

**В. А. Пантелеев¹, Е. В. Попов¹, М. Д. Сегаль¹, С. Л. Гаврилов¹,
В. А. Седнев², И. А. Лысенко²**

(¹Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,

²Академия ГПС МЧС России; e-mail: pant@ibrae.ac.ru)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ

Описываются цели, задачи и общие решения территориальных автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО). Предложен способ оптимизации расположения стационарных и мобильных средств контроля территориальных АСКРО с учётом вероятностных характеристик аварийных выбросов и условий распространения радиоактивных веществ в атмосфере с использованием методов вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии (ВАБ-3 ОИАЭ).

Ключевые слова: радиоактивные вещества, авария, безопасность, радиация, мониторинг, вероятностный анализ безопасности.

В последнее время большое внимание в государстве уделяется защите населения и территорий при **чрезвычайных ситуациях (ЧС)** техногенного характера. Отдельным направлением в этой области является снижение риска и последствий ЧС радиационного характера, которое в значительной мере зависит от готовности сил и средств аварийного реагирования, а также от обеспеченности своевременной информацией о радиационной обстановке, необходимой для принятия адекватных решений по реагированию на ЧС. В ряде субъектов РФ в последнее десятилетие созданы и активно развиваются **территориальные системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования (ТС РМ АР)** [1]. К подобным системам относятся **комплексные системы мониторинга за состоянием защиты населения (КСМ-ЗН)**, которые были созданы, в том числе на радиоактивно загрязнённых территориях¹. Общий состав КСМ-ЗН приведён на рис. 1.



Рис. 1. Состав КСМ-ЗН

¹ Приказ МЧС России от 7 мая 2013 г. № 303 "О вводе в эксплуатацию подсистем комплексной системы мониторинга за состоянием защиты населения (КСМ-ЗН), в том числе на радиоактивно загрязнённых территориях". <http://docs.cntd.ru/document/499034029>

Подсистема **контроля радиационной обстановки (КРО)** является одним из основных элементов региональной КСМ-ЗН, основной задачей которой является раннее обнаружение изменений радиационной обстановки в местах размещения измерительного оборудования на территории субъекта РФ. Данные радиационного контроля будут использованы территориальным органом МЧС России по субъекту РФ при принятии решений по обеспечению радиационной безопасности населения, проживающего на радиоактивно загрязнённых территориях (СП 3.13130.2009²). Подсистема КРО КСМ-ЗН подобна территориальным **автоматизированным системам радиационного контроля (АСКРО)**.

Подсистема КРО КСМ-ЗН в субъекте РФ призвана решать следующие задачи:

- осуществление непрерывного автоматизированного КРО, включая измерение метеорологических параметров;
- обработка, хранение и представление оперативных данных о радиационной обстановке на радиоактивно загрязнённых территориях заинтересованным инстанциям с использованием ГИС-технологий³;
- автоматическая сигнализация при переходе любого контролируемого параметра радиационной обстановки за установленные нормативные уровни (предупредительный, аварийный);
- осуществление информационного обмена с действующими и вводимыми в действие региональными, ведомственными и государственными подсистемами ЕГАСКРО⁴, а также с другими информационно-измерительными системами радиационного контроля в установленном порядке.

КСМ-ЗН имеет стационарные и мобильные средства КРО (рис. 2). К стационарным средствам относятся: **центр сбора, обработки, передачи и хранения информации о радиационной обстановке (ЦСОИ)**, каналы связи, стационарные посты радиационного контроля. К мобильным средствам КРО относятся: **передвижные радиометрические лаборатории (ПРЛ)**; мобильные комплексы аэрогамма-съёмки на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); **быстроразворачиваемые автоматизированные системы КРО (БР АСКРО)** [1, СП 3.13130.2009].

Посты радиационного контроля предназначены для определения мощности дозы гамма-излучения в местах установки блоков детектирования. Автоматические метеорологические посты предназначены для определения скорости ветра, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха. Данные от стационарных постов радиационного контроля и мобильных средств КРО передаются в ЦСОИ. Данные о радиационной обстановке по субъекту РФ накапливаются и хранятся на сервере системы, установленном в соответствующем Центре управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) территориального органа МЧС России по субъекту РФ.

² СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. <http://docs.cntd.ru/document/1200071145>;

³ ГИС – геоинформационная система;

