исходными для модулей маршрутизации и бюджетной оптимизации.

Модуль II. Оптимизация маршрутов ПМЛ.

Назначение: Определение оптимальной последовательности выездов ПМЛ для минимизации суммарного времени маршрутизации и транспортных затрат при сохранении нормативной загрузки и ограниченного времени командировки β .

Исходные данные: координаты ТООУ_I (x_j , y_j); t – время поверки СИ; v – скорость передвижения ПМЛ; β ; N_{1j} ; $N_{ПМЛ}$.

Алгоритм работы:

1. Формируется матрица расстояний $L_{ij} = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{0.5}$ и соответствующая матрица времён переходов $T_{ij} = L_{ij}/v$.

2. Начальный маршрут строится жадным методом [7, 8] – последовательным выбором ближайшего неотмеченного ТООУ_I.

3. Оптимизация маршрута выполняется методом имитации отжига [9, 10], минимизируя:

$$T_{\text{год}} = \sum_{k=1}^K T_k = \sum_{k=1}^K (\sum_{i,j} T_{ij} + \sum_j N_{1j}^k t),$$

при ограничениях на длительность каждой командировки $T_k \leq \beta$, $\sum_j N_{1j}^k \leq N_{ПМЛ}$, где k – индекс командировки.

4. При наличии временного резерва включаются дополнительные объекты ДТОУ следующего ранга.

Результаты и выходные параметры:

1) Оптимальная последовательность маршрутов ПМЛ и уточнённый перечень обслуживаемых объектов ТООУ_{II} = ТООУ_I + ДТОУ.

2) Уточнённые объёмы поверяемых ПМЛ СИ $N_{II}(\text{ТООУ}_{II})$.

3) Суммарное оптимизированное годовое время маршрутизации $T_{\text{год}}$.

4) Предотвращённые совокупные потери:

$$\Delta P_{II} = (R_I - R_{II}) - \Delta Z_{\text{доб}},$$

где R_{II} – риск после оптимизации маршрута и включения дополнительных ДТОУ; $\Delta Z_{\text{доб}}$ – дополнительные затраты на маршрут, связанные с доббором ДТОУ.

Таким образом, модуль II обеспечивает рациональное использование поверочного ресурса ПМЛ, позволяя за счёт оптимизации маршрутов увеличить охват ТООУ без роста годовых затрат и поддерживать минимальный уровень совокупных потерь в системе метрологического обеспечения МЧС России. Оставшаяся часть СИ, не охваченная поверкой ПМЛ, передаётся на обработку в Модуль III, где выполняется их распределение между стационарными каналами поверки с учётом бюджетных и временных ограничений.

Модуль III. Распределение неохваченных ПМЛ СИ между каналами поверки.

Назначение: Оптимизация распределения СИ, не охваченных поверкой ПМЛ, между стационарными каналами поверки, при условии, что бюджет ΔZ_{III} представляет собой лимит средств, выделенных на оплату коммерческих поверок. Оптимизация выполняется с учётом установленной пропускной способности каналов и заданной длительности поверочного цикла.

Исходные данные: N_{IIIj} ; M ; ΔZ_{III} ; ω_j ; T .

Алгоритм работы:

1. Бюджет ΔZ_{III} распределяется между ТООУ пропорционально риску R_j : $\Delta Z_{IIIj} = \Delta Z_{III} R_j / \sum_j R_j$.

2. Для каждого ТООУ формируется функция совокупных потерь:

$$P(m) = Z_1 + Z_2 m,$$

где $Z_1 = Ye^{\alpha\omega T \frac{mM}{m-1}}$ – функция, отражающая ожидаемый ущерб от временного вывода СИ из эксплуатации (2); Z_2m – прямая составляющая затрат, включающая стоимость поверки и транспортировки одной партии СИ.

3. Оптимальное число партий m^* определяется из условия $dP/dm = 0$, что дает:

$$e^{\alpha\omega T \frac{mM}{m-1}} \frac{mM - M(m-1)}{(m-1)^2} = \frac{Z_2}{Z_1\alpha\omega T}.$$

4. Сравниваются совокупные потери при поверке в Центре МТМО и в коммерческих лабораториях: выбирается вариант с минимальным $P(m^*)$, при условии $Z_{kj} \leq \Delta Z_{III}$, где Z_{kj} – затраты на поверку и транспортировку в коммерческом канале.

