

Экологический контроль, прогнозирование, информация

УДК 539.1.08

Вопросы совершенствования и модернизации средств радиационного контроля (зарубежный опыт)

В. С. СТАХОРСКИЙ, Д. А. ТЮРИН

Рассмотрены основные данные, характеризующие направления практической деятельности зарубежных промышленных фирм, научно-исследовательских и опытно-конструкторских организаций по совершенствованию методов и средств измерения ионизирующих излучений, перспективам технического оснащения органов радиационного контроля наиболее эффективными, надежными и относительно недорогими техническими средствами. Сформулированы наметившиеся за последние годы в этой области тенденции. Рекомендуется использовать зарубежный опыт в отечественной системе радиационного контроля окружающей среды и населения.

Цель настоящей статьи — поиск, обобщение и анализ различных зарубежных источников информации по средствам радиационного контроля окружающей среды (ОС), выпускаемым (или разрабатываемым) промышленностью; определение сложившихся за последнее десятилетие тенденций в этой области с расчетом на использование полученных данных в отечественной исследовательской и производственной практике. При этом основное внимание обращалось на выявление:

наиболее перспективных принципов и методов регистрации ионизирующих излучений (ИИ);

оригинальных технических решений, воплощенных в конструкцию отдельных видов дозиметрической аппаратуры (ДА)* и ее комплектующих элементов (КЭ);

важнейших технико-эксплуатационных характеристик и других параметров ДА;

экономических показателей выпускаемой за рубежом аппаратуры (стоимость изделий, используемых материалов, источников питания и т. п.).

Радиационная безопасность окружающей среды на современном этапе

Возможность комплексного решения весьма сложных (как правило исключительно крупномасштабных) задач по обеспечению радиационной безопасности ОС, обширных территорий и населения, созданию современной аналитико-информационной и материально-технической базы для эффективного осуществления необходимых противорадиационных мероприятий становится ныне одним из важнейших показателей нормального развития национальной экономики страны, социальной стабильности и благополучия общества.

Различные аспекты этой непростой проблемы постоянно находятся в центре внимания отечественных и зарубежных органов власти (государственных, региональных и местных), многих ведомств, соответствующих правительственные учреждений и общественных организаций экологической направленности. Не случайно, что за последние годы в Российской Федерации и в большинстве высокоразвитых зарубежных стран принято и действует множество специальных законов, нормативных положений,

* Здесь и далее под термином "дозиметрическая аппаратура" (ДА) условно принимаются все виды средств радиационного контроля: γ -детекторы, радиометры, дозиметры и т. д.

ведомственных постановлений, директив и другой документации, непосредственно касающихся оценки радиационного состояния ОС, уровня обеспечения радиационной безопасности населения в загрязненных радионуклидами (РН) зонах. Так, например, применительно к России следует в первую очередь называть действующий с 1996 г. закон "О радиационной безопасности населения", нормативные положения "Нормы радиационной безопасности — НРБ 96", "Положение о государственном учете и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации" (от 11.11.99 г.), ежегодные государственные доклады "О состоянии окружающей среды РФ" и др. [1—5].

Возникает вопрос, чем собственно обусловлено особое внимание к проблемам радиационной безопасности, возросшая в последние годы в мире тревога и обеспокоенность за состояние радиационной обстановки, надежности применяемых средств и методов радиационного контроля, эффективности органов наземной и воздушной радиационной разведки. Суть этой острой назревшей проблемы состоит, по-видимому, в том, что в современных условиях реальная ядерная и радиационная опасность для населения нашей планеты продолжает оставаться крайне высокой.

Несмотря на принимаемые в данной области международные соглашения (по линии ООН, двусторонние между бывшим СССР и США, многосторонние между Россией и НАТО и т. п.), действующие ограничения по распространению ядерного оружия, запрет на ядерные испытания в атмосфере, установление жесткого международного контроля за работой атомных электростанций (по линии МАГАТЭ, МКРЗ и др.) — опасность возникновения чрезвычайных ситуаций глобального масштаба с выбросом в ОС радиоактивных веществ (РВ) и образованием обширных зон радиоактивного заражения (РЗ) остается достаточно вероятной.