⁴ ЕГАСКРО – Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации

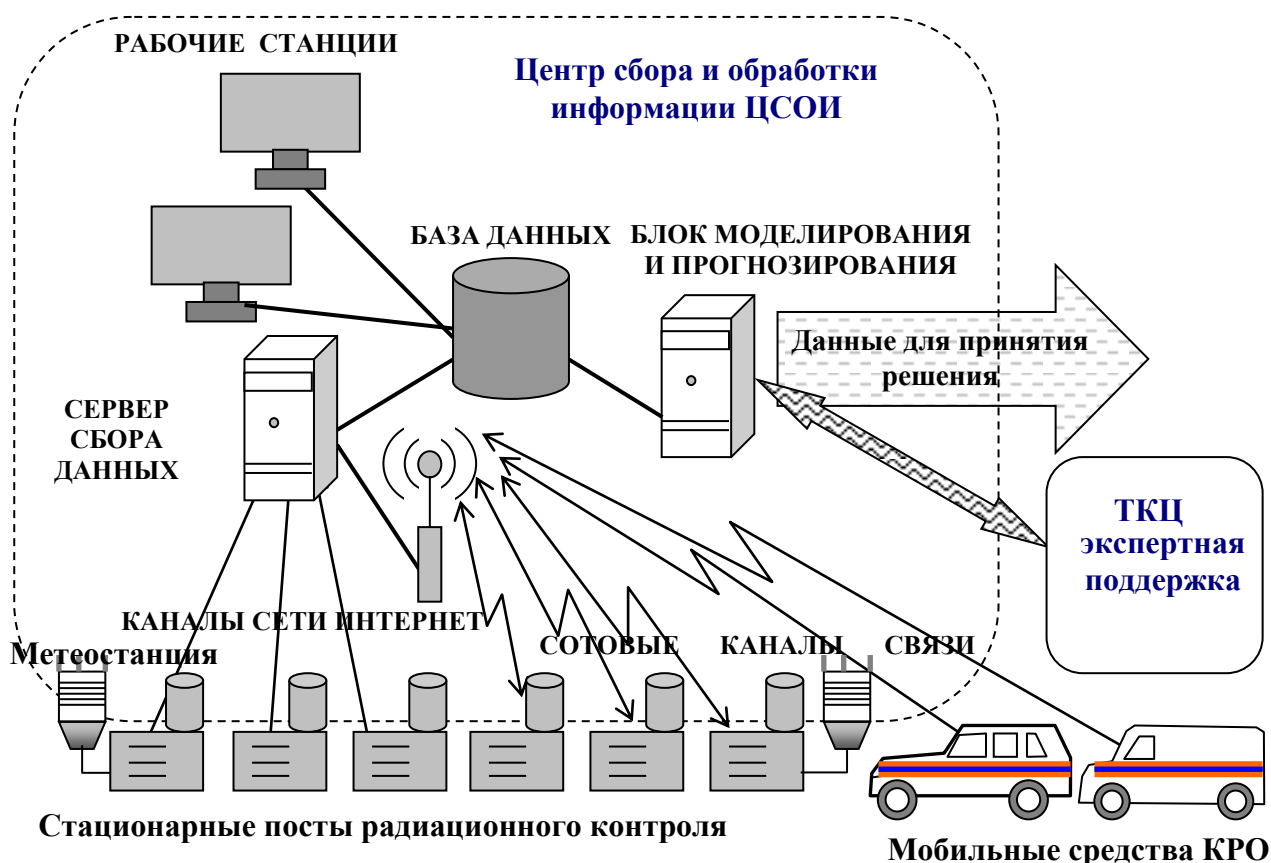


Рис. 2. Обобщённая структурная схема подсистемы КРО КСМ-ЗН в субъекте РФ

Функционирование КСМ-ЗН предусматривает предоставление данных об уровнях радиационного излучения как организациям, отвечающим за безопасность населения и принятие защитных контрмер в случае возникновения нештатных ситуаций, так и непосредственно населению.

В случае возникновения ЧС радиационного характера КСМ-ЗН даёт возможность оценить характер и масштаб события, его последствия для населения и окружающей среды, в том числе, прогнозировать дальнейшее изменение радиационной обстановки, возможные дозы облучения населения в острый период развития чрезвычайной ситуации, а также в среднесрочной и долгосрочной перспективе, определить перечень мероприятий по защите населения и территорий.

Блок моделирования и прогнозирования (рис. 2) функционально относится к подсистеме поддержки принятия решений, которая предназначена для обеспечения выполнения функций по обобщению, анализу и верификации получаемой информации с последующим выполнением мероприятий по моделированию и прогнозированию последствий чрезвычайных ситуаций радиационного характера в целях выработки решений по минимизации рисков и предупреждению негативных социальных последствий [СП 3.13130.2009].

Мобильные средства КРО являются необходимым дополнением к стационарным средствам радиационного контроля, так как стационарные средства не могут в полной мере обеспечить выполнение объёма задач, осуществляемых

в рамках сбора данных о радиационной обстановке. Особенно это касается выполнения специфических задач, например, по отбору проб и проведению их экспресс-анализа, по проведению гамма-съёмки местности, поиску радиоактивных источников и проведению оконтуривания радиоактивно загрязнённых участков, по разведке маршрутов движения [1, 2].

При создании мобильных средств КРО был обоснован ряд основных общих требований [2-4]:

- создание на современной высокотехнологичной базе;
- высокая мобильность и адаптированность к физико-географическим и климатическим условиям;
- интегрированность в подсистему КРО КСМ-ЗН;
- комплексность применения в соответствии с перечнем задач при обеспечении радиационного контроля в условиях ЧС.

В настоящее время в рамках перспектив дальнейшего развития КСМ-ЗН производится разработка и формирование комплексов мобильных средств КРО. Типовой состав такого комплекса приведён на рис. 3.

