

УДК 574+614.8+628.5

Предложения по повышению уровня готовности личного состава сил ликвидации чрезвычайных ситуаций к проведению аварийно-спасательных работ на радиоактивно загрязненной местности

ISSN 1996-8493

© Технологии гражданской безопасности, 2022

А.Г. Заворотный

Аннотация

В статье представлены сведения о наиболее крупных радиационных авариях в мире, в том числе в СССР и Российской Федерации. Автором даны предложения по повышению уровня готовности личного состава сил ликвидации чрезвычайных ситуаций к проведению аварийно-спасательных работ на радиоактивно загрязненной местности, а также научно обоснованные предложения по повышению эффективности выполнения мероприятий как минимум по трем основным задачам в области гражданской обороны.

Ключевые слова: радиационная авария; готовность; личный состав; силы ликвидации чрезвычайных ситуаций; аварийно-спасательные работы.

Proposals to Increase Emergency Response Forces Readiness Level to Carry out Emergency Rescue Operations in a Radioactively Contaminated Area

ISSN 1996-8493

© Civil Security Technology, 2022

A. Zavorotny

Abstract

The article presents information about the largest radiation accidents in the world, including the USSR and the Russian Federation. The author gives proposals to increase the level of readiness of emergency response forces to conduct emergency rescue operations in a radioactively contaminated area, as well as scientifically based proposals to improve the effectiveness of measures for at least three main tasks in the field of civil defense.

Key words: radiation accident; readiness; personnel; emergency response forces; emergency rescue operations.

30.08.2022

1. Введение

Безопасность в чрезвычайных ситуациях, как составная часть национальной безопасности, существенным образом определяется радиационной безопасностью, которая всецело зависит от эффективности деятельности с техногенными источниками ионизирующих излучений.

Эксплуатация радиационно опасных объектов является реальностью современного мира, и будущее мировой экономики невозможно без развития ядерных и радиационных технологий¹.

Эволюция атомной энергетики и промышленности сопровождалась радиационными инцидентами, авариями и катастрофами (табл. 1 и 2) [1–4].

Таблица 1

Список наиболее крупных радиационных аварий в СССР и Российской Федерации (в мире (см. табл. 2))

Дата	Инцидент	Описание инцидента	Страна	Уровень INES ²
29 сентября 1957	Кыштымская авария	Перегрев и тепловой взрыв емкости с высокоактивными радиоактивными отходами, крупный выброс радиоактивных веществ	СССР	6
18 января 1970	Радиационная авария на заводе «Красное Сормово»	Переход реактора в надкритический режим, частичное расплавление активной зоны, выброс радиоактивных веществ	СССР	—
30 ноября 1975	Авария на Ленинградской АЭС	Перегрев реактора, разрушение технологических каналов, выброс радиоактивных веществ	СССР	4
24 января 1978	Советский спутник морской космической системы разведки и целеуказания Космос-954 с ядерной энергетической установкой на борту упал на территорию Канады, вызвав радиоактивное заражение части северо-западных территорий	Разрушение реактора, не связанное с его работой, выброс радиоактивного содержимого активной зоны	СССР, Канада	—
Февраль 1982	Радиационная авария в губе Андреева	Утечка радиоактивной воды из бассейна хранения отработанного топлива	СССР	?
7 февраля 1983	Спутник Космос-1402 после завершения задачи не смог выйти на орбиту захоронения. Реактор разрушился над Атлантическим океаном, рассеяв в атмосферу 44 килограмма урана	Разрушение реактора, не связанное с его работой, выброс радиоактивного содержимого активной зоны	СССР	—
10 августа 1985	Радиационная авария в бухте Чажма Японского моря. При перезарядке активной зоны реактора на АПЛК-431 реактор перешел в пусковой режим, вызвав тепловой взрыв и радиационное заражение местности	Переход реактора в надкритический режим, тепловой взрыв активной зоны, крупный выброс радиоактивного содержимого активной зоны	СССР	5
26 апреля 1986	Авария на Чернобыльской АЭС	Переход реактора в надкритический режим, тепловой взрыв и последующее расплавление активной зоны, крупнейший выброс радиоактивного содержимого активной зоны	СССР	7
6 апреля 1993	Предположительно, из-за недостаточной подачи воздуха для перемешивания раствора на радиохимическом заводе Сибирского химического комбината взрывом был разрушен аппарат по экстракции урана и плутония, содержащий раствор нитрата уранила	Выброс радиоактивного вещества	Россия	4 или 3
8 августа 2019	Инцидент в Неноксе (также известен как взрыв в Неноксе или взрыв под Северодвинском) — авария, произошедшая 8 августа 2019 года в районе ракетного полигона ВМФ России «Ненокса» в Архангельской области во время испытаний новой военной техники	В результате взрыва на месте погибли пять человек, двое скончались позже от последствий острой лучевой болезни, еще четверо пострадавших получили высокие дозы радиационного облучения. На время повысился радиационный фон в расположенном неподалеку Северодвинске	Россия	—

¹ В настоящее время только в Российской Федерации эксплуатируются следующие радиационно опасные объекты: на 11 атомных станциях России в промышленной эксплуатации находится 37 энергоблоков, 9 энергоблоков атомных электростанций (АЭС) остановлены для вывода из эксплуатации, 2 энергоблока АЭС сооружаются, 17 предприятий ядерного топливного цикла (312 объектов), 65 исследовательских ядерных установок, 6176 радиационно опасных объектов народного хозяйства и 27 объектов атомного флота. Из численности радиационно опасных объектов 73 организации эксплуатируют особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты.

² INES (англ. INES, сокр. International Nuclear Event Scale) — Международная шкала ядерных событий разработана Международным агентством по атомной энергии в целях единообразия оценки чрезвычайных случаев, связанных с аварийными радиационными выбросами в окружающую среду на атомных станциях, а позднее стала применяться ко всем установкам, связанным с гражданской атомной промышленностью. В Российской Федерации по этой шкале с 1990 года классифицируются все аварии и нарушения в работе АЭС; предварительную оценку события производят специалисты АЭС совместно с представителями Ростехнадзора и направляют ее в концерн Росэнергоатом и во ВНИИАЭС, где производится дополнительное рассмотрение с участием всех вышеуказанных сторон, в результате которого дается окончательная оценка произошедшего на АЭС события по шкале INES, которая рассылается в различные заинтересованные организации.