Теперь при оценке экологической обстановки в масштабах региона, страны и мира в целом приходится особое место отводить ядерной проблеме. Тяжелейшими, непредсказуемыми последствиями чреваты крупные ядерные аварии и катастрофы на военных и на "мирных" ядерных объектах. Известно, что использование ядерной энергии в мирных целях приобрело за последние десятилетия широчайшее развитие, повсеместное распространение. Это и атомные электро- и теплостанции, и морские суда, оснащенные ядерными энергетическими установками, и исследовательские ядерные реакторы и т. п. Достаточно привести данные мировой статистики, свидетельствующие, что к настоящему времени до 17—18 % электроэнергии вырабатывается на атомных электростанциях (АЭС). Согласно публикациям зарубежной прессы, среди крупнейших производителей ядерной энергии (ЯЭ) на передовые позиции по этим

показателям вышли, %: Франция — 73—75, Бельгия — 60, Венгрия — 51, Южная Корея — 48 и др. [6].

В работе [7] приводятся данные по результатам зарубежных исследований, которые содержат убедительные доказательства о возможности разрушения ядерных реакторов с выбросом значительных количеств радиоактивных продуктов деления в ОС путем воздействия обычными видами вооружения по внешним элементам АЭС (линии подачи силового питания на механизмы систем обеспечения безопасности, трубопроводы подачи воды в системы реактора и т. п.).

Трагические события на Чернобыльской АЭС в 1986 г. наглядно показали масштабы и тяжкие последствия подобных аварий и катастроф, которые в ряде случаев будут приобретать глобальный характер. Среди многих ученых-физиков и специалистов-экологов складывается твердое убеждение, что достаточно серии хорошо спланированных террористических или военных акций, диверсионных операций против АЭС, радиохимических заводов, трубопроводов и других объектов инфраструктуры с повышенным уровнем риска, чтобы вызвать ядерную катастрофу, превратить обширные территории земной поверхности в мертвую зону [8].

Среди проблем защиты ОС от производственных загрязнений особую озабоченность в России и за рубежом вызывают радиоактивные отходы (РАО). В странах, использующих ядерную энергетику, темпы накопления РАО неуклонно возрастают. По данным министерства энергетики США, в начале 90-х годов общий объем высокоактивных РАО составлял в США 300 тыс. м³; величины количества средне- и низкоактивных РАО. По прогнозу к 2000 г. накопления этой категории РАО составят: в США — 3,6 млн³ (в России — 1,5 млн³).

Хранилища РАО, по мнению специалистов, представляют также огромную потенциальную опасность. Нельзя исключать угрозу глобальной экологической катастрофы, если принять в расчет большую вероятность взрыва хранилища РАО с выбросом РВ при нарушениях работы системы вентиляции и теплосъема.

Следует считать, что мировая проблема накопления потенциально опасных источников ИИ не имеет пока обнадеживающих перспектив для своего разрешения. Здесь главными причинами выступают технические и финансовые трудности при осуществлении на практике мероприятий по ликвидации (или захоронению) РАО. Требования к организации хранения и захоронения РАО весьма жестки. К числу основных относятся, в частности, требование о том, что любое захоронение РАО должно исключать возможность попадания в ОС радиоактивных элементов (на протяжении всего времени хранения РАО до полного распада РН) в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации [7, 9].

В табл. 1 приведены некоторые данные, характеризующие условия хранения РАО в России [10].

Таблица 1

Хранение жидким и твердым радиоактивных отходов на АЭС России

АЭС	Вместимость, м ³	Количество, м ³	Заполнен- ность, %	Вместимость, м ³	Количество, м ³	Заполнен- ность, %
	ХЖО ^{*1}	ЖРО ^{*2}	ХЖО		ХТО ^{*3}	ХТО
Балаковская	3600	1720,0	47,8	18684,0	9579,8	51,3
Белоярская	6400	5466,0	85,4	23760,0	14400,3	60,6
Билибинская	1000	679,9	68,0	3150,0	2441,9	77,5
Калининская	2280	1623,0	71,2	8862,4	7478,8	84,4
Кольская	8526	6845,0	80,3	19912,0	7844,6	39,4
Курская	63000	39583,0	62,8	21760,0	21695,0	99,7
Ленинградская	13820	12165,0	88,0	27800,0	19754,0	71,1
Нововоронежская	17891	7183,1	40,1	40231,0	29814,0	74,1
Смоленская	19400	11910,0	61,4	15150,0	11479,0	75,8

^{*1} ХЖО — хранилища жидким отходов.^{*2} ЖРО — жидким радиоактивные отходы.^{*3} ХТО — хранилища твердых отходов.^{*4} ТРО — твердые радиоактивные отходы.

