

Научная статья
УДК 574 + 614.8 + 628.5
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.55.93.010

Совершенствование управления материальными ресурсами сил ликвидации чрезвычайных ситуаций в зоне радиационной аварии

Александр Григорьевич Заворотный
Александр Иванович Бобров

Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия

Автор ответственный за переписку: Александр Григорьевич Заворотный,
zavorotnyi_agz@mail.ru

Аннотация. В статье представлен подход применения механизма оперативного решения оптимизационных задач (на основе решения классической задачи Монжа-Канторовича) для совершенствования управления материальными ресурсами сил ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) в зоне радиационной аварии, а именно с целью совершенствования действующих алгоритмов перемещения ресурсов (резервов) в зону ЧС. Предложено заблаговременно производить многовариантные вычисления и включать их в планирующие документы, что позволит обеспечить информационную поддержку принятия оптимального решения руководителю ликвидации ЧС.

Ключевые слова: радиационная авария, силы ликвидации чрезвычайных ситуаций, аварийно-спасательные работы, мероприятия по ликвидации радиационной аварии, руководитель ликвидации чрезвычайной ситуации, управление материальными ресурсами

Для цитирования: Заворотный А.Г., Бобров А.И. Совершенствование управления материальными ресурсами сил ликвидации чрезвычайных ситуаций в зоне радиационной аварии // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 159-168. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.55.93.010>.

Original article

IMPROVING THE MANAGEMENT OF MATERIAL RESOURCES OF EMERGENCY RESPONSE FORCES IN THE RADIATION ACCIDENT ZONE

Alexander G. Zavorotnyy
Alexander I. Bobrov

SFA of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

Corresponding author: Alexander G. Zavorotnyy, zavorotnyi_agz@mail.ru

Abstract. The article presents an approach to the use of a mechanism for the operational solution of optimization problems (based on the solution of the classical Monge-Kantorovich problem) to improve the management of material resources of the emergency response forces in the radiation accident zone, namely, in order to improve the existing algorithms for moving resources (reserves) to the emergency zone. It is proposed to make multivariate calculations in advance and include them

in planning documents, which will provide information support for making the optimal decision to the emergency response manager.

Keywords: radiation accident, emergency response forces, emergency rescue operations, radiation accident response measures, emergency response manager, material resource management.

For citation: Zavorotnyy A.G., Bobrov A.I. Improving the management of material resources of emergency response forces in the radiation accident zone // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2023;2(29): 159-168. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.55.93.010>.

Введение

Развитие атомной энергетики затрагивает проблему загрязнения внешней среды, которая резко обостряется в условиях радиационных аварий. Поэтому одной из наиболее актуальных проблем атомной энергетики является повышение радиационной безопасности действующих АЭС и объектов использования атомной энергии. Примеры радиационных аварий, произошедших в СССР, Российской Федерации и мире представлены в табл. 1 и табл. 2 [1].

С учетом достаточно большого и разностороннего опыта обеспечения радиационной безопасности, накопленного в государстве за годы эксплуатации АЭС, других объектов ядерного топливного цикла, кораблей и судов с ядерными энергетическими установками, к числу основных направлений деятельности по обеспечению радиационной безопасности, которая должна осуществляться различными органами и структурами государства, следует отнести:

- определение государственной политики и основных стратегий по обеспечению радиационной безопасности в различных условиях обстановки;

- научное обоснование, установление и поддержание приемлемых и оправданных на данном этапе социально-экономического развития общества уровней радиационного риска для профессионалов, занятых опасной в радиационном отношении деятельностью, и населения;

- нормативно-правовое обеспечение в сфере радиационной безопасности, установление и реализация принципов и порядка возмещения компенсаций за повышенный радиационный риск (платы за риск), а также регламентация условий жизнедеятельности и особых режимов проживания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению;

- на основе определенной системы субъектов управления и их структур, на которые российским законодательством и нормативными правовыми документами возлагаются те или иные задачи в области радиационной безопасности, создание и обеспечение функционирования единой системы государственного управления в сфере радиационной безопасности. Данное направление имеет особенно важное значение. Без создания указанной системы государственного управления радиационной безопасностью, которая охватывала бы все иерархические уровни и включала бы в предметную область соответствующие структуры всех федеральных органов исполнительной власти, на объектах которых в той или иной мере применяются ядерные технологии, невозможно эффективно решить задачи по обеспечению радиационной безопасности.