Таблица 2

Список наиболее крупных радиационных аварий в мире (в СССР и Российской Федерации (см. табл. 1))

Дата	Инцидент	Описание инцидента	Страна	Уровень INES ²
12 декабря 1952	Авария в Чок-Риверской лаборатории	Переход реактора в надкритический режим, частичное расплавление активной зоны	Канада	5
10 октября 1957	Авария в Уиндскейле	Перегрев и возгорание реактора, крупный выброс радиоактивных веществ	Великобритания	5
3 января 1961	На экспериментальном реакторе SL-1 по неустановленным причинам был извлечен управляющий стержень, началась неуправляемая цепная реакция, вызвавшая тепловой взрыв, расплавление реактора и выброс в атмосферу 3 ТБк радиоактивного йода	Переход реактора в надкритический режим, тепловой взрыв и расплавление активной зоны, крупный выброс радиоактивных веществ	США	5
24 июля 1964	Авария на заводе Wood River Junction	Достижение критичности вне реактора из-за ошибочного использования работником концентрированного раствора нитрата уранила вместо разбавленного	США	4
17 января 1966	В результате произошедшего над Паломаресом столкновения бомбардировщика В-52 с самолетом-заправщиком разрушились две термоядерные бомбы, произошло заражение местности.	Разрушение ядерных боеприпасов, выброс радиоактивных веществ	США, Испания	—
21 января 1968	Авиакатастрофа над базой Туле в Гренландии. При падении бомбардировщика В-52 ВВС США разрушились термоядерные бомбы, произошло радиоактивное заражение местности	Разрушение ядерных боеприпасов, выброс радиоактивных веществ	США, Дания	—
22 февраля 1977	Авария на реакторе KC-150 (АЭС Богунце)	Потеря герметичности ТВЭЛ в активной зоне реактора, выброс радиоактивного содержимого	Чехословакия	4
28 марта 1979	Авария на АЭС Три-Майл-Айленд	Перегрев остановленного реактора, расплавление активной зоны, выброс продуктов деления	США	5
13 марта 1980	Авария на АЭС Сен-Лоран-дез-О	Частичное расплавление активной зоны реактора, выброс продуктов деления	Франция	4
4 мая 1986	В результате ошибки оператора при работе с системой загрузки шаровых ТВЭЛов произошла незначительная утечка радиоактивного газа — АЭС ТНТР-300	Разрушение ТВЭЛ вне активной зоны, незначительный выброс радиоактивного содержимого	Германия	4
13 сентября 1987	Радиоактивное заражение в Гоянии	Повреждение радиологического источника излучения	Бразилия	5
30 сентября 1999	Авария на ядерном объекте Токаймура	Достижение критичности вне реактора, небольшой выброс радиоактивных продуктов деления	Япония	4
2006	Авария в институте радиоэлементов во Флерюсе	Облучение сотрудника источником радиоактивного излучения вследствие нарушения работы механики систем защиты	Бельгия	4
11 марта 2011	Землетрясение и последовавшее цунами вызвали на АЭС Фукусима-1 отключение энергоснабжения и систем охлаждения, что привело к расплавлению активной зоны реакторов на энергоблоках 1, 2 и 3	Перегрев трех реакторов, расплавление активной зоны, крупнейший выброс радиоактивного содержимого активной зоны	Япония	7

В настоящее время, в период проведения Российской Федерацией специальной военной операции, вооруженными силами Украины ведутся непрекращающиеся обстрелы крупнейшей в Европе Запорожской атомной электростанции³. Так, 26 августа 2022 года впервые в истории ее эксплуатации Украина лишилась

электроэнергии: все шесть энергоблоков станции оказались отключены от энергосистемы, что привело к отключению украинских потребителей.

В случае аварии на Запорожской АЭС выброс радиоактивных веществ, даже четверти содержимого одного из реакторов, приведет к радиоактивному загрязнению

³ Запорожская АЭС (Украина) — крупнейшая атомная электростанция в Европе, расположенная на берегу Каховского водохранилища. Ее строительство началось в 1977 г., первые четыре блока запустили с 1984 по 1987 г. Пятый начал выдавать энергию в 1989 г., а шестой — уже после развала СССР, в 1995 г. Мощность каждого из шести энергоблоков ВВЭР-1000 составляет 1 ГВт. Правда, на 100% установленной мощности станция впервые вышла лишь в декабре 2021 года. Запорожская АЭС ежегодно генерирует около 40 млрд кВт/ч, обеспечивая пятую часть потребности Украины в электроэнергии. В марте 2015 г. ЗАЭС стала первой в мире атомной станцией, которая выработала более 1 трлн кВт/ч электричества со дня введения в эксплуатацию первого блока (для сравнения: этот объем выработки чуть меньше годового потребления всей РФ).

территорий в Украине, Российской Федерации, Польше, Словакии и Германии (рис. 1).

Анализ современных военных доктрин ведущих государств мира показывает, что вероятность применения противником оружия массового поражения, и в первую очередь — ядерного, а также тактического ядерного оружия остается достаточно высокой. Кроме того, применение высокоточного оружия по радиационно опасным объектам может привести к их разрушению и, соответственно, к радиоактивному загрязнению.

2. Основная часть

С целью повышения уровня готовности личного состава сил ликвидации чрезвычайных ситуаций к проведению аварийно-спасательных работ на радиоактивно загрязненной местности предлагаются к рассмотрению следующие предложения.

2.1. Предложение по замене линейной беспороговой модели на пороговую квадратичную модель зависимости радиационных эффектов от дозы облучения личного состава сил ликвидации ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии

Замена линейной беспороговой модели на пороговую квадратичную модель (рис. 2) [5–7] дает возможность повысить планируемое повышенное облучение личного состава сил ликвидации ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии в эффективной дозе с 0,2 Зв до 0,57 Зв, причем вероятность выхода стохастических эффектов $P_2 = 0,0084$ остается одной и той же для обеих моделей (рис. 2, при $P_2 = 0,0084$).