Если приоритет поверки установлен за коммерческим каналом, но условие $Z_{kj} \leq \Delta Z_{III}$ не выполняется (то есть стоимость поверки превышает выделенный лимит), часть приборов направляется в коммерческий канал в объёме $N_k = \Delta Z_{III}/Z_{kj}$, а оставшиеся СИ – Центр МТМО.

Результаты и выходные параметры:

1) Распределение СИ по каналам поверки (Центр МТМО и/или коммерческие метрологические лаборатории).

2) Оптимальные значения m^* для каждого канала поверки.

3) Предотвращённые совокупные потери $\Delta P_{III} = P_{base} - P_{III}$, где P_{base} – совокупные потери при базовом (нерациональном) распределении СИ между каналами поверки, включающем стандартное деление (как правило, на две партии) и типовые транспортные расходы; P_{III} – совокупные потери после оптимизации распределения каналов поверки с учётом бюджетных ограничений и рационального числа партий.

Таким образом, модуль III обеспечивает оптимальное распределение СИ между каналами поверки с учётом бюджета и длительности поверочного цикла, минимизируя суммарные потери. Полученные результаты напрямую влияют на последующее распределение бюджетных средств между направлениями метрологического обеспечения и учитываются при формировании общей структуры финансирования в рамках интегрированной системы планирования.

Модуль IV. Оптимизация поверки СИ радиационного мониторинга.

Назначение: Оптимизация распределения приборов радиационного контроля (АСМЧС и КСМ-ЗН) между каналами поверки при ограниченном бюджете ΔZ_{IV} .

Исходные данные: N_{2j} – число СИ радиационного мониторинга; M ; ΔZ_{IV} ; γ ; T .

Алгоритм работы:

Пункты 1 – 4 аналогичны описанным в Модуле III, за исключением формы функции ущерба. Вместо экспоненциальной зависимости (2) используется степенная модель (3).

Оптимальное число партий определяется из условия минимума совокупных потерь:

$$m^* = (B_{max}(M/T)(p-1)/Z_2)^{1/p}.$$

Результаты и выходные параметры:

1) Распределение СИ радиационного контроля по каналам поверки (Центр МТМО и/или коммерческие лаборатории).

2) Оптимальные значения m^* для каждого канала поверки.

3) Предотвращённые совокупные потери $\Delta P_{IV} = P_{base} - P_{IV}$, где P_{base} – совокупные потери при базовом (нерациональном) распределении СИ между каналами поверки, включающем стандартное деление (как правило, на две партии) и типовые транспортные расходы; P_{IV} – совокупные потери после оптимизации распределения каналов поверки с учётом бюджетных ограничений и рационального числа партий.

Таким образом, модуль IV сохраняет общую структуру модуля III, но учитывает специфику радиационных сетей. Реализация модуля позволяет определить оптимальное число партий и объём поверки, при которых сохраняется требуемый охват сети и минимизируются совокупные потери метрологического обеспечения МЧС России.

Модуль V. Расширение поверочных мощностей.

Назначение: Оценка целесообразности увеличения количества ПМЛ за счёт анализа баланса между риском от неохваченных поверкой СИ и совокупными затратами на создание и эксплуатацию новой ПМЛ. Цель модуля – определить, компенсирует ли снижение риска стоимость расширения системы поверки.

Исходные данные: $R_{\text{ост}}$ – суммарный риск (ущерб) по неохваченным ПМЛ СИ; $C_{\text{ПМЛ}}$ – стоимость изготовления и оснащения ПМЛ; $C_{\text{экс}}$ – годовая эксплуатационная стоимость одной ПМЛ; $Z_{\text{марш}}$ – средние транспортные расходы при выполнении маршрутов новой ПМЛ; технические характеристики шасси; ограничения по персоналу и бюджету.

Алгоритм работы:

1. Рассчитываются совокупные затраты на введение дополнительной лаборатории:

$$Z_{\text{ПМЛ}} = C_{\text{ПМЛ}} + C_{\text{экс}} + Z_{\text{марш}}.$$

2. Определяются предотвращённые совокупные потери за счёт расширения:

$$\Delta P_V = R_{\text{ост}} - Z_{\text{ПМЛ}}.$$

3. Расширение признаётся экономически целесообразным при условии: $\Delta P_V > 0$.

Результаты и выходные параметры:

1) Величина предотвращённых совокупных потерь ΔP_V .

2) Решение о целесообразности создания новой ПМЛ.