Создаваемая в Российской Федерации комплексная система обеспечения безопасности жизнедеятельности населения² (рис. 1) [2-6] (в настоящее время функционируют предполагаемые элементы и подсистемы (рис. 2)), основанная на совокупности организационных структур в сфере государственного управления, взаимосвязанных подсистем мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, контроля состояния критически важных и потенциально опасных объектов позволяет организовать своевременное принятие управленческих решений в целях предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), своевременного оповещения и информирования населения.

В процессе реагирования на крупномасштабные ЧС приходится решать логистические задачи, связанные как с формированием группировки сил, так и с оптимальной доставкой

² Указ Президента РФ от 11.01.2018 г. № 12 «Основы государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года» (пункт 13, подпункт «б»).

ресурсов. Рациональное расположение запасов материальных средств, увязанных с радиационно-опасными объектами, является важным элементом планов ликвидации ЧС и организации взаимодействия формирований. В статье предложена структурная модель поддержки управления, интегрирующая данные мониторинга и характеристики территорий.



Рис.1. Схема организации комплексной системы обеспечения безопасности жизнедеятельности населения



Рис.2. Основные элементы подсистемы обеспечения радиационной безопасности.

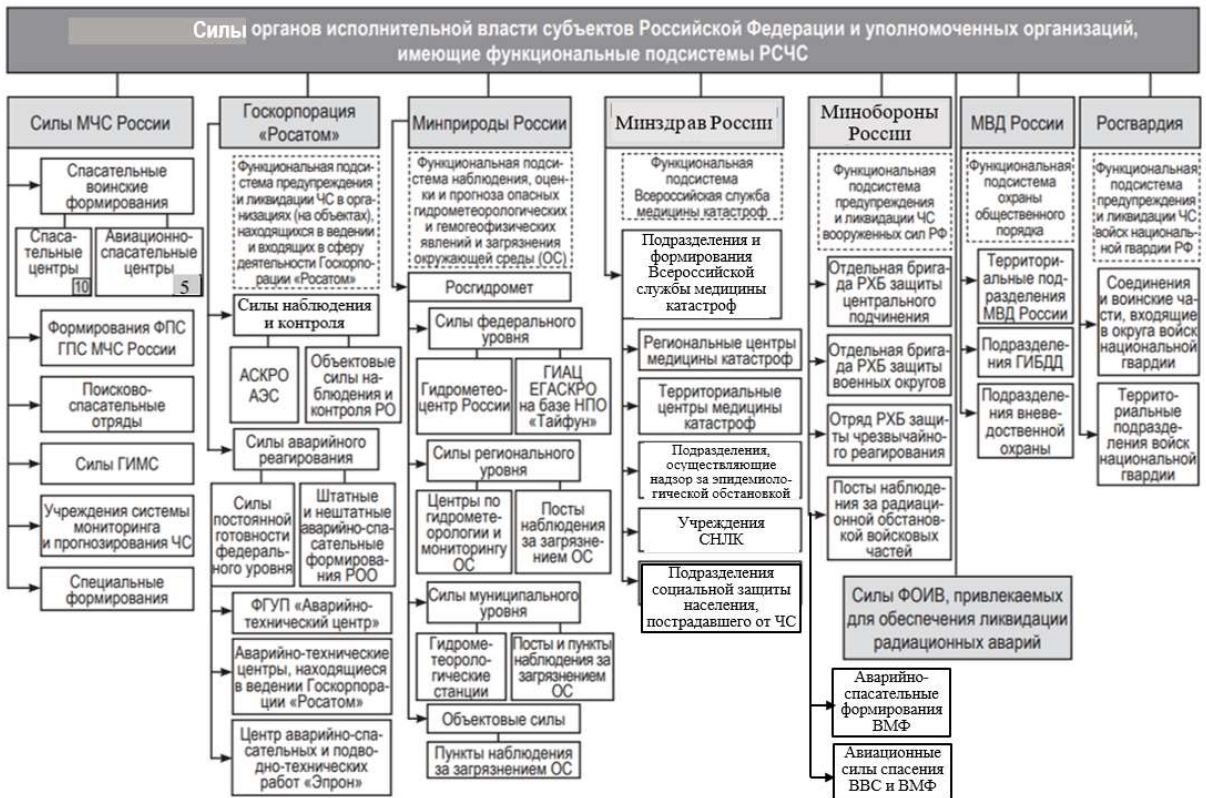


Рис.3. Силы органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и уполномоченных организаций, имеющие функциональные подсистемы РСЧС, привлекаемые для ликвидации последствий аварий на радиационно-опасных объектах [6]

Основная часть

Рассмотрим перечень мероприятий по ликвидации последствий аварий на радиационно опасных объектах, при планировании которых целесообразно использовать алгоритмы оптимизации (рис. 4) [5, 6, 7, 8].