Установлено, что эффективные дозы ниже 1000 мЗв позволят избежать развития серьезных детерминированных эффектов; если они ниже 500 мЗв, то это должно предотвратить развитие любых детерминированных эффектов [8].

Поэтому планируемое повышенное облучение в эффективной дозе $D_1 = 0,57$ Зв снизим до $D_1 = 0,5$ Зв. При этом вероятность P выхода стохастического эффекта составляет $P = 0,006459$, что на 23% меньше, чем при вероятности, соответствующей $D = 0,57$ Зв: $[(0,006459 - 0,008400) / 0,008400] \cdot 100\% = -23\%$ (см. рис. 2, при $D = 0,5$ Зв и $P = 0,006459$).

Замена планируемого повышенного облучения личного состава сил ликвидации ЧС (линейной

беспороговой модели) при проведении работ в зоне радиационной аварии с 0,2 Зв до 0,5 Зв (на пороговую квадратичную модель) приведет к повышению эффективности действий личного состава сил ликвидации ЧС при сохранении риска злокачественных новообразований и наследственных эффектов на уровне, регламентируемом нормами радиационной безопасности [9] (на уровне риска меньше $R = 0,042$ 1/Зв).

Повышение эффективности действий личного состава сил ликвидации ЧС может достигаться путем повышения экспозиции личного состава в зоне проведения аварийно-спасательных работ. В этом случае указанный личный состав может выполнить больший объем аварийно-спасательных работ. Экспозиция личного состава в зоне выполнения аварийно-спасательных работ может быть продлена на $(0,5 \text{ Зв} / 0,2 \text{ Зв}) \cdot 100\% = 250\%$ (где 0,5 Зв — предлагаемое планируемое повышенное облучение личного состава сил ликвидации ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии; 0,2 Зв — планируемое повышенное облучение личного состава сил ликвидации ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии в соответствии с нормами радиационной безопасности [9]). Указанное предложение представлено в табл. 3.

2.2. Предложения по повышению эффективности управления личным составом сил ликвидации ЧС при проведении аварийно-спасательных работ на радиоактивно загрязненной местности

Разработанное противорадиационное разборное укрытие (его варианты) [10] относится к средствам защиты от ионизирующего излучения, а именно к средствам защиты личного состава сил ликвидации ЧС от внешнего облучения радионуклидами, вышедшими из-под контроля в результате аварии на объекте ядерной энергетики или в результате ядерного терроризма.

При проведении АСДНР основой режима радиационной защиты являются: строгая регламентация времени пребывания спасателей в зоне радиоактивного загрязнения с высокими мощностями доз излучения; организация посменной работы; непрерывный контроль за полученными дозами облучения; использование средств индивидуальной защиты.

На месте пожара (аварии) создается служба дозиметрического контроля. На эту службу возлагаются следующие задачи: регистрация всех прибывших

Таблица 3

Предложение по замене планируемого повышенного облучения личного состава сил ликвидации ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии с дозы $D = 0,2$ Зв/год до дозы $D = 0,5$ Зв/год

Параметр	Численные значения параметра и его размерность	Вероятность выхода стохастического эффекта	Объем аварийно-спасательных работ, выполняемых личным составом сил ликвидации ЧС, %
Максимальное планируемое повышенное облучение личного состава сил ликвидации ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии в соответствии с нормами радиационной безопасности	0,2 Зв/год	0,008400 (в соответствии с нормами радиационной безопасности [9], см. рис. 2)	100
Предлагаемое максимальное планируемое повышенное облучение личного состава сил ликвидации ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии	0,5 Зв/год	0,006459 (см. рис. 2)	250