Таким образом, модуль V завершает комплексную методику и позволяет оценить, оправданы ли инвестиции в создание новой ПМЛ с точки зрения снижения совокупного ущерба от неохваченных поверкой СИ. Он формирует критерий принятия решения о развитии поверочной инфраструктуры и обеспечивает стратегическую устойчивость системы метрологического обеспечения МЧС России.

Заключение

Разработана комплексная риск-ориентированная методика планирования и организации поверки средств измерений в системе МЧС России. Она основана на поэтапном снижении совокупных потерь, включающих прямые затраты и потенциальный ущерб от временного вывода приборов из эксплуатации.

Научная новизна работы заключается в формализации поверочного процесса как управляемой системы с целевой функцией минимизации совокупных потерь и в разработке модульной структуры методики, объединяющей аналитические, логистические и экономические аспекты в единую модель. Впервые предложено использовать риск-ориентированный подход для оптимизации каналов и маршрутов поверки, введены количественные показатели эффективности (предотвращённые потери и интегральный показатель отдачи бюджета), а также реализованы модели оценки ущерба различной природы – экспоненциальная для аварийно-спасательных средств измерений и степенная – для сетей радиационного мониторинга.

В первом модуле разработан механизм риск-ориентированной приоритизации территориальных органов и учреждений, обеспечивающий отбор объектов для обслуживания подвижными метрологическими лабораториями с учётом уровня риска ЧС. Применение данного подхода позволило сформировать перечень приоритетных объектов и снизить ожидаемый ущерб при сохранении производительности лабораторий.

Во втором модуле реализован алгоритм оптимизации маршрутов подвижных метрологических лабораторий по критерию минимизации годового времени маршрутизации и транспортных затрат. Это позволило увеличить охват поверкой без роста затрат и фонда рабочего времени, обеспечив дополнительное снижение совокупных потерь.

Третий модуль обеспечил рациональное распределение средств измерений, не охваченных поверкой подвижных лабораторий, между Центром материально-технического и метрологического обеспечения и коммерческими лабораториями. В рамках модуля использована экспоненциальная зависимость совокупных потерь от времени простоя приборов, что позволило определить оптимальное количество партий для поверки и достичь минимальных потерь при заданных бюджетных ограничениях.

Четвёртый модуль уточняет подход к планированию поверок приборов радиационного мониторинга. Для этой категории средств измерений применена степенная зависимость ущерба от снижения охвата сети, что позволило определить допустимую долю одновременного изъятия приборов и оптимальные объёмы поверки при сохранении требуемого уровня радиационного контроля.

Пятый модуль направлен на оценку целесообразности расширения поверочных мощностей системы. Введён критерий, позволяющий сравнивать потенциальное снижение ущерба от неохваченных поверкой средств измерений с затратами на создание и эксплуатацию новой подвижной метрологической лаборатории. Расширение признано обоснованным, если предотвращённые потери превышают затраты на его реализацию.

Комплексная реализация предложенной методики обеспечивает согласованное и адаптивное управление системой метрологического обеспечения, позволяя эффективно перераспределять ресурсы между её уровнями и минимизировать совокупные потери при существующих ограничениях по времени, бюджету и производительности. Методика пригодна для применения на федеральном, региональном и объектовом уровнях, а её модули могут использоваться как совместно, так и автономно, в зависимости от задач и доступных ресурсов.

Разработанная методика может быть использована в качестве инструмента для планирования поверочных работ, повышения эффективности метрологического обеспечения и развития инфраструктуры поверочных лабораторий в системе МЧС России.

Список источников

1. Земляной К.Г., Глызина А.Э. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. 235 с.
2. Создание автоматизированной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций с радиационным фактором в Брянской области / О.Н. Апанасюк [и др.] // XXI ВЕК. Техносферная безопасность. 2023. № 2. С. 144–155.
3. Аварийно-спасательное оборудование // МЧС России. URL: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/2131> (дата обращения: 13.01.2026).
4. Основные пути повышения эффективности применения аварийно-спасательных служб при ликвидации чрезвычайных ситуаций: отчёт о НИР (заключительный): Шифр: «Спасатель-00» / рук. работы В.С. Федорук; отв. исп. П.А. Попов. Новогорск, 2000. 29 с.
5. Епихин А.В., Резников В.М. Вероятностная оценка эффективности проведения аварийно-спасательных работ // Технологии гражданской безопасности. 2007. № 3. С. 45–47.
6. Wheatley S., Sovacool B., Sornette D. Of disasters and dragon kings: a statistical analysis of nuclear power incidents and accidents // Risk Analysis. 2017. Vol. 37. № 1. P. 99–115.
7. Совершенный алгоритм. Жадные алгоритмы и динамическое программирование. Сер.: Библиотека программиста. СПб.: Питер, 2020. 256 с.
8. A Comparison of Greedy Algorithm and Dynamic Programming Algorithm // Web of Conferences SHS. URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2022/14/shsconf_stehf2022_03009.pdf (дата обращения: 15.11.2025).
9. Метод отжига // Алгоритмика. URL: <https://algorithmica.org/ru/annealing> (дата обращения: 24.03.2025).