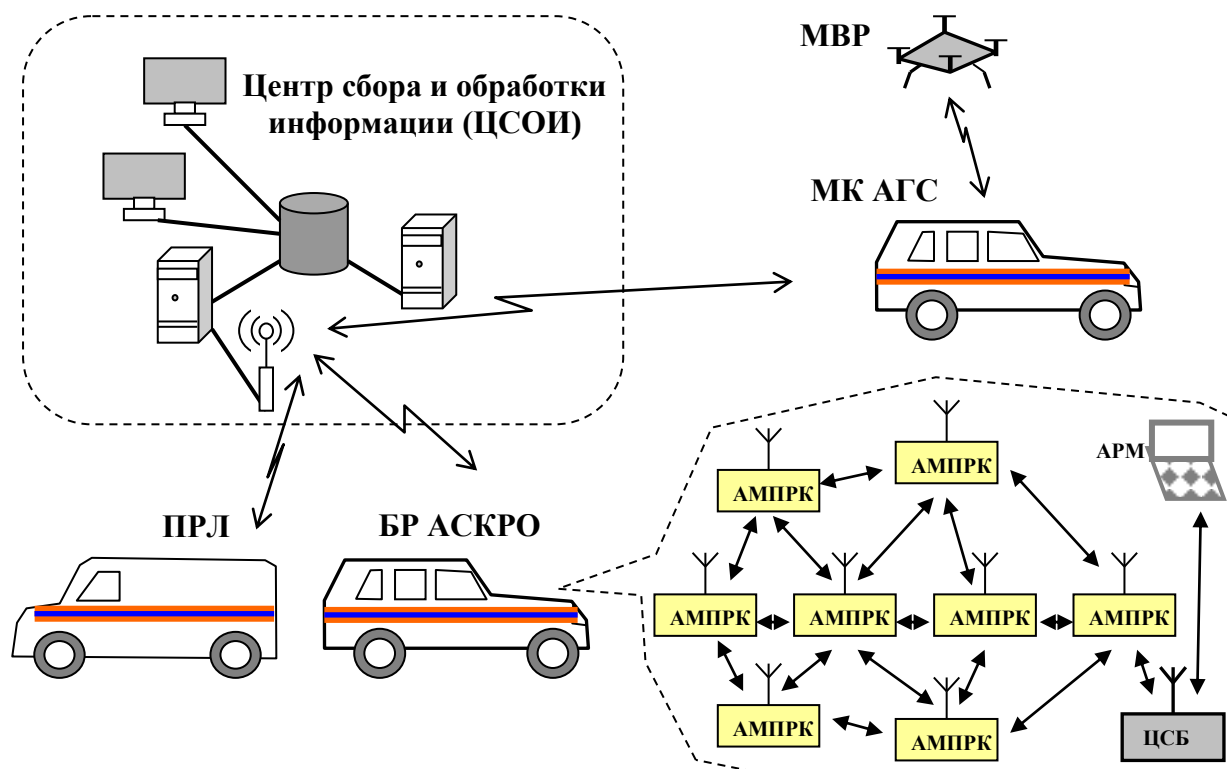


Рис. 3. Структурная схема развертывания комплекса мобильных средств КРО КСМ-ЗН в субъекте РФ:

ПРЛ – передвижная радиометрическая лаборатория; МК АГС – мобильный комплекс аэрогамма-съёмки; МВР – модуль воздушной разведки на базе беспилотного летательного аппарата; БР АСКРО – быстроразворачиваемая автоматизированная система КРО; АМПРК – автономный малогабаритный пост радиационного контроля БР АСКРО; ЦСБ- центр сбора данных БР АСКРО; АРМ – автоматизированное рабочее место на базе ноутбука БР АСКРО

Наибольшую часть мобильных средств КРО составляют передвижные радиометрические лаборатории (ПРЛ) (рис. 4), которые предназначены для оперативной радиационной разведки, как в случае возникновения нештатных ситуаций радиационного характера, так и для регулярных обследований.



Рис. 4. Передвижная радиометрическая лаборатория
(Транспортная платформа на базе автофургона и оборудование лаборатории в кейсах)

ПРЛ выполняют следующие задачи [1]:

- гамма-съёмка на местности с одновременной привязкой к координатам измерения и передачей результатов измерения в режиме реального времени;
- доставка персонала, измерительного и вспомогательного оборудования к местам проведения работ;
- определение местонахождения источников ионизирующего излучения и оценка радионуклидного состава источника;
- отбор и экспресс-анализ проб почвы, воды и воздуха;
- сбор, обработка и передача полученных данных в подсистему раннего предупреждения о возможном радиоактивном загрязнении территории.

В дополнение к ПРЛ разрабатываются и внедряются другие мобильные средства, обеспечивающие расширение спектра способов своевременного получения данных радиационного контроля, повышающие эффективность аварийного реагирования.

БР АСКРО используется как дополнение к стационарным системам контроля, для уточнения радиационной обстановки и расширения зоны покрытия территории России средствами радиационного мониторинга, притом, что существенно, именно в тех местах, где это целесообразно. Структурная схема работы БР АСКРО приведена на рис. 5.



Рис. 5. Структурная схема работы БР АСКРО

В силу ряда причин дальнейшее развитие КСМ-ЗН и территориальных систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования является актуальной необходимостью [1]. Результаты исследований показывают, что имеющаяся сеть стационарных постов способна обеспечивать применительно ко всей территории субъекта раннее обнаружение повышения радиационного фона и достаточно общие данные о радиационной обстановке только в случае с достаточно масштабным выбросом на близлежащие **объекты использования атомной энергии (ОИАЭ)**. Необходимо также отметить, что территориальные особенности России не позволяют создать на обширных территориях достаточно густую сеть стационарных постов радиационного контроля, как по экономическим, так и по демографическим соображениям.