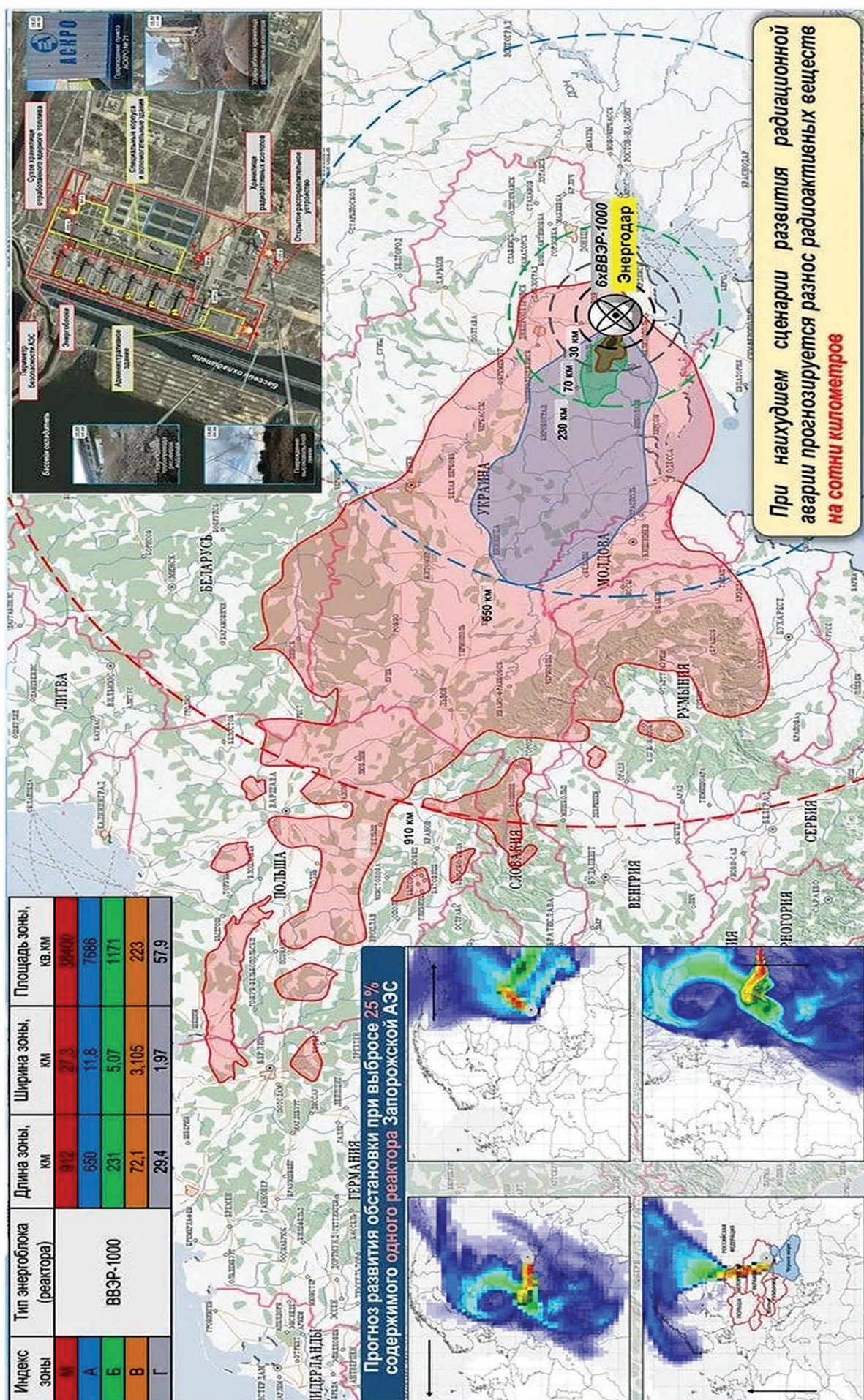


Рис. 1. Прогноз возможных последствий радиационной аварии на Запорожской АЭС

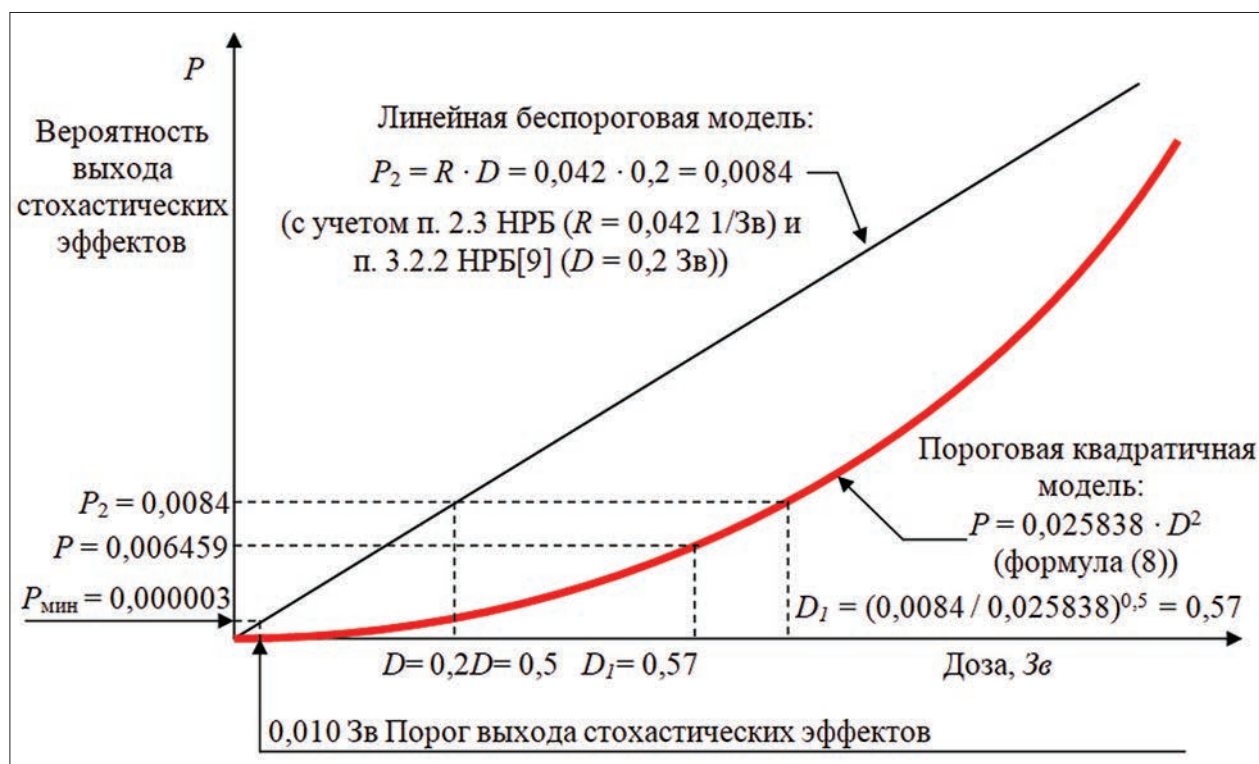


Рис. 2. Замена линейной беспороговой модели на пороговую квадратичную модель

в специальном журнале с отметкой полученных ими доз облучения; выдача карточек учета доз радиоактивного облучения личного состава; контроль безопасности работ личного состава из расчета получения ими минимального облучения; организация измерений уровней радиации на маршрутах движения пожарно-спасательной техники; проведение проверок исправности приборов дозиметрического контроля; ежедневное представление штабу сведений по форме установленного образца. Личный состав службы дозиметрического контроля может выполнять большинство из перечисленных выше задач, находясь в противорадиационном разборном укрытии.

Аналогично и с водителями пожарных машин, начальниками пожарно-спасательных подразделений, медицинскими работниками и с рядом других участников тушения пожара. Водитель пожарной автоцистерны может наблюдать за приборами насосного отсека машины через видеокамеру, находясь в противорадиационном разборном укрытии, расположенном рядом с машиной. При необходимости он может быстро подойти к насосному отсеку, выполнить требуемые в данный момент манипуляции с органами управления, установить требуемый режим работы насоса или других агрегатов, и быстро вернуться в укрытие. В этом случае время получения назначенной водителю дозы облучения можно растянуть так, что его не придется менять на другого водителя, так как пожар будет потушен прежде чем водитель получит предельно допустимую для него дозу.