Анализ радиационной обстановки, сложившейся в мире к настоящему времени, полезно дополнить некоторыми результатами НИР, выполнявшихся под эгидой МАГАТЭ. Так, учеными было установлено, что за почти 40 лет ядерных испытаний на Земле наблюдалось постоянное накопление в ОС общей радиоактивности. Подсчитано, что в биосферу Земли было выброшено примерно 12,5 т продуктов деления атомного ядра (последствия Чернобыльской катастрофы — от 8 до 15 т радиоактивных веществ). Суммарное ионизирующее излучение на поверхности планеты Земля увеличилось (данные за 1963 г.) на 2 % сверх естественного фона.

За период с 1946—1982 гг. в мировом океане были захоронены огромные количества различных РАО (общей активностью 1,24 МКи, здесь не учитывались масштабы морских захоронений различных РАО бывшего СССР) [8, 9].

Согласно данным Государственного доклада "О состоянии окружающей природной среды в РФ" допустимые уровни газоаэрозольных выбросов и сбросов РН с дебалансными водами на действующих АЭС РФ, хотя и не превышают допустимых пределов, но по своему составу требуют организации постоянного надежного контроля ОС (табл. 2, 3) [10].

Таблица 2

Среднесуточные газоаэрозольные выбросы АЭС в 1997 г.
(% от допустимых выбросов)

АЭС	ИРГ ^{*1}	ДЖН ^{*2}	%
Балаковская	0,02	0,03	0,03
Белоярская	0,008	< МДА ^{*3}	< МДА
Билибинская	4,0	< МДА	< МДА
Калининская	0,18	0,02	0,02
Кольская	0,28	0,03	0,62
Курская	2,2	1,3	3,6
Нововоронежская	0,29	0,4	0,38
Смоленская	3,4	0,6	5,8

^{*1} ИРГ — инертные радиоактивные газы.^{*2} ДЖН — долгоживущие радионуклиды.^{*3} МДА — минимальная детектируемая активность.

Таблица 3

Сбросы радионуклидов с дебалансными водами на АЭС в 1997 г.
(% от допустимых сбросов)

АЭС	60Co	54Mn	134Cs	137Cs	90Sr
Балаковская	3,1	0,035	7,1	11,0	< МДА
Белоярская	< МДА	< МДА	< МДА	28,0	1,8
Билибинская	0,023	< 0,002	< МДА	< МДА	< МДА
Калининская	1,7	0,03	6,4	33,0	< МДА
Кольская	0,012	< МДА	0,19	0,37	< МДА
Курская	0,002	< МДА	< МДА	0,001	< МДА
Нововоронежская	0,11	< МДА	0,32	19,0	0,52
Смоленская	0,005	0,022	0,05	0,31	< МДА

Таблица 4

Радиоактивное загрязнение природной среды на территории России в 1992–1997 гг.

Объект наблюдений, радионуклид	Единицы измерения	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Воздух							
Атмосферные аэрозоли							
$\Sigma\beta$	10^{-5} Бк/м ³	18,9	19,8	20,4	20,0	18,5	19,3
^{137}Cs	10^{-5} Бк/м ³	0,11	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06
^{90}Sr	10^{-7} Бк/м ³	2,5	1,85	1,63	1,70	1,29	1,47
$^{239}, ^{240}\text{Pu}$ (Обнинск)	10^{-9} Бк/м ³	38,1	26,6	10,7	6,6	9,20	14
^{40}Pu (Брянск)	10^{-9} Бк/м ³	24,1	22,6	8,1	4,4	2,54	—
Атмосферные выпадения							
$\Sigma\beta$	Бк/м ² в сут	1,9	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5
^{137}Cs	Бк/м ² в год	2,0	1,5	1,4	1,2	0,9	1,0
Атмосферные осадки							
^3H	Бк/л	4,3	3,9	4,7	2,7	3,3	3,8
Водная среда							
Реки							
^{90}Sr (ЕТР)	мБк/л	14,8	10,4	9,4	9,6	10,5	6,7
^{90}Sr (АТР)	мБк/л	8,1	8,1	6,3	7,4	5,5	6,7
^3H	мБк/л	3,3–6,4	2,4–4,5	3,1–8,2	1,7–3,1	2,8–6,1	2,0–6,5
Моря							
^{90}Sr	мБк/л	2,6–33,7	1,6–10,6	1,6–25,0	1,8–24,0	1,5–21,4	1,3–7,7

П р и м е ч а н и е. $\Sigma\beta$ — концентрация и выпадение суммы β -активных радионуклидов техногенного и естественного происхождения; ЕТР — европейская территория России; АТР — азиатская территория России.