В данной ситуации для решения этих проблемных вопросов наиболее приемлемыми являются два основных взаимодополняющих пути развития подсистем КРО КСМ-ЗН: увеличение плотности стационарных постов радиационного контроля; наращивание в составе подсистемы КРО мобильных средств КРО.

Вопрос оптимизации размещения постов радиационного контроля в условиях ограниченных ресурсов является весьма актуальным и требующим научно-технической поддержки. Заблаговременно момент аварийного выброса **радиоактивного вещества (РВ)** и условия его распространения в атмосфере неизвестны. Кроме этого, возможны различные варианты развития аварии по динамике и величине выбросов. В этих условиях поддержка решений по размещению постов радиационного контроля, без учёта неопределённости условий развития аварии, может оказаться недостаточно обоснованной. Поэтому для увеличения эффективности подсистемы КРО целесообразно использовать методологию ВАБ ВАБ-3, учитывающую вероятностную природу аварийных выбросов и условий распространения РВ в окружающей среде [5-7].

Один из промежуточных результатов ВАБ-3 ОИАЭ – "Полная таблица аварийных сценариев", содержит, наряду с другими характеристиками, для каждого из аварийных сценариев вероятность его реализации и величину дозовых функционалов в характерных точках на территории. Под "аварийным сценарием" понимается весь комплекс существенных параметров аварии, включая характеристики источника выброса РВ и условий распространения РВ в атмосфере. Характерными точками являются места установки постов.

Полная таблица аварийных ситуаций позволяет построить функции распределения случайной величины дозового функционала в местах расположения постов радиационного контроля при аварийных выбросах РВ и оценить вероятность обнаружения выброса постом радиационного контроля.

Количественно эффективность подсистемы КРО КСМ-ЗН можно оценить следующими критериями:

$K_{у1}$ – критерий "успеха" отдельного поста радиационного контроля: вероятность, что при аварийном выбросе в атмосферу в районе поста мощность характерного дозового функционала превысит заданную величины;

$K_{уc}$ – критерий "успеха" отдельного поста радиационного контроля: вероятность, что при аварийном выбросе в атмосферу в районе хотя бы одного поста мощность характерного дозового функционала превысит заданную величину.

В качестве характерного дозового функционала целесообразно использовать:

- для длительных выбросов – мощность дозы от облака РВ, обладающей наибольшей прогностической ценностью, так как по мере развития аварии уровень мощности излучения будет увеличиваться за счёт выпадений РВ на поверхность земли;

- для кратковременных выбросов – мощность дозы от РВ, выпавших на поверхность земли, исходя из кратковременности повышения мощности дозы от проходящего облака РВ.

В качестве характерной граничной величины дозового функционала целесообразно принять $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ превышения мощности дозы внешнего облучения над уровнем естественного фона, которое соответствует уровню мощности внешнего гамма-излучения принимаемой за предупредительный уровень подсистемы КРО КСМ-ЗН – $0,3 \text{ мкЗв/ч}$, с учётом среднего естественного фона $\sim 0,1 \text{ мкЗв/ч}$ [1].

Ниже приведены примеры применения предложенного подхода для оптимизации размещения постов БР АСКРО и стационарных постов подсистемы КРО в субъекте РФ. Для БР АСКРО рассматривается авария при перевозке контейнера с *отработанным ядерным топливом (ОЯТ)* с возможностью выброса РВ и планируется применение БР АСКРО для оперативного создания системы КРО на месте аварии. Для проведения модельных расчётных оценок для БР АСКРО использовались характеристики выброса при гипотетической транспортной аварии с ОЯТ [8].

В качестве характерного дозового функционала использовалась мощность дозы излучения от выпадений РВ на поверхность земли как для кратковременного выброса. Предполагалось, что авария произошла в безлюдной местности, поэтому посты БР АСКРО размещаются равномерно по азимуту от места аварии на одинаковых расстояниях. Эффективность БР АСКРО оценивалась для разного количества постов и для разных расстояний размещения постов от места выброса.

На рис. 6 приведены нормированный критерий "успеха" Ky_1/Ky_{1max} постов в зависимости от расстояния от места аварии при осреднённой по румбам круговой розе ветров.

На рис. 7 приведены величины Ky_c БР АСКРО для различного количества постов при установке на оптимальном расстоянии.

Из результатов оценок можно сделать вывод, что развёртывание БР АСКРО из 8-ми постов при модельной аварии позволяет достичь величины Ky_c БР АСКРО до $\sim 65\%$ при расстоянии установки постов ~ 600 м от места выброса. При этом 90% "окно возможности" размещения постов от максимума эффективности составляет $\sim 250-1100$ м. При увеличении количества постов до 16 величина Ky_c достигает 93% при размещении на оптимальном расстоянии.

Для оценки приоритетности расположения постов контроля предлагается использовать в дополнении к критерию Ky_c "успеха" подсистемы КРО, сформулированного выше, комплексный индекс эффективности поста Ep , учитывающий как численность населения района субъекта РФ, так и вероятность того, что при аварии пост контроля зафиксирует выброс:

$$Ep_i = \frac{Np_i Ky_{1i}}{\sum_i Np_i Ky_{1i}}, \quad (1)$$

где Ep_i – эффективность поста в i -м районе;
 Np_i – численность населения i -го района;
 Ky_{1i} – вероятность обнаружения выброса РВ постом в i -м районе;
 N – количество районов.