Начальникам пожарно-спасательных подразделений, равно как сотрудникам штаба пожаротушения, при тушении пожара нет необходимости постоянно находиться на местности под прямым облучением

радионуклидами. Оценив обстановку на месте пожара, обосновав тактику его тушения и поставив задачу непосредственным исполнителям тушения пожара, начальник пожарно-спасательного подразделения может и должен воспользоваться противорадиационным разборным укрытием до тех пор, пока обстановка позволит ему находиться там. Замена начальника пожарно-спасательного подразделения при тушении пожара, если он получит максимально допустимую для него дозу облучения еще до локализации пожара, несомненно, отрицательно скажется на непрерывности управления и, соответственно, на ходе дальнейшего тушения пожара. Также можно оказывать первую помощь, находясь в противорадиационном разборном укрытии.

На рис. 3 представлен один из возможных сценариев развития и ликвидации радиационной аварии [11, 12].

2.3. Предложения по совершенствованию системы поддержки принятия решений в зоне радиационной аварии, структура которой представлена на рис.

4. При разработке маршрутов ввода сил ликвидации ЧС (районов проведения работ) необходимо решать задачу оптимизации по параметрам целевой функции: времени передвижения в район проведения работ (времени проведения работ), дозы облучения, получаемой личным составом на маршруте (в районе проведения работ), на основе данных специальной разведки, с использованием стационарных и передвижных постов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), представляющих в режиме реального времени данные по мощности экспозиционной дозы, метеорологических параметров, а также данных ветровых профиломеров (содаров), измеряющих

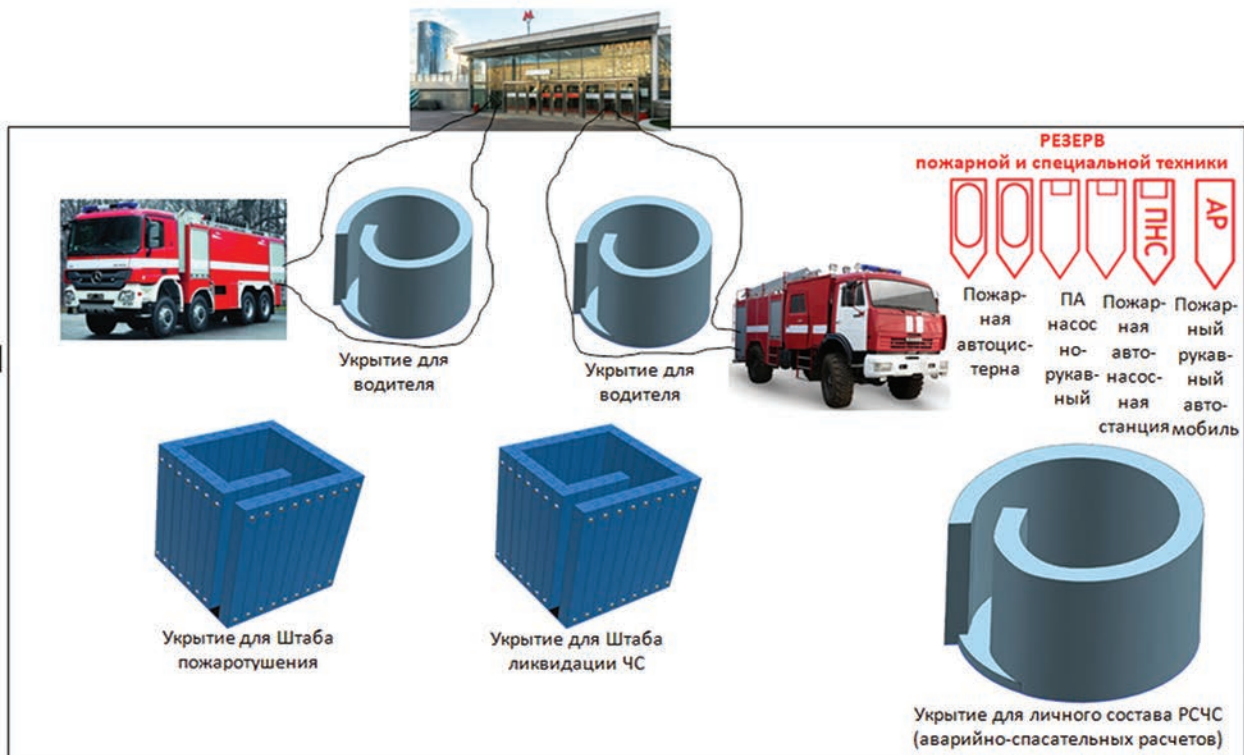


Рис. 3. Применение противорадиационного разборного укрытия в зоне радиационной аварии (вариант)

структуру вертикальной турбулентности и профиля ветра в нижних слоях атмосферы.

На рис. 5 представлено типичное распределение постов АСКРО отечественной АЭС и направления планируемого ввода сил. То есть руководитель ликвидации ЧС (руководитель тушения пожара, начальник (командир) формирования) должен распределять силы

ликвидации ЧС с учетом сложившейся радиационной обстановки на местности путем получения данных от постов АСКРО на персональный планшетный компьютер в режиме реального времени. А направления планируемого ввода сил осуществлять с учетом минимального радиационного фона. Таким образом осуществляется оптимизация маршрутов ввода сил ликвидации