10. Delahaye D., Chaimatanan S., Mongeau M. Simulated annealing: From basics to applications / eds. M. Gendreau, J.-Y. Potvin. // Handbook of Metaheuristics. 3rd ed. Cham: Springer, 2019. P. 1–35.

References

1. Zemlyanov K.G., Glyzina A.E. Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya: ucheb. posobie. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2022. 235 s.
2. Sozdanie avtomatizirovannoy sistemy monitoringa chrezvychajnykh situatsiy s radiatsionnym faktorom v Bryanskoj oblasti / O.N. Apanasyuk [i dr.] // XXI VEK. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2023. № 2. S. 144–155.
3. Avarijno-spasatel'noe oborudovanie // MCHS Rossii. URL: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/2131> (data obrashcheniya: 13.01.2026).
4. Osnovnye puti povysheniya effektivnosti primeneniya avarijno-spasatel'nykh sluzhb pri likvidatsii chrezvychajnykh situatsiy: otchyot o NIR (zaklyuchitel'nyj): Shifr: «Spasatel'-00» / ruk. raboty V.S. Fedoruk; otv. isp. P.A. Popov. Novogorsk, 2000. 29 s.
5. Epihin A.V., Reznikov V.M. Veroyatnostnaya ocenka effektivnosti provedeniya avarijno-spasatel'nykh rabot // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2007. № 3. S. 45–47.
6. Wheatley S., Sovacool B., Sornette D. Of disasters and dragon kings: a statistical analysis of nuclear power incidents and accidents // Risk Analysis. 2017. Vol. 37. № 1. P. 99–115.
7. Sovershennyj algoritm. Zhadnye algoritmy i dinamicheskoe programmirovaniye. Ser.: Biblioteka programmista. SPb.: Piter, 2020. 256 s.
8. A Comparison of Greedy Algorithm and Dynamic Programming Algorithm // Web of Conferences SHS. URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2022/14/shsconf_stehf2022_03009.pdf (data obrashcheniya: 15.11.2025).
9. Metod otzhiga // Algoritmika. URL: <https://algorithmica.org/ru/annealing> (data obrashcheniya: 24.03.2025).
10. Delahaye D., Chaimatanan S., Mongeau M. Simulated annealing: From basics to applications / eds. M. Gendreau, J.-Y. Potvin. // Handbook of Metaheuristics. 3rd ed. Cham: Springer, 2019. P. 1–35.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 23.01.2026; одобрена после рецензирования: 10.04.2026;
принята к публикации: 11.05.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 23.01.2026; approved after review: 10.04.2026;
accepted for publication: 11.05.2026

Информация об авторах:

Гарелина Светлана Александровна, профессор кафедры (механики и инженерной графики) Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), кандидат технических наук, доцент, e-mail: s.garelina@agz.50.mchs.gov.ru, SPIN-код: 8591-0495

Любкин Роман Николаевич, преподаватель кафедры эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), e-mail: r.lyubkin@agz.50.mchs.gov.ru, SPIN-код: 9786-4862

Сысоев Денис Олегович, слушатель кафедры оперативного управления мероприятиями РСЧС и ГО Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г.о. Химки, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), e-mail: bangden@mail.ru, SPIN-код: 5545-5060

Information about the authors

Garelina Svetlana A., professor of department of mechanics and engineering graphics of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., bld. 1A), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: s.garelina@agz.50.mchs.gov.ru, SPIN: 8591-0495

Lyubkin Roman N., lecturer of the department of the exploitation of transport-technological machines and complexes of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., bld. 1A), e-mail r.lyubkin@agz.50.mchs.gov.ru, SPIN: 9786-4862

Sysoev Denis O., student of department of operational management of emergency situations and civil defense of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., bld. 1A), e-mail: bangden@mail.ru, SPIN: 5545-5060