В качестве интегрального показателя эффективности подсистемы КРО КСМ-ЗН предлагается использовать индекс эффективности подсистемы КРО:

$$Es_N = \sum_i^{Ns} Ep_i, \quad (2)$$

где Ns – районы, в которых установлены посты подсистемы КРО.

Предполагается, что в каждом районе устанавливается не более одного поста радиационного контроля.

Необходимо отметить, что предложенный метод оценки эффективности расположения постов и приоритетные списки местоположения являются одним из механизмов для предварительного определения расположения постов. Окончательно положение постов может быть откорректировано в соответствии с другими организационно-техническими факторами: возможность интеграции подсистем КРО КСМ-ЗН с территориальными АСКРО развернутыми на территории ряда других субъектов РФ, обеспеченность каналами связи, надежность энергопитания, физическая защита оборудования и т.д.

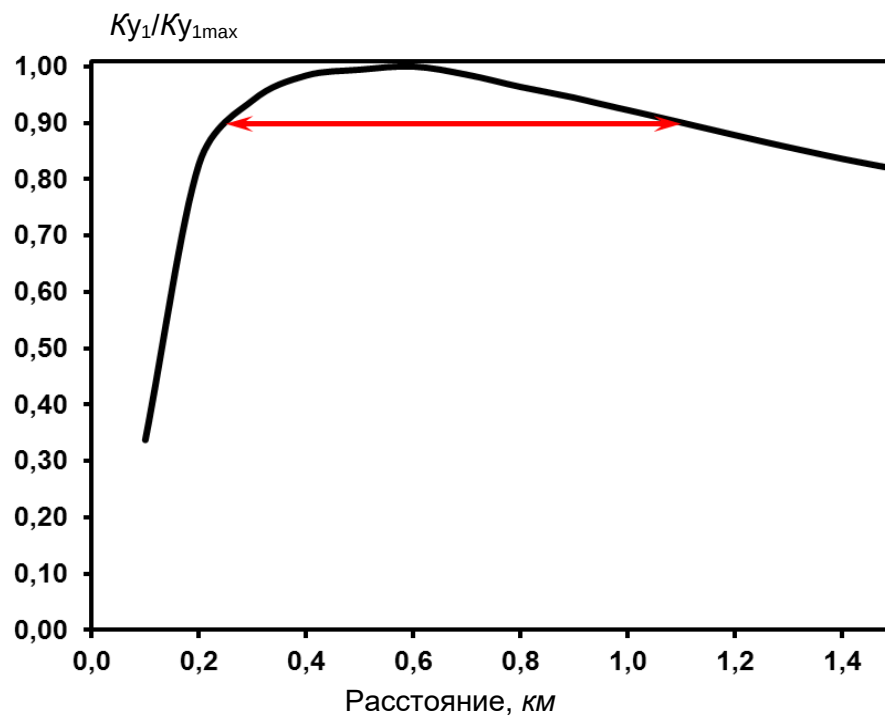


Рис. 6. Ky_1/Ky_{1max} – нормированный критерий "успеха" постов БР АСКРО в зависимости от расстояния до места аварии

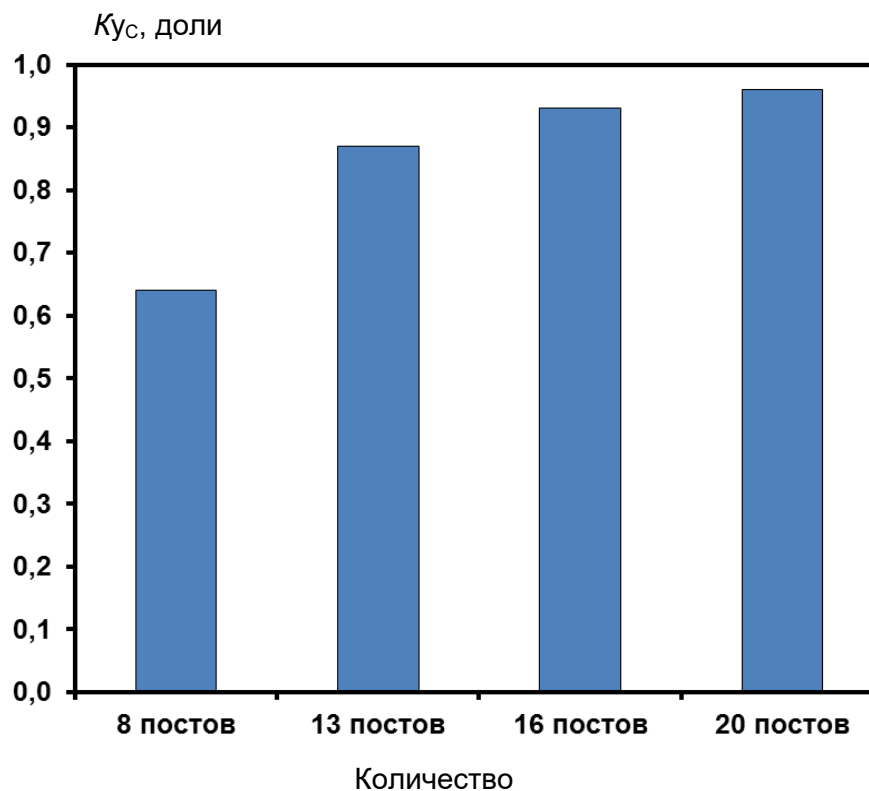


Рис. 7. $K_{ус}$ – критерий "успеха" БР АСКРО для различного количества постов при установке на оптимальном расстоянии от места выброса РВ

Предложенный метод определения приоритетных мест размещения постов контроля был апробирован при создании территориальных АСКРО Смоленской, Ростовской, Саратовской и Нижегородской областей.