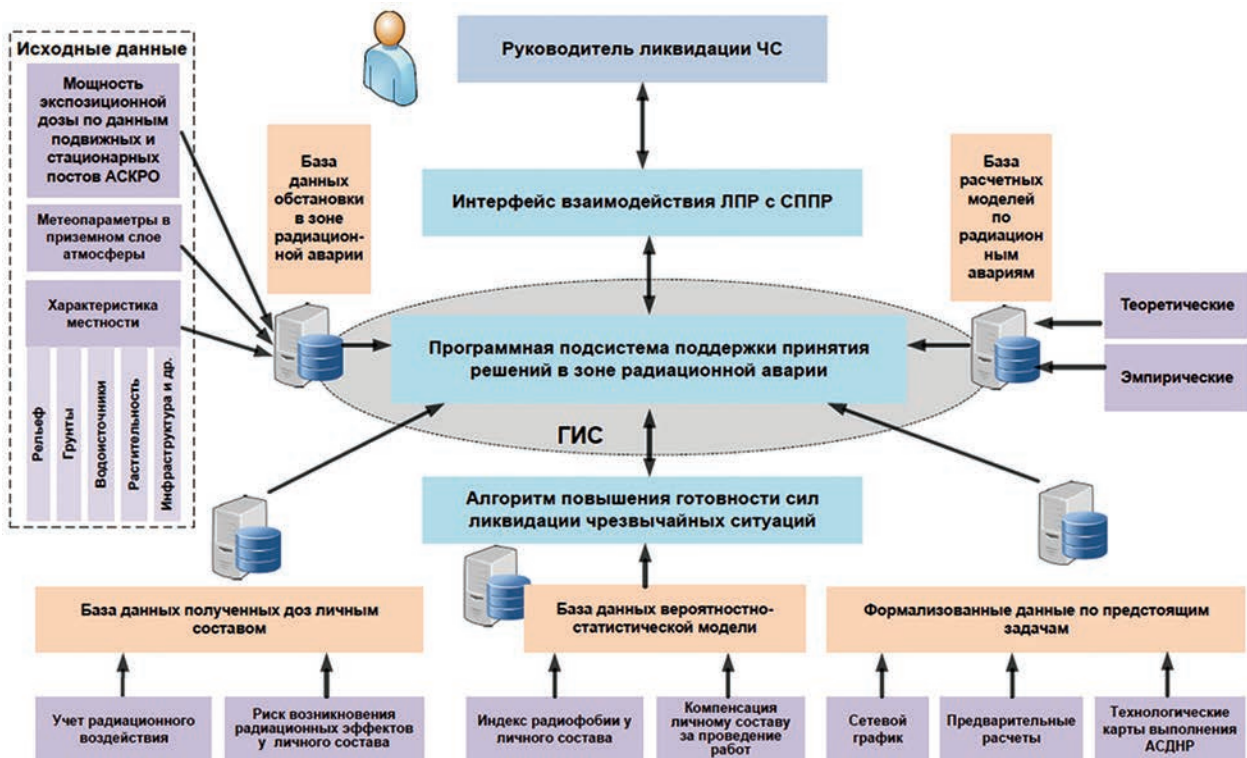


Рис. 4. Структура системы поддержки принятия решений (СППР) в зоне радиационной аварии

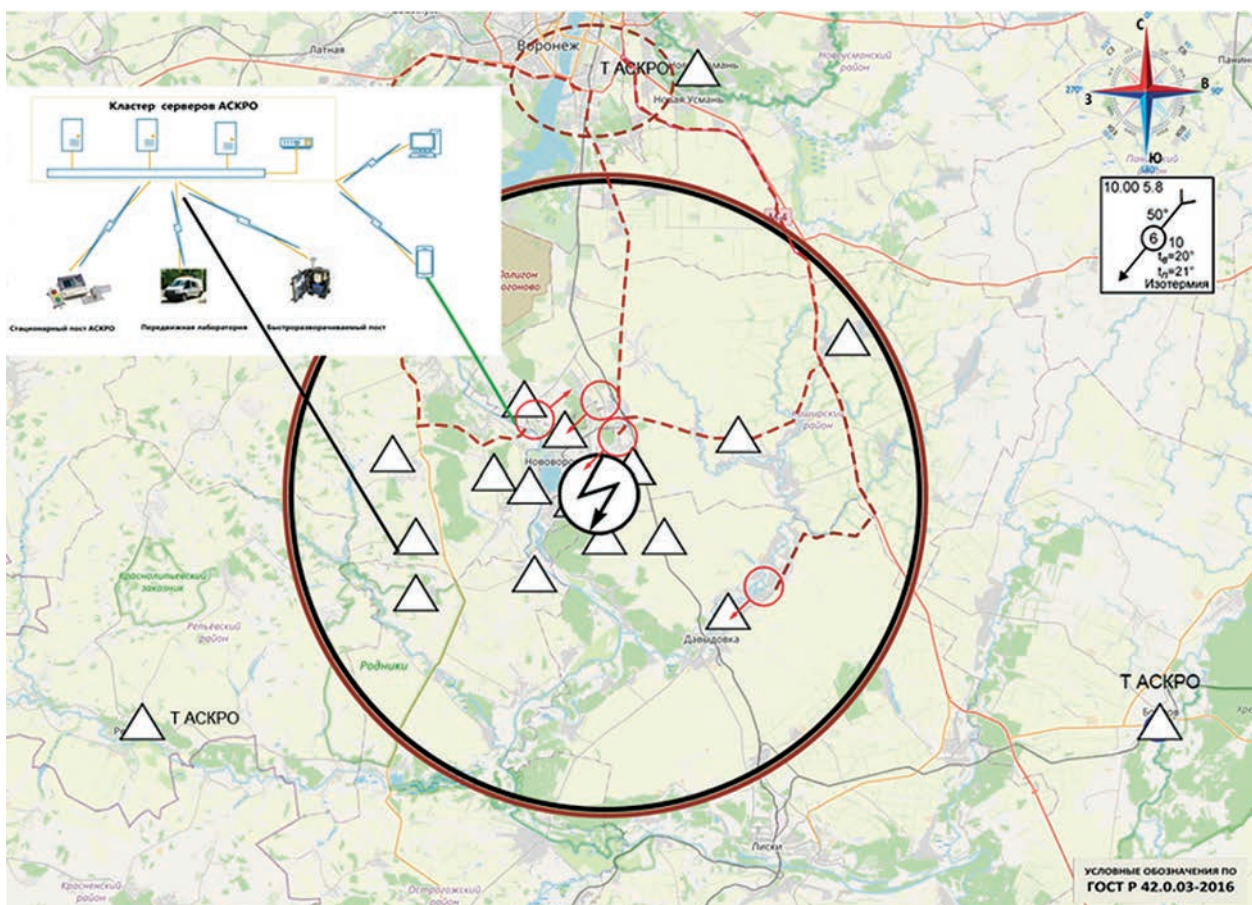


Рис. 5. Распределение постов АСКРО в районе Нововоронежской АЭС и направления планируемого ввода сил

ЧС при проведении работ в зоне радиационной аварии с использованием ГИС-технологий, составлением кроки маршрута и нанесением реперных точек.