Динамика уровней РЗ природной среды на европейской и азиатской территории России за период 1992–1997 гг. приведена в табл. 4 [11].

Характеристика опасных ИИ, оказывающих крайне негативное воздействие на биосферу Земли и население мира, будет, однако, неполной, если не упомянуть еще об одном скрытом источнике РЗ атмосферы — о радоне. В последние годы этому вопросу отводится за рубежом пристальное внимание, ведутся соответствующие исследования, разрабатываются методы защиты.

По взглядам специалистов, радон, проникающий в жилые дома, производственные помещения, подвалы, может явиться причиной тяжелейших радиационных поражений людей. В ряде случаев эти лучевые заболевания завершаются летальным исходом. Как правило, радон попадает в жилые помещения за счет грунта, грунтовых вод строительных конструкций из горных пород, где он накапливается в течение многих тысячелетий — в ходе внутриядерных превращений. Важность решения и этой экологической проблемы обусловлена тем, что продуктами распада радона (полоний-218, свинец-214, висмут-214) и самим радоном происходит облучение множества людей. При этом доля радона в суммарной эффективной дозе, которую получает население от естественных и техногенных источников ионизирующих излучений, составляет 40 % [12, 13].

Таким образом, приходится констатировать, что сложная радиационная обстановка характерна для многих регионов современного мира. Это определяет необходимость организации в международных, национальных и региональных масштабах надежных и высокомобильных, эффективных систем повсеместного радиационного контроля для быстрого

принятия необходимых мер защиты населения и ОС. Основой подобных систем должны явиться современные средства и методы регистрации ИИ, в которых воплощены последние достижения науки и техники, достигнуты наиболее высокие параметры по надежности, быстродействию, эффективности и другим техноэксплуатационным показателям.

Организация систем радиационного контроля

Обобщение и анализ зарубежных источников информации свидетельствует, что вопросы организации и совершенствования систем радиационного контроля занимают центральное место в общем комплексе мер по обеспечению безопасности населения при чрезвычайных ситуациях невоенного характера, сопровождающихся выбросом РВ или связанных с другими случаями радиоактивного загрязнения ОС. Главной функцией подобных систем является выявление в кратчайшие сроки фактической радиационной обстановки не только на локальных участках РЗ (отдельные объекты, зараженные РВ, склады, базы и т. д.), но и в больших масштабах, на территориях, охватывающих целые районы, области, регионы и отдельные страны.

Выполнение на практике этих сложных контрольных мероприятий базируется на широком использовании специальных методов и технических средств радиационной разведки (наземных и воздушных). К их числу следует отнести различные автоматизированные и полуавтоматические установки для систем радиационного контроля, носимые и бортовые детекторы ИИ, радиометры, дозиметры и ряд вспомогательных устройств данного назначения.

В работе [14] показано, что в большинстве высокоразвитых зарубежных стран созданы и успешно функционируют с 80-х годов различные системы радиационного контроля, наземной и воздушной радиационной разведки.

Так, во Франции имеется сеть полуавтоматического контроля радиоактивного заражения местности, состоящая из 2000 стационарных и 2000 подвижных постов, основное количество которых ориентируется на пожарные станции и полицейские участки, где организовано постоянное круглосуточное дежурство операторов.

В Нидерландах действует в национальных масштабах комплексная система радиационной, химической и биологической разведки, состоящая из 1400 стационарных и мобильных постов, которые обеспечивают комплексный контроль радиационного, химического и биологического заражения.

В Великобритании информация о ядерных взрывах и радиоактивном заражении местности собирается и передается в вышестоящие инстанции 873 постами радиационной разведки. Территория страны разделена на пять секторов, в каждом из которых предусмотрен головной командный пункт (КП) радиационной разведки. Секторы разделены на 25 зон; в каждой зоне также имеется КП радиационной разведки. Информация о радиационной обстановке, собираемая постами, поступает на зональные КП, а оттуда — на КП секторов. В стране разработана также национальная программа оперативного реагирования на радиационные аварии за рубежом. В соответствии с этой программой создана общегосударственная сеть дозиметрического контроля (80 постов), которая должна работать в автоматическом режиме.