В качестве потенциальных источников выбросов РВ рассматривались АЭС, размещённые на территориях субъектов федерации. Источники выбросов при авариях принимались согласно работе [9]. В качестве характерного дозового функционала использовалась мощность дозы от облака РВ как для длительного действующего источника.

На рис. 8 приведён пример приоритетного списка размещения постов радиационного контроля АСКРО на территории Ростовской области по критерию индекса эффективности поста E_{pi} . Местоположения №№ 1-15 соответствуют плановому числу постов контроля. Местоположения №№ 16-20 – резервные, для расположения постов, исходя из организационно-технических факторов.

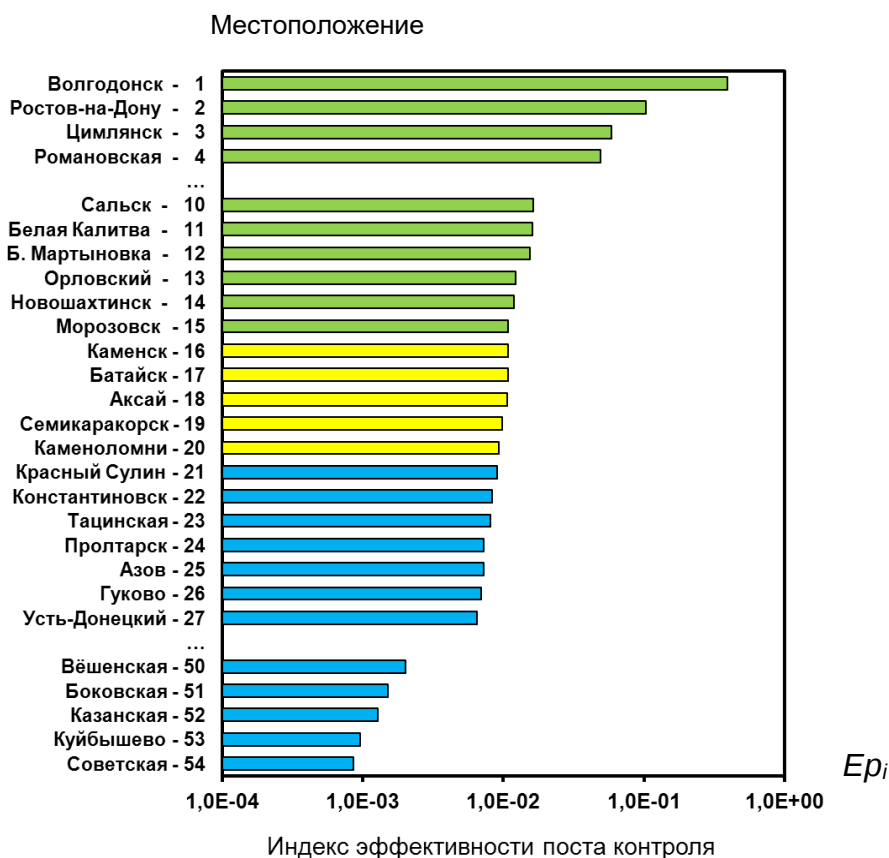


Рис. 8. Приоритетный список размещения постов АСКРО на территории Ростовской области

На рис. 9 приведены примеры индексов эффективности АСКРО E_{SN} в зависимости от числа постов на территории при их размещении в порядке убывания величины E_{pi} . Приведённые зависимости позволяют определить эффективность системы по критерию E_{SN} в зависимости от количества постов АСКРО.

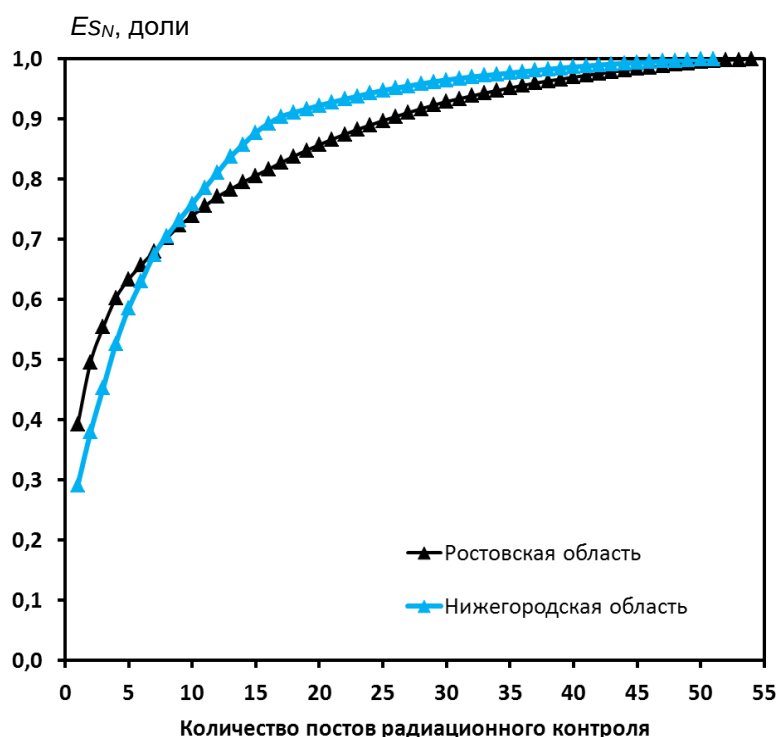


Рис. 9. Индекс эффективности территориальных АСКРО ES_N в зависимости от числа постов (при расположении постов с учётом убывания индекса эффективности)