В связи с тем, что обстановка в зоне радиационной аварии характеризуется масштабом и зависит от источника загрязнения, состава и количества выброса радионуклидов, расстояния от источника до прокладываемых маршрутов, метеоусловий, временных показателей и др. [13–17], учет данных факторов в математической модели динамического метода оптимизации является обязательным.

Решение задачи поиска оптимального маршрута ввода сил можно отнести к NP-трудным (не поддаются решению быстрым алгоритмом).

Вычисления маршрутов ввода сил можно производить по существующим дорогам, по пересеченной местности, комбинированным способом. Имеем классический граф, вершины которого соответствуют заданным вышестоящим органом управления опорным точкам, а ребра — участкам передвижения подразделений гражданской обороны в зоне радиационной аварии.

Пусть в графе $G = (V, E)$ есть вершины V (где n — число вершин) и ребра E (m — число ребер).

Предлагается дискретизация предполагаемых маршрутов ввода сил (вероятные маршруты передвижения личного состава состоят из вершин и ребер) по «муравьиному алгоритму»; в соответствии с [17, 18] переход из вершины i в вершину j определяется по формуле:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\mu_{ij}^\beta \tau_{ij}^\alpha}{\sum_{l \in X_k} \mu_{ij}^\beta \tau_{ij}^\alpha}, & l \in X_k, \\ 0, & l \notin X_k \end{cases}$$

где α и β — параметры, управляющие относительной важностью между феромонной информацией τ_{ij} и эвристической информацией:

$$\mu_{ij}^\beta = \frac{1}{d_{ij}}.$$

Сделав ровно по n перемещений, производится обновление значений концентрации феромона на ребрах графа. Обновляются только те ребра, по которым перемещался транзакт. Концентрация феромона на ребре (i, j) пересчитывается по формуле:

$$\tau_{ij} \leftarrow \rho \tau_{ij} + \sum_{k=1}^N \Delta \tau_{ij}^k,$$

где:

ρ — математический эквивалент исчезновения феромона со временем;

$\Delta \tau_{ij}^k$ — количество феромона, оставляемое на данном ребре k -ым транзактом.

Описанные действия (перемещение по графу и обновление феромонов) представляют собой одну итерацию «муравьиного алгоритма». Итерации повторяются до тех пор, пока не окажется выполненным критерий

останова алгоритма: исчерпано число итераций, достигнута нужная точность, получен единственный путь.

2.4. Предложения по определению компенсации личному составу сил ликвидации ЧС за проведение работ в зоне радиационной аварии

Хорошо известно, что за выполнение опасной для жизни и здоровья работы люди требуют повышенную плату за риск, которая зависит от степени опасности работы. Можно сказать по другому: люди добровольно соглашаются выполнять опасную работу, если предлагаемая за нее плата является адекватной (соответствующей уровню риска) с их точки зрения. Оценим адекватную плату за риск личному составу сил ликвидации ЧС за проведение АСДНР, связанных с его облучением максимально допустимой дозой 200 мЗв.

Среднемесячную зарплату (после вычета налога) всех сотрудников и всех работников сил ликвидации ЧС (с учетом всех надбавок, премий и т.п.) принимаем равной 40 000 руб. Учет всех сотрудников и всех работников, как это будет показано далее, означает, что любой сотрудник или работник старше 30 лет (за исключением женщин) может быть привлечен к ликвидации последствий ядерного терроризма или радиационной аварии. Среднегодовая зарплата в этом случае составляет $12 * 40\,000 = 480\,000$ руб. [19]. По известной формуле [20] вычислим экономический эквивалент \mathcal{E} стоимости жизни среднестатистического человека (мужского пола) из сил ликвидации ЧС:

$$\mathcal{E} = 480\,000 / 0,013 = 36923077 \text{ руб.}$$

где 0,013 — средний риск смерти человека (мужского пола) за 1 год от всех причин смерти, не связанных с радиационным облучением (таблица смертности за 2018 г., городское население, мужской пол, возраст 30–60 лет). Возраст 30 лет — наименьший возраст лица мужского пола, допускаемого к работам, связанным с облучением повышенной дозой, сверх дозы, предусмотренной в нормальных условиях эксплуатации источников излучения; 60 лет — возраст выхода на пенсию. Средний возраст составляет $(30 + 60) / 2 = 45$ лет.

Таким образом, экономический эквивалент жизни среднестатистического сотрудника (работника) сил ликвидации ЧС в возрасте 45 лет составляет $\mathcal{E} = 36923077$ рублей.

Установлено, что адекватная плата за риск облученному человеку P_R составляет:

$$P_R = \mathcal{E} * R_3 = 36923077 * 0,01 = 369231 \text{ руб.}$$

где $R_3 = 0,01$ — риск злокачественного новообразования.

3. Заключение

Таким образом, представлены предложения по повышению уровня готовности личного состава сил ликвидации чрезвычайных ситуаций к проведению аварийно-спасательных работ на радиоактивно загрязненной местности.

1. Порог вредного воздействия радиации на человека в зависимости от полученной дозы, несомненно, существует и он находится выше уровня средней фоновой дозы, получаемой человеком на Земле [7]. Замена линейной беспороговой модели на пороговую квадратичную модель, как видно из табл. 3, приведет к повышению максимального планируемого повышенного облучения личного состава сил ликвидации ЧС с дозы $D = 0,2$ Зв/год на дозу $D = 0,5$ Зв/год, что, в свою очередь, приведет к увеличению объема аварийно-спасательных работ с 100% при дозе $D = 0,2$ Зв/год до 250% при дозе $D = 0,5$ Зв/год, причем вероятность выхода стохастического эффекта во втором случае (при $D = 0,53$ в/год) оказывается меньше чем в первом (при $D = 0,2$ Зв/год).

2. Предлагаемое новое техническое средство (противорадиационное разборное укрытие по патенту РФ № 2664581) дает возможность повысить функциональные возможности сил РСЧС к выполнению задач по предназначению при ликвидации радиационных аварий. В соответствии с расчетами время непрерывного безопасного пребывания людей в укрытии составляет 35,7 ч при ширине каркаса для размещения воды 150 см, и 286 ч — при ширине каркаса 200 см [11].