По данным английской прессы, в Лондоне и его пригородах действует своя сеть автоматизированных станций, регистрирующих изменение уровней радиации окружающей среды с одновременным фиксированием результатов измерений на бумажном носителе. В случае, если уровень радиации в любой из точек расположения станции превысит установленное пороговое значение, будет подан сигнал местной тревоги. При этом автоматическая телефонная система передаст экстренный вызов ответственным лицам по закрепленным за ними телефонным номером. Далее, сразу же начнется выполнение плана аварийно-спасательных мероприятий, предусмотренных для центральных районов Лондона и его пригородов.

Аналогичные системы радиационного контроля имеются в Германии (1500 постов телеметрического контроля радиации, дополнительно 500 постов предусмотрены для приграничных районов), а также в Бельгии, Италии, Дании, Швейцарии и в других странах Западной Европы.

Опыт ликвидации последствий крупных аварий на АЭС (в первую очередь на ЧАЭС) подтвердил необходимость оснащения национальных служб радиационной безопасности наиболее эффективными системами радиационной разведки, в том числе использующими летательные аппараты. Подобные системы, предназначенные для локализации и анали-

за состава радиоактивных аэрозолей, для измерения уровней загрязнения местности гамма-излучающими изотопами, продолжают разрабатываться и в настоящее время.

Согласно данным немецкой печати, в ФРГ были поставлены и выполнялись исследовательские работы по анализу, оценке и совершенствованию систем радиологического контроля в ряде стран Европы. Так, для Болгарии силами немецкой фирмы "Хоерман" ведется сооружение новой сети радиологического контроля (Ra Mo), которая включает в свой состав 25 станций с γ-детекторами в рамках программы "Фаре EC". Целью создания такой сети является быстрое измерение и раннее оповещение об уровнях радиоактивного заражения ОС, в частности от возможного опасного воздействия АЭС Козладой, урановых рудников Болгарии, а также от АЭС соседних стран.

Указанная сеть обеспечит быстрое распознавание случаев ядерной аварии, оповещение населения о необходимости проведения соответствующих защитных мероприятий (использование противорадиационных препаратов) и другой срочной информации.

Следует заметить, что на международном уровне по вопросам радиационной безопасности, перспективам дальнейшего совершенствования систем радиационного контроля (наряду с другими аспектами ядерной безопасности) неоднократно принимались специальные решения. Определенную финансовую помощь в реализации этих проектов оказывает ряд межправительственных общеевропейских органов.

Так, например, Советом Европейского экономического сообщества своим постановлением от 15 февраля 1994 г. была принята специальная программа исследований в данной области, рассчитанная на пять лет (1994—1998 гг.). Необходимые ассигнования на ее осуществление были увеличены в ходе выполнения исследований на 12,5 %. Данной программой, в частности, предусматривалось проведение исследований по следующим основным направлениям:

повышение безопасности ядерных процессов, альтернативные пути обращения с РАО;

снижение вероятности аварийных ситуаций на АЭС, возможность максимального сокращения выбросов РВ, путем уменьшения людского и материального ущерба при авариях;

обработка и захоронение РАО, возможность их утилизации;

вопросы радиологической защиты населения; уточнение нормативов допустимых пределов ионизирующих излучений для человека и окружающей среды в условиях эксплуатации энергетических ядерных установок. Предлагалось особое внимание уделять последствиям ядерных аварий, методам контроля радиационной обстановки в опасных зонах;

установление для всех членов сообщества четкой оперативной платформы защитных действий и разработка стратегии радиационной защиты с учетом характера изменяющейся обстановки [14—16].

Таким образом, за рубежом в последние годы определилась достаточно четкая тенденция — повышение роли и значения как местных, так и высокотехнологичных

эффективных региональных и общегосударственных систем радиационного контроля территории, а также различных объектов внешней среды. Основным стимулом для развертывания новых и совершенствования имеющих систем радиационного контроля послужила Чернобыльская катастрофа и ее тяжелейшие последствия для населения бывшего СССР и ряда европейских государств.

Перспективные виды дозиметрической аппаратуры

Известно, что биологическое действие РВ состоит в способности излучений радиоактивных элементов ионизировать атомы и молекулы, входящие в состав клеток живых тканей. Воздействие излучений этого типа может вызвать лучевую болезнь различной тяжести, а сильное поражение неизбежно приводит к летальному исходу. Для защиты населения от радиоактивного поражения должны использоваться такие методы и средства радиационного контроля, которые обеспечивали бы своевременность, надежность и эффективность проводимых защитных мероприятий аварийно-спасательными службами, Медицинским персоналом первой помощи и пр.