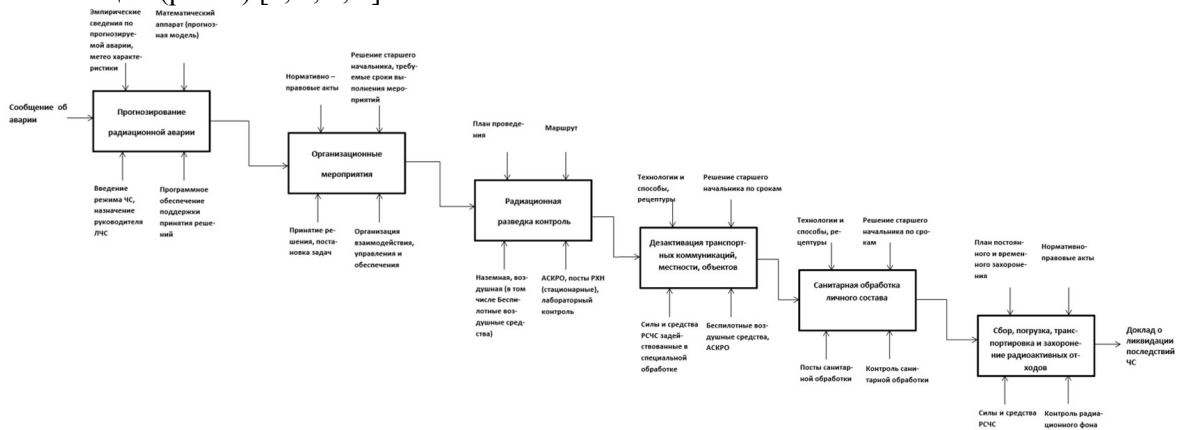


Рис.4. IDEF0 диаграмма ликвидации последствий радиационных аварий, при планировании которых целесообразно использовать алгоритмы оптимизации

IDEF0 диаграмма (рис. 4) позволяет формализовать процессы принятия решений и выполнения работ по ликвидации последствий радиационных аварий во взаимосвязке с управляющим (предписывающим) воздействием и ресурсным обеспечением. На схеме наглядно видна декомпозиция видов работ, привлекаемые силы и средства ликвидации ЧС, задействованные в зоне радиационной аварии, рассматриваются логические отношения между работами с учетом руководящих документов и потоков информации. Данная схема может применяться также при проведении учений и тренировок на радиационно опасных объектах, что обеспечит возможность агрегирования и детализации потоков данных и информации, что позволит повысить готовность сил ликвидации ЧС к действиям по предназначению за счет

формирования программ подготовки с учетом управляющего воздействия и привязки к территориальным особенностям.

Принятие решений при управлении материальными ресурсами (частная задача руководителя ликвидации ЧС) в зоне радиационной аварии требует учета многих факторов, позволяющих минимизировать последствия, максимально полно использовать личный состав, технику и материальные запасы, управлять параллельными процессами (работами), исключить «узкие места», что требует заблаговременно моделировать, ранжировать по типам работ, по приоритетам выполнения (в зависимости от обстановки) мероприятия по ликвидации последствий аварий на радиационно опасных объектах, что в целом, позволит решить задачу оптимизации по требуемым критериям [7, 8, 9, 10]. Данная задача потребовала создания базы данных (рис. 5), которая позволит накапливать, анализировать данные, применять встроенные в СУБД механизмы импорта, экспорта, вывода данных, документы предлагается хранить в виде формализованных документов (файлов), например – хранится шаблон решения (задано поле объекта OLE).