Таким образом, предложенный метод использования промежуточных результатов ВАБ-3 ОИАЭ позволяет с учётом неопределённости параметров аварийного выброса и условий распространения РВ в атмосфере на момент выброса:

- количественно оценить эффективность отдельного поста БР АСКРО в зависимости от расстояния до источника выбросов;
- количественно оценить вероятность "успеха" БР АСКРО при различных вариантах размещения и количества постов;
- создать приоритетные списки размещения стационарных постов подсистемы КРО КСМ-ЗН с учётом количества населения проживающего в районах субъекта РФ и вероятности регистрации постом аварии.

Аналогичный подход использования ВАБ-3 ОИАЭ может быть применён для решения следующих задач:

- оценка эффективности и оптимизация усиления существующей подсистемы КРО КСМ-ЗН за счёт дополнительных стационарных постов радиационного контроля;
- оценка эффективности и оптимизация усиления существующей подсистемы КРО КСМ-ЗН за счёт размещения постов БР АСКРО на местности в режиме повышенной готовности.

Литература

1. Труды ИБРАЭ РАН / под общ. ред. чл.-кор. РАН Л. А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. М.: Наука, 2007. Вып. 15: Развитие систем аварийного реагирования и радиационного мониторинга / науч. ред. Р. В. Арутюнян. 2013. 315 с. <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/39/>
2. Отчёт о НИР "Оценка результатов внедрения и апробации функционирования Комплексной системы комплексной системы мониторинга за состоянием защиты населения (КСМ – ЗН) в пилотных зонах и моделирование обобщённых сценариев их развития" (итоговый, 3 этап). М.: ИБРАЭ РАН, 2013. 235 с.
3. Пантелеев В. А., Сегаль М. Д., Гаврилов С. Л., Пименов А. Е., Попов Е. В., Мартынюк Ю. Н. Оптимизация функциональных возможностей быстро-разворачиваемой АСКРО с использованием методов ВАБ третьего уровня (ВАБ-3). АНРИ. 2018. № 1 (92). С. 40-52.
4. Отчёт об ОКР по ГК № 331/1059-999 от "23" октября 2015 г. "Разработка мобильного комплекса аэрогамма съёмки, видео и теплового наблюдения, интегрированного в комплексную систему мониторинга за состоянием защиты населения на радиоактивно загрязнённых территориях (КСМ-ЗН)". М.: ИБРАЭ РАН, 2015. 44 с.
5. Арутюнян Р. В., Пантелеев В. А., Сегаль М. Д., Чернов С. Ю., Добров В. М. О значимости разработки методологического аппарата ВАБ третьего уровня (ВАБ-3) для объектов использования атомной энергии // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2015. № 2. С. 91-99.
6. Арутюнян Р. В., Пантелеев В. А., Сегаль М. Д. Состояние разработки ВАБ третьего уровня (ВАБ-3) для объектов использования атомной энергии // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2016. № 2. С. 49-57.
7. Арутюнян Р. В., Пантелеев В. А., Сегаль М. Д., Панченко С. В. Вероятностный анализ безопасности третьего уровня ВАБ-3 как этап повышения безопасности // Атомная энергия. 2017. Т. 123. Вып. 6. С. 344-349.
8. Bakin R., Mitenkora E., Novikov N., Shickin A. Assessment of the Probability of Initiating a Spontaneous Chain Reaction Within a Metallic-Concrete Transportation Cask: Case of Temporary Storage of Vessel Spent Nuclear Fuel of the Russian Navy // Remaining Issues in the Decommissioning of Nuclear Powered Vessels. 2003. Pp. 301-305.
9. Заключительный отчёт по теме НИР 9206 "Разработка подходов и критериев классификации радиационно-опасных объектов (РОО) с целью планирования мероприятий по защите населения исходя из задач СЦЭМП "Защита". СЦЭМП "Защита", 1992.

Материал поступил в редакцию 13 сентября 2018 г.

Для цитирования: Пантелеев В. А., Попов Е. В., Сегаль М. Д., Гаврилов С. Л., Седнев В. А., Лысенко И. А. Оптимизация размещения средств контроля комплексной системы мониторинга состояния защиты населения // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 6 (82). – 2018. – С. 48-61. DOI: 10.25257/TTS.2018.6.82.48-61.