Как указывалось выше, за рубежом для этих целей служат соответствующие системы радиационной разведки и радиологического контроля ОС, оснащенные различной ДА и многими вспомогательными электронными устройствами. В ходе выполнения этих задач в настоящее время широко используются такие виды ДА, как γ-сигнализаторы, приборы-измерители мощности дозы на местности (носимые, бортовые для транспортных средств), радиометры и другие высокочувствительные дозиметрические приборы для контроля зараженности различных объектов, а также определения эффективности процессов дезактивации; комплекты дозиметров (для определения степени облучения людей, оказавшихся в зараженной зоне и др.).

Из числа различных видов ДА, выпускаемой или разрабатываемой за рубежом, основное внимание в данной статье уделяется тем образцам, которые отличаются оригинальностью технического решения, конструкционного оформления, высокими техническими, эксплуатационными и экономическими показателями, в том числе, надежностью, простотой использования, невысокой стоимостью.

В целях удобства систематизации и анализа обширного информационного материала рассматриваемые в данной статье виды ДА были авторами сгруппированы (условно) в определенном порядке (табл. 5).

Обычно при постановке задачи на разработку новых видов (или совершенствование имеющихся) ДА требуется четко определить характер ИИ, для измерения которых предназначается ДА. Это могут быть корпускулярные типы излучений (альфа-, бета-излучения), нейтронное или квантовое излучения (гамма-излучение).

К числу основных методов обнаружения и измерения ИИ, используемых в различных видах ДА, должны быть отнесены:

фотографический — основан на свойстве ИИ воздействовать на чувствительный слой фотоматериалов аналогично видимому свету;

химический — основан на использовании химических превращений, происходящих в некоторых веществах при воздействии ИИ;

сцинтилляционный — основан на использовании явления свечения некоторых веществ (например, иодистый натрий, иодистый калий, нафталин, антрацен и др.) при воздействии на них ИИ;

ионизационный — основан на использовании явления ионизации атомов вещества при взаимодействии с ними ИИ.

Таблица 5

Систематизация ДА по группам

Группы	Назначение аппаратуры	Основные виды ДА	Объекты радиационного контроля
Первая	Обнаружение ИИ в ОС; определение мощности доз на различных участках местности	Индикаторы радиоактивности; γ-сигнализаторы, приборы-измерители мощности доз, автоматизированные установки для систем радиационного контроля	Местность, ОС, строительные сооружения, тоннели, крупные транспортные объекты и др.
Вторая	Определенные степени радиоактивного заражения различных объектов, экспресс-анализ РЗ и продовольствия	Радиометры, высокочувствительные измерители мощности дозы	Подвижный транспорт, тара, одежда, заводское оборудование, вода, продовольствие
Третья	Контроль воздуха на содержание радиоактивных аэрозолей, газов и т. п.	Приборы-определители содержания радиоактивных веществ в воздухе	Воздушная среда вне и внутри помещения
Четвертая	Дозиметрический контроль облучения людей	Дозиметры (индивидуальные и групповые)	Люди (отдельные лица, группы)

Примечание. Специальная авиационная ДА для оснащения летательных аппаратов в данной статье не рассматривается.

Первая группа ДА. Фирмой "Харвелл" (Великобритания) разработан гамма-сигнализатор, который может быть встроен в распределительные устройства электрических цепей с токами до 13 А. Фоновое гамма-излучение вызывает редкие (порядка нескольких срабатываний в минуту) вспышки лампы оптического сигнального блока. При превышении фиксированного уровня гамма-излучения, равного 7,5 мкЗв/ч, прибор подает световой и звуковой сигналы. Величина порога срабатывания сигнальных устройств выбрана в соответствии с действующими в Великобритании нормами радиационной безопасности. Эти показатели регламентируют границы контролируемой зоны воздействия гамма-излучения, внутри которой для работающего персонала обязательно ношение индивидуальных дозиметров облучения [17].