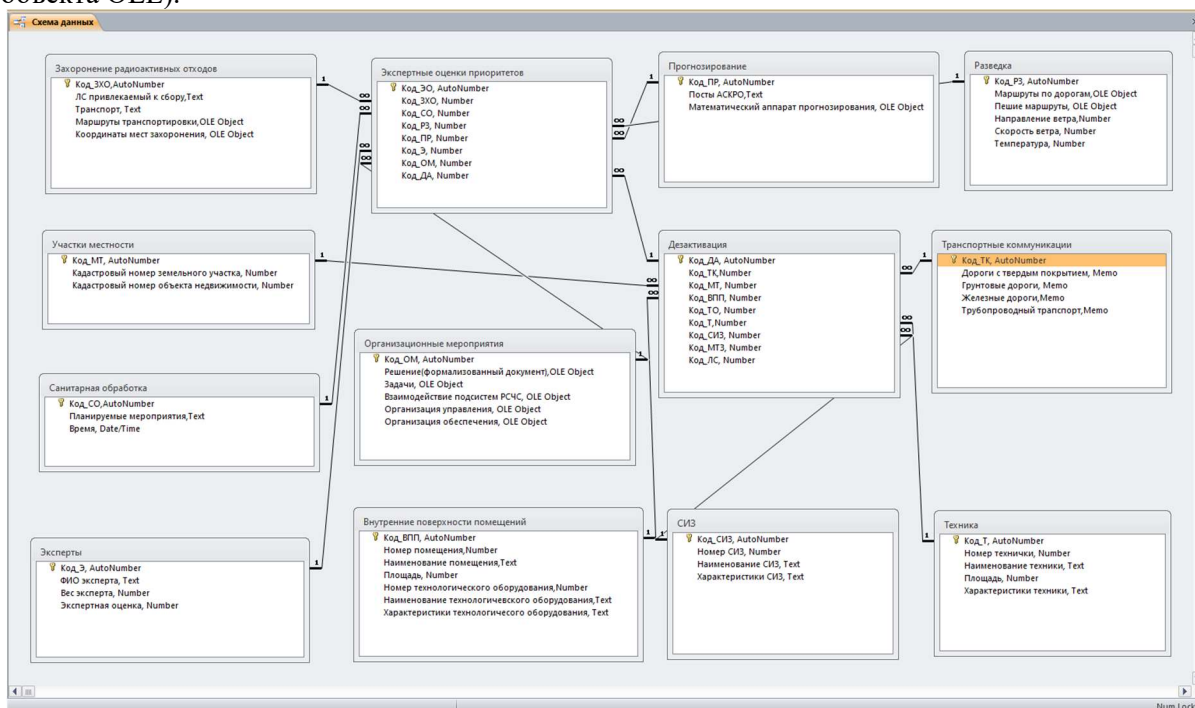


Рис.5. Реляционная модель данных руководителя ликвидации чрезвычайных ситуаций в зоне радиационной аварии

При планировании и организации мероприятий в зоне радиационной аварии требуется принятие оптимальных решений.

От должностного лица, принимающего решение в зоне радиационной аварии, требуется наиболее эффективное использование имеющихся ресурсов, максимально быстрая их доставка на участки выполнения работ. Рассмотрим управление специальными материальными ресурсами, используемыми при пылеподавлении (гигроскопические соли, полимеры и вязкие нефтепродукты) и материальными ресурсами, которые могут использоваться для экранирования (чистый грунт, бетонные плиты, иные материалы, характерные для заданного района).

Фактически, в общей постановке, можем решать задачу, когда в наличии m складов с заданной рецептурой пылеподавления и n участков проведения работ в зоне ЧС радиационного характера.

Пусть, для примера, в зоне радиационной аварии имеется 5 складов на которых хранится водно-солевой раствор гидролизованного полиакрилонитрила (рецепт ММ-1), в объеме, кратном единице перевозки, раствор с данных складов требуется доставить на 10 участков пылеподавления в зоне радиационной аварии за минимальное время, в результате должностное лицо сталкивается с необходимостью постановки, формализации и решения классической задачи

Монжа – Канторовича. С учетом ограничений по времени на принятие решения, данную задачу предлагается решать встроенными в Microsoft Excel инструментами (поиск решения симплекс-методом, приведенного градиента, эволюционным поиском) [11].

Количество средств пылеподавления, перевозимого с мест хранения на участки проведения работ обозначим x_{ij} , а время, требуемое на перевозку – c_{ij} .

Поставим условие, чтобы все средства пылеподавления со складов были вывезены a_i

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

На каждый участок проведения работ в зоне радиационной аварии доставлен

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

Целевая функция, которую требуется минимизировать, представляется в виде:

$$f = c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + \dots + c_{1n}x_{1n} + \dots + c_{mn}x_{mn} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} \quad (3)$$

где x_{ij} – количество единиц груза, в приведенном примере с доставкой средств пылеподавления на участки проведения работ примем равной единице, а c_{ij} – время на доставку груза на участок проведения работ.