3. Внедрение динамического метода оптимизации маршрутов ввода сил ликвидации чрезвычайных ситуаций в зону радиационной аварии (на основе точных методов при небольшой зоне аварии, приближенных методов при значительной площади) позволит выполнить поставленную вышестоящим органом управления задачу в установленный срок, минимизировать дозы внешнего облучения личного состава, сформировать информационный блок на площадных и точечных участках загрязненной местности, а также участках с минимальными уровнями загрязнения.

4. Представлен способ по определению компенсации личному составу сил ликвидации ЧС за проведение работ в зоне радиационной аварии, который может быть использован для определения численного значения научно обоснованной (адекватной) компенсации за риск среднестатистическому сотруднику (работнику, военнослужащему) РСЧС за облучение всего тела эффективной дозой 200 мЗв при ликвидации радиационной аварии. Данный способ обоснования объективной (научно обоснованной) компенсации за риск при ликвидации радиационной аварии дает возможность государству выполнять свои социальные обязательства перед личным составом РСЧС.

5. Приведенные научно обоснованные предложения повышают эффективность выполнения мероприятий как минимум по трем основным задачам в области гражданской обороны [21, 22]:

проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в случаях возникновения опасностей для населения при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов, а также при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера;

обнаружение и обозначение районов, подвергшихся радиоактивному, химическому, биологическому или иному заражению;

обеспечение постоянной готовности сил и средств гражданской обороны.

Литература

1. INES Руководство для пользователей международной шкалы ядерных и радиологических событий. Вена: МАГАТЭ, 2010. 235 с.
2. Sources and affects of ionizing radiation/Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volum II. Scientific Annexes C, D, and E. //United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2008.— United Nations: New York, 2011. 43 p.
3. Техногенные угрозы. Радиационные и химические аварии. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2013. 122 с.
4. Nuclear power plant accidents: listed and ranked since 1952 // Guardian. URL: <https://www.theguardian.com/news/datablog/2011/mar/14/nuclear-power-plant-accidents-list-rank> (дата обращения: 09.08.2022).
5. Заворотный А. Г. Расчетная модель воздействия на человека радиационного облучения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67. № 1. С. 27–32.
6. Заворотный А. Г. Пороговая квадратичная модель зависимости радиационных эффектов от дозы облучения [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2020. Вып. 3(89).С. 65–74. URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1563139> (дата обращения: 09.08.2022).
7. Заворотный А. Г. Атомная радиация как вредный и опасный фактор для человека на Земле // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: Научный информационный сборник. 2020. № 2. С. 46–61.
8. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / Пер. с англ. / Под общ. ред. М. Ф. Киселева и Н. К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
9. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523–09». Приложение. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».
10. Харисов Г. Х., Заворотный А. Г. Противорадиационное разборное укрытие: Патент на изобретение № 2664581. Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 августа 2018 года. Заявка № 2015125039 от 25.06.2015.
11. Заворотный А. Г. Повышение функциональных возможностей личного состава пожарно-спасательных гарнизонов к ликвидации радиационных аварий // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 4. С. 58–65.
12. Заворотный А. Г. Управление личным составом пожарно-спасательных гарнизонов с учетом радиационного воздействия [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2021. Вып. 2(92).С. 94–105. URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1563139> (дата обращения: 09.08.2022).
13. Заворотный А. Г., Кострубицкий А. А., Зыбин Д. Г. Предложения по расчету коэффициентов готовности к проведению мероприятий защиты населения в техногенных чрезвычайных ситуациях // Вестник Воронежского Института ФСИН России. 2021. № 1. С. 64–71.
14. Заворотный А. Г., Кострубицкий А. А., Калач А. В. Методические основы управления системой защиты населения в чрезвычайных ситуациях техногенного характера // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2021. № 1. С. 72–80.
15. Заворотный А. Г., Кострубицкий А. А. Алгоритмизация и программная реализация модели управления системой защиты населения в чрезвычайных ситуациях техногенного характера // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: научный информационный сборник. 2021. № 4. С. 112–124.
16. Кострубицкий А. А., Заворотный А. Г. Программно-аналитический комплекс поддержки принятия решений по защите населения в чрезвычайных ситуациях техногенного характера: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021618617. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 29 мая 2021 года. Заявка № 2021617588 от 19.05.2021.
17. Заворотный А. Г., Бобров А. И. Модели и алгоритмы оптимизации маршрутов ввода сил гражданской обороны в зону радиационной аварии // Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны «Гражданская оборона на страже мира и безопасности». В 4 ч. Ч. 1. Проблемы гражданской обороны. М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. С. 321–325.
18. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2003. № 4. С. 70–75.
19. Заворотный А. Г. Расчет материального вознаграждения личного состава РСЧС за опасную работу // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 3. С. 84–89.
20. Харисов Г. Х. Экономический эквивалент стоимости человеческой жизни: Моногр. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 66 с.
21. Федеральный закон от 12.02.1998 г. № 28-ФЗ «О гражданской обороне» (с изменениями и дополнениями).
22. Постановление Правительства РФ от 26.11.2007 № 804 «Об утверждении Положения о гражданской обороне в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).

Сведения об авторе

Заворотный Александр Григорьевич: к.т.н., доц., АГПС МЧС России, нач. учеб.-науч. компл. гражд. обор., защиты населен. и территорий. Москва, Россия. SPIN-код: 5667-1953.

Information about author

Zavorotny Aleksandr G.: PhD (Technical Sc.), Associate Professor, Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Head of the Educational and Scientific Complex of Civil Defense, Protection of the Population and Territories. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 5667-1953.

Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
Таранов А.А. и др. Информационно-аналитический сборник по проблемам нормативного правового и нормативно-методического обеспечения создания системы защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, информирования и оповещения населения на транспорте.	http://elibrary.ru/item.asp?id=20392529
Глебов В.Ю. и др. Методические рекомендации территориальным органам МЧС России по применению нормативных правовых и нормативно-технических документов при создании, эксплуатации и развитии системы защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, информирования и оповещения населения на транспорте. Монография.	http://elibrary.ru/item.asp?id=21846925
Альмов А.В. и др. Проблемы защиты населения от угроз природного и техногенного характера на транспорте. Научно-методический труд.	http://elibrary.ru/item.asp?id=20501644