Для оснащения армейских разведывательных многофункциональных химических машин (РХМ) типа "Фукс" (ФРГ) рекомендовано использовать автоматический бортовой прибор радиационной разведки типа ASG-1. Этот дозиметрический прибор является по существу широкодиапазонным датчиком для измерения мощностей доз радиоактивного заражения на местности (диапазон 10^{-2} — 10^{-3} сГр/ч). Имеются выносные зонды, смонтированные по бортам бронемашины; в комплекте прибора предусмотрены также экранирующие устройства к зондам (для исключения ложных сигналов), дублирующие шкалы отображения данных радиационной разведки, временной счетчик для приведения полученной информации к единому времени (при выводе на печать).

Бортовая система ориентирования дает возможность приводить к единому времени координатам местности результаты разведки, сокращать время остановок на зараженных участках и уменьшать общую дозу радиации, получаемую экипажем в ходе разведки.

В ФРГ запатентован способ и устройство для измерения параметров искусственного γ -излучения. Прибор предназначен для использования при проведении исследований в области радиационной безопасности ОС, обнаружения скрытых источников ИИ. Предлагаемый метод регистрации ИИ, явившийся основой новой ДА, базируется на применении новых типов органических сцинтилляторов — водных или пластиковых. Измеренное с помощью сцинтилляторов распределение амплитуд импульсов сравнивается с эталоном. Блок-схема устройства работает под управлением микропроцессора.

Согласно патенту США, предлагается гибридный люминесцентный прибор для визуализации (видимый свет) ионизирующих и проникающих излучений. Прибор отличается высокой эффективностью поглощения радиации и высоким пространственным разрешением, независимо от энергетического уровня радиации. Оригинальными элементами нового прибора являются волоконный оптический сцинтиллятор, выполненный из некристаллического аморфного материала, и люминофорный слой, нанесенный на входную грани сцинтиллятора [14, 17—21].

Вторая группа ДА. Для детального анализа радиоактивного заражения продовольствия, воды и

фуража используют обычно аналитические радиометрические лаборатории. В условиях такой лаборатории обрабатываются заранее приготовленные пробы сыпучих продуктов, мяса, рыбы, твердых жиров и т. д. Далее, из приготовленных проб приготавляются препараты путем заполнения ими специальных ванночек или нанесения на специальные подложки из алюминия. Радиометрические измерения проводят на специальных счетных установках*.

Недостатком этих методов является их большая трудоемкость, сложность и продолжительность каждого анализа. В связи с этим, изыскание новых высокоеффективных методов для радиологического экспресс-анализа указанных проб является в настоящее время одной из важнейших задач обеспечения радиационной безопасности населения и ОС.

По данным зарубежной печати, разработка быстродействующих приборов для радиологического экспресс-контроля пищевых продуктов ведется интенсивно в США, Великобритании и в других высоко развитых странах Запада. Так, в системе министерства сельского хозяйства США проводили натурные испытания ДА, предназначеннной для контроля степени радиоактивного заражения пищевых продуктов отходами атомной энергетики. Главное требование к такой ДА — быстрая реакция на внезапное (аварийное) заражение, а также достаточная чувствительность приборов, позволяющая устанавливать допустимый предел заражения. Уровень РЗ фиксируется с помощью высокочувствительного газоразрядного счетчика. Известно, что при авариях на АЭС могут выделяться несколько радионуклидов с различным периодом полураспада (T): йод-131 ($T = 8$ сут.), цезий-134 ($T = 2,2$ года), цезий-137 ($T = 30$ лет). Все они — бета- и гамма-излучатели, что позволяет вести радиометрический контроль с помощью гамма-детекторов. Наиболее сложные гамма-детекторы имеют полупроводниковые воспринимающие устройства и электронный анализатор спектра, позволяющий точно устанавливать вид РВ-излучения. Такие приборы сложны и требуют высококвалифицированного обслуживания. Отмечается эффективность фиксации наличия РВ по сцинтилляционным вспышкам облучаемых кристаллов йодистого натрия, которые регистрируются фотоэлементами, генерирующими электрические импульсы. Анализатор последних позволяет определить вид РВ и его концентрацию в продукте, подавляя окружающий фон излучения (если помешать образцы в свинцовый домик, фон уменьшается в 15 раз).

Мини-детекторы пригодны для первичного контроля степени радиоактивного заражения пищи. Их измеритель имеет шкалу для образца на 6—90 делений, сцинтилляционный счетчик типа 41 и контейнер для образца массой 8 кг. Измеритель-счетчик может считать вспышки со скоростью до 2000 с^{-1} . При измерениях сцинтиллятор погружают в продукт. Заражение выше 100—200 Бк/кг фиксируется со стандартной точностью 5—6 %. Детектор калибруется по цезию-137.