Решение классической транспортной задачи средствами Microsoft Excel требует введения целевой функции (в рассматриваемом примере =СУММПРОИЗВ(G65:P69;G74:P78)) (Рис.7, 8), изменяемых ячеек переменных (\$G\$74:\$P\$78), ограничений (изменяемые ячейки должны быть целыми, больше нуля, должны соблюдаться балансы задачи) (Рис.6).

		Участки проведения работ										
Склады с материальными средствами пылеподавления		b _j										
a _i	5	3	2	5	3	2	17	13	14	1	65	Сумма
10	8	10	16	30	25	24	13	9	11	18		
12	30	25	24	13	9	11	18	7	16	17		
15	21	60	16	70	8	10	55	30	35	7		
20	24	13	9	11	18	8	26	36	16	17		
8	16	17	10	100	30	25	24	15	13	8		
Сумма	65											
Склады с материальными средствами пылеподавления		b _j										
a _i	5	3	2	5	3	2	17	13	14	1	65	
10	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	10	
12	0	0	0	0	0	0	1	11	0	0	12	
15	5	0	2	0	3	2	0	2	0	1	15	
20	0	3	0	5	0	0	6	0	6	0	20	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8	
	65	5	3	2	5	3	2	17	13	14	1	Контрольная сумма
												Целевая функция
												923

Рис.6. Решение оптимизационной задачи доставки средств пылеподавления на участки проведения работ

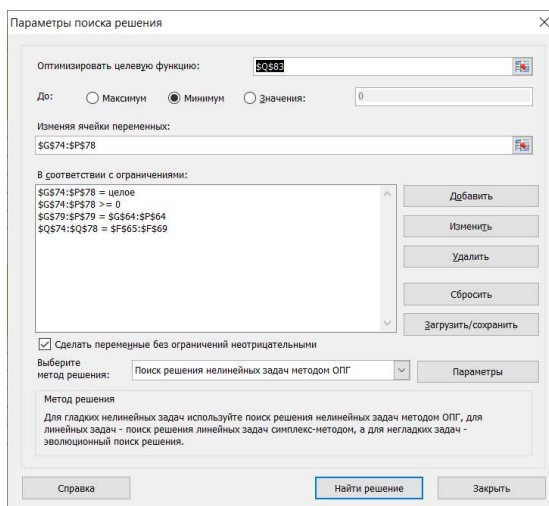


Рис.7. Окно «Параметры поиска решения» решения оптимизационной задачи доставки средств пылеподавления на участки проведения работ

Встроенными средствами решение задачи оптимального управления материальными ресурсами сил ликвидации ЧС в зоне радиационной аварии находится методом общего понижающего градиента, симплекс-методом, эволюционным поиском решения.

В рассмотренном примере целевая функция равна 923 (это суммарное время доставки материальных средств пылеподавления с 5 складов на 15 участков проведения работ), решение комплекса оптимизационных задач целесообразно приводить в составе планирующих документов по ГОЧС (в Плане гражданской обороны и защиты населения, Плане действий по предупреждению и ликвидации ЧС), что позволит должностному лицу, принимающему решение, оценить многовариантность альтернатив³, обеспечить предсказательный функционал⁴, минимизировать время на принятие решения в сложной обстановке радиационной аварии (с учетом метеобстановки и других параметров) [11-15].

Заключение

Таким образом, эффективное управление материальными ресурсами сил ликвидации чрезвычайных ситуаций в зоне радиационной аварии требует решения многих задач – хранения и обработки информации (рис. 5), которые учитывают организационные мероприятия – хранят формализованные документы, учитывают задачи, решаемые подразделениями, обеспечивают информационную поддержку: взаимодействия подсистем РСЧС, управления и обеспечения, заблаговременного и корректирующего прогнозирования, проведения специальной разведки, дезактивации, санитарной обработки, учета мест захоронения радиоактивных отходов, применение СУБД реляционного типа позволило применить всю мощь языка SQL для формирования запросов и отчетов.