V. A. Panteleev, E. V. Popov, M. D. Segal, S. L. Gavrilov,
V. A. Sednev, I. A. Lysenko

OPTIMIZATION OF THE PLACEMENT OF CONTROLS FOR AN INTEGRATED SYSTEM OF MONITORING THE STATE OF PUBLIC PROTECTION

The article describes the goals, objectives and General solutions of the territorial automated systems of radiation situation control (ASCRO). The method of optimization of the location of stationary and mobile means of control of territorial ASKRO taking into account probabilistic characteristics of emergency emissions and conditions of distribution of radioactive substances in the atmosphere with use of methods of the probabilistic analysis of safety of the third level of objects of use of atomic energy (VAB-3 oiae) is offered. The proposed method of using intermediate results of VAB-3 of the oiae allows taking into account the uncertainty of the parameters of the accidental release and the conditions of the propagation of PB in the atmosphere at the time of release: quantify the effectiveness of a single BR ASCO post depending on the distance to the emission source; quantify the probability of the "success" of BR ASKRO with different placement options and the number of posts; create priority lists of placement of stationary posts of the KRO KSM-ZN subsystem taking into account the number of the population living in regions of the subject of the Russian Federation and probability of registration by the post of accident.

Key words: radioactive substances, accident, safety, radiation, monitoring, probabilistic safety analysis.

References

1. *Trudy IBRAEH RAN* [Proceedings of Institute of problems of safe development of nuclear power of the Russian Academy of Sciences]. Ed. by L. A. Bolshov, Moscow, Nauka Publ., 2007, vol. 15, *Razvitie sistem avarijnogo reagirovaniya i radiacionnogo monitoring* [Development of emergency response and radiation monitoring systems]. Ed. by R. V. Arutyunyan, 2013, 315 p. Available at: <http://www.ibrae.ac.ru/pubtext/39/>
2. *Otchyot o NIR "Ocenka rezul'tatov vnedreniya i aprobacii funkcionirovaniya Kompleksnoj sistemy kompleksnoj sistemy monitoringa za sostoyaniem zashchity naseleniya (KSM – ZN) v pilotnyh zonah i modelirovanie obobshchyonnyh scenariy ih razvitiya"* [Research report "Evaluation of implementation and functional testing results Integrated system an integrated system for monitoring the protection status of the population (KSM – ZN) in the pilot areas and the simulation of generalized scenarios of development"]. Moscow, Institute of problems of safe development of nuclear power of the Russian Academy of Sciences, 2013. 235 p.
3. Panteleev V. A., Segal' M. D., Gavrilov S. L., Pimenov A. E., Popov E. V., Martynyuk Yu. N. *Optimizaciya funkcional'nyh vozmozhnostej bystro-razvorachivaemoj ASKRO s ispol'zovaniem metodov VAB tret'ego urovnya (VAB-3)* [Optimization of the functionality of the fast-unfolding ASCRO using the methods of the third level of VAB (VAB-3)]. *ANRI*, 2018, no. 1 (92), pp. 40-52.
4. *Otchyot "Razrabotka mobil'nogo kompleksa aehrogamma s"yomki, video i teplovogo nablyudeniya, inte-grirovannogo v kompleksnuyu sistemu monitoringa za sostoyaniem zashchity naseleniya na ra-dioaktivno zagryaznyonnyh territoriyah (KSM-ZN)"* [Report "The development of mobile complex aerogamma photography, video and thermal surveillance, integrated into a comprehensive system for monitoring the protection status of the population on RA-dioactive contaminated territories (KSM-ZN)"]. Moscow, Institute of problems of safe development of nuclear power of the Russian Academy of Sciences, 2015. 44 p.

5. Arutyunian R. V., Panteleev V. A., Segal M. D., Chernov S. Y., Dobrov V. M. The importance of developing methodological apparatus of probabilistic safety analysis of the third level (PSA-3) for nuclear facilities. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij / Security and emergency issues*, 2015, no. 2, pp. 91-99 (in Russian).

6. Arutyunian R. V., Panteleev V. A., Segal M. D. The state of development of probabilistic safety analysis of the third level (PSA level 3) for nuclear facilities. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij / Security and emergency issues*, 2016, no. 2, pp. 49-57 (in Russian).

7. Arutyunyan R. V., Panteleev V. A., Segal M. D., Panchenko S. V. Probabilistic Safety Analysis of the Third Level (PSA Level 3) as an Element of the Evolution of NPP Safety Improvement Work. *Atomnaya ehnergiya / Atomic Energy*, 2017, vol. 123, no. 6, pp. 344-349.

8. Bakin R., Mitenkora E., Novikov N., Shickin A. Assessment of the Probability of Initiating a Spontaneous Chain Reaction Within a Metallic-Concrete Transportation Cask: Case of Temporary Storage of Vessel Spent Nuclear Fuel of the Russian Navy. *Remaining Issues in the Decommissioning of Nuclear Powered Vessels*, 2003, pp. 301-305.

9. Otchyot "Razrabotka podhodov i kriteriev klassifikacii radiacionno-opasnyh ob"ektov (ROO) s cel'yu planirovaniya meropriyatij po zashchite naseleniya iskhodya iz zadach SCEHMP "Zashchita" [Development of approaches and criteria for the classification of radiation-hazardous objects (RW) in order to plan measures to protect the population based on the objectives Specialized scientific and practical center of emergency medical care "Protection"]. Specialized scientific and practical center of emergency medical care "Protection", 1992.

For citation: Panteleev V. A., Popov E. V., Segal M. D., Gavrilov S. L., Sednev V. A., Lysenko I. A. Optimization of the placement of controls for an integrated system of monitoring the state of public protection. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 6 (82), 2018, pp. 48-61 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2018.6.82.48-61.