Должностное лицо, принимающее решение на применение сил и средств обязано принимать оптимальное решение. В работе предложен механизм оперативного решения оптимизационных задач (на основе решения классической задачи Монжа-Канторовича), предложено заблаговременно производить многовариантное решение, и включать данные решения в планирующие документы (план гражданской обороны и защиты населения, план

³ С учетом множественности факторов воздействий внешней и внутренней среды, предлагается моделировать с использованием основы многовариантного прогнозирования – систем имитационного моделирования, которые максимально воспроизводят функционирование изучаемой системы, что позволит реализовать сценарный подход, производить ситуационный анализ планируемых действий. В целом – применение имитационного моделирования, многовариантного принципа планирования действий, применение информационных технологий для решения задач и систем управления данными для хранения и обработки данных позволит реализовать выбор оптимального решения для достижения поставленных целей.

⁴ Закладывая определенную информацию, процессы функционирования, организованности и строения объекта, модель может ответить на вопросы: «Что будет, если изменятся определенные параметры или характеристики, или их совокупности?» - предсказательная функция.

действий по предупреждению и ликвидации ЧС), что позволит обеспечить поддержку принятия решения.

Предложенное решение требует дальнейшей проработки, перехода от многостадийных расчётов с применением офисных приложений к интеллектуальной системе с распределёнными данными.

Список источников

1. Заворотный А.Г. Предложения по повышению уровня готовности личного состава сил ликвидации чрезвычайных ситуаций к проведению аварийно-спасательных работ на радиоактивно загрязненной местности // Технологии гражданской безопасности: научно-технический журнал. – 2022. – Т. 19 – № S(Спецвыпуск). – С. 79–88.

2. «Концепция комплексной системы обеспечения безопасности жизнедеятельности населения» (утв. МЧС России 16.02.2010, МВД России 19.02.2010, ФСБ России 16.03.2010).

3. Чириков А.Г., Качанов С.А., Попов А.П. Методика создания комплексной системы обеспечения безопасности жизнедеятельности населения субъекта Российской Федерации // Технологии гражданской безопасности. – 2018. – Том 15. – № 2 (56). – С. 4-12.

4. M. O. Berestevich, A. N. Kalaidov and V. V. Tatarinov. Statement of the modeling problem of a territories comprehensive risks assessment//Cite as: AIP Conference Proceedings 2383, 040004 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0074782> Published Online: 25 April 2022.

5. Методические рекомендации МР 2.6.1.0050—11 «2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Санитарно-гигиенические требования к мероприятиям по ликвидации последствий радиационной аварии» (утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 25.12.2011) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.rosпотребнадzor.ru/upload/iblock/db3/mr-2.6.1.0050_11.pdf](https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/db3/mr-2.6.1.0050_11.pdf) (Дата обращения 18.12.2022).

6. Организация радиационной, химической и биологической защиты: учеб. пособие / А.Г. Заворотный, А.Н. Калайдов, А.Н. Неровных. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – 325 с.

7. Заворотный А.Г. Особенности ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ на радиоактивно-загрязненной местности: Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 292 с.

8. Заворотный А.Г., Фирсов А.В., Калайдов А.Н., Харисов Г.Х., Неровных А.Н., Смуров А.В., Сибиряков М.В., Бутенко В.М. Организация и ведение аварийно-спасательных работ: учебник в 2-х частях: Часть 2. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 397 с.

9. Бобарико А.В., Заусаев А.А., Заворотный А.Г., Осипов А.В., Осипова Н.В. Последовательность определения рационального состава материально-технических средств пожарно-спасательных частей МЧС России // Вестник НЦБЖД. – 2019. – № 3(41). – С. 95-100.

10. Заворотный А.Г., Кострубицкий А.А. Алгоритмизация и программная реализация модели управления системой защиты населения в чрезвычайных ситуациях техногенного характера [Текст] // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: научный информационный сборник. – 2021. – № 4. – С.112-124.

11. Иванов Г.О. Транспортная задача. Реализация по критерию времени в программе MS Excel // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2020. – Вып. 4(51). – С. 51-56.

12. Бобров А.И., Хаустов С.Н. Управление поисковыми работами в системе МЧС России на основе вероятностных оценок // Экономика и менеджмент систем управления. – 2014. – № 3-3 (13). - С. 312-317.

13. Куватов В.И., Горбунов А.А., Колеров Д.А. Метод интеллектуальной поддержки управленческих решений с помощью ассоциативных связей при прогнозировании чрезвычайных ситуаций // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2022. № 2. – С. 116-124.

14. Бобров А.И., Кузьмина Т.А., Ильина А.Н. Применение современных информационных технологий при обучении основам радиационной безопасности // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.–2016. №1-2(5). – С. 126-128.

15. Попов Е.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Гаврилов С.Л., Седнев В.А., Лысенко И.А. Анализ информационно-моделирующих систем поддержки принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации радиационного характера // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 2 (84). – С. 119-131.

References

1. Zavorotny A.G. Proposals to increase the level of readiness of the personnel of the emergency response forces to conduct emergency rescue operations in a radioactively contaminated area // Technologies of civil safety: scientific and Technical journal. - 2022. - Vol. 19 – No. S (Special Issue). – pp. 79-88.

2. «The concept of an integrated system for ensuring the safety of the population» (approved by the Ministry of Emergency Situations of Russia on 16.02.2010, the Ministry of Internal Affairs of Russia on 19.02.2010, the FSB of Russia on 16.03.2010).

3. Chirikov A.G., Kachanov S.A., Popov A.P. Methodology for creating a comprehensive system for ensuring the life safety of the population of the subject of the Russian Federation // Technologies of civil security. – 2018. – Tom 15. – № 2 (56). – P. 4-12.

4. M. O. Berestevich, A. N. Kalaidov and V. V. Tatarinov. Statement of the modeling problem of a territories comprehensive risks assessment//Cite as: AIP Conference Proceedings 2383, 040004 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0074782> Published Online: 25 April 2022.

5. Methodological recommendations of MP 2.6.1.0050—11 "2.6.1. Ionizing radiation, radiation safety. Sanitary and hygienic requirements for measures to eliminate the consequences of a radiation accident" (approved by the Head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being, Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 25.12.2011) [Electronic resource]. Access mode: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/db3/mr-2.6.1.0050_11.pdf (Accessed 12/18/2022).

6. Organization of radiation, chemical and biological protection: studies. manual / A.G. Zavorotny, A.N. Kalaydov, A.N. Nerovnykh. – M.: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017. – 325 p.

7. Zavorotny A.G. Features of conducting emergency rescue and other urgent work in a radioactively contaminated area: Monograph. – M.: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2014. – 292 p.

8. Zavorotny A.G., Firsov A.V., Kalaidov A.N., Kharisov G.H., Nerovnykh A.N., Smurov A.V., Sibiryakov M.V., Butenko V.M. Organization and conduct of emergency rescue operations: textbook in 2 parts: Part 2. - Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020. – 397 p.

9. Bobariko A.V., Zausaev A.A., Zavorotny A.G., Osipov A.V., Osipova N.V. The sequence of determining the rational composition of material and technical means of fire and rescue units of the Ministry of Emergency Situations of Russia // Bulletin of the Scientific Center for Life Safety. – 2019. – № 3(41). – P. 95-100.

10. Zavorotny A.G., Kostubitsky A.A. Algorithmization and software implementation of the management model of the population protection system in man-made emergencies [Text] // Problems of safety and emergency situations: scientific information collection. – 2021. – No. 4. – P. 112-124.

11. Ivanov G.O. Transport task. Time-based implementation in MS Excel // Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Computer science. – 2020. – Issue 4(51). – P. 51-56.

12. Bobrov A.I., Khaustov S.N. Management of search operations in the EMERCOM system of Russia on the basis of probabilistic estimates // Economics and management of management systems. – 2014. – № 3-3 (13). - P. 312-317.

13. Kuvatov V.I., Gorbunov A.A., Kolerov D.A. Method of intellectual support of managerial decisions using associative connections in predicting emergency situations // Scientific and analytical

journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia". – 2022. No. 2. – pp. 116-124.

14. Bobrov A.I., Kuzmina T.A., Plyina A.N. Application of modern information technologies in teaching the basics of radiation safety // Problems of ensuring safety in the aftermath of emergencies. – 2016. № 1-2 (5). – P. 126-128.

15. Popov E.V., Pantelev V.A., Segal M.D., Gavrilov S.L., Sednev V.A., Lysenko I.A. Analysis of information modeling decision support systems in response to radiation emergencies // Technosphere safety technologies. – 2019. – № 2 (84). – P. 119-131.

Информация об авторах

А.Г. Заворотный - кандидат технических наук, доцент

А.И. Бобров - кандидат технических наук, доцент

Information about the author

A.G. Zavorotnyy - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

A.I. Bobrov - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 24.04.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 26.06.2023.

The article was submitted 24.04.2023, approved after reviewing 15.06.2023, accepted for publication 26.06.2023.