* Средства лабораторного радиологического анализа отобранных проб (воды, продовольствия, фуража и т. п.) в данной статье не рассматриваются.

Крупная английская фирма "Сименс Плесси контролз" занимает ведущее место в разработке дозиметрической аппаратуры военного и гражданского назначения. В печати сообщается, что в процессе модернизации выпускавшегося ранее портативного измерителя мощности дозы RDKM-82 создан новый радиометр RDKM-90, отличающийся повышенной чувствительностью (более чем в 1000 раз превосходит измеритель RDKM-82). Это позволяет использовать прибор не только для контроля эффективности выполнения рядовых дезактивационных работ командами аварийно-спасательной службы (или в процессе тренировки личного состава), но и использовать его в условиях ликвидации последствий крупных радиационных аварий типа Чернобыльской. Радиометр RDKM-90 размещается на груди оператора. В комплект прибора входит выносной датчик цилиндрической формы, соединенный с измерительным пультом спиральным кабелем.

Другой английской фирмой "Эберлайн" выпускается носимый радиометр модели 0339 с единой четырехдекадной логарифмической шкалой, проградуированной в импульсах в секунду. Диапазон измерений составляет 0,5–5000 имп/с. Возможно совмещение радиометра с различными выносными датчиками сцинтиляционного и ионизационного типов. Стрелочный измеритель прибора имеет дополнительную шкалу с верхним пределом измерения, соответствующим 1500 В, которая предназначена для контроля устанавливаемой вручную величины порогового напряжения. Предусмотрена также индикация работы детектора нажатием кнопки, вынесенной на лицевую панель. Прибор сохраняет работоспособность в диапазоне температур $-10 \div +50^{\circ}\text{C}$ и имеет массу 1,6 кг.

По сообщению фирмы "Нуклеар интерпрейс" (Великобритания) разработан новый контрольный дозиметрический монитор типа А-1 для радиометрического контроля различных сухих продуктов, материалов, отходов. Он способен обнаруживать в течение 10 с удельную активность в 1 нКи/кг кобальта-60. Имеет хорошо экранированные датчики. Прибор автоматически взвешивает образец продукта, измеряет его активность и показывает результаты на экране. Предусмотрено использование поправочных коэффициентов для разных типов продуктов. Имеются маркирующий резервуар, выдвижные емкости для хранения проб. Сигнальная система может срабатывать в диапазоне активностей 1÷5000 нКи/кг.

В Германии фирмой "Херфурт" разработан и выпускается промышленностью дозиметрический прибор типа "Микроконт", чувствительным элементом которого служит либо проточный пропорциональный счетчик, либо счетчик, заполненный ксеноном. Этот прибор предназначен для контроля степени заражения радиоактивными веществами различных поверхностей, в том числе: кистей рук, ступней ног и одежды персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений, а также тары с продовольствием. Фирма предлагает два варианта прибора "Микроконт" — стационарный и

портативный. Стационарный прибор имеет корпус, изготовленный из нержавеющей стали, видеоконтрольное устройство для отображения результатов измерений, а также съемный зонд для обследования зараженности различных участков поверхности тела человека. В портативном варианте прибора установлен встроенный детектор большой площади, имеется блок памяти на 100 результатов измерений, устройство сопряжения с принтером, а также разъем, позволяющий присоединять блок считывания полоскового кода. Прибор обладает способностью производить автоматическое вычитание из результатов измерений величины радиационного фона, а также отображать информацию о заражении поизотопно в $\text{Бк}/\text{см}^2$. Прибор допускает непрерывную эксплуатацию в течение длительного времени.

Немецкая фирма "FAG-Кугельфишер", являющаяся крупным производителем различной ДА, постоянно совершенствует свою продукцию. Сообщается о серийном выпуске новых гамма-радиометров серии FH, рекомендуемых в качестве средств радиометрического контроля различных объектов ОС. Так, телескопический гамма-радиометр FH-40-ЕЕ предназначен для измерения радиоактивной зараженности на расстоянии до 3,8 м (в 3 в/ч или Р/ч). Комплект прибора включает носимый упаковочный футляр для размещения радиометра с лямками и телескопическое устройство со счетной головкой-зондом на переднем конце. Общая масса прибора 3 кг. Чувствительность определения мощностей дозы $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ мкЗв}/\text{ч}$.

В США разработан новый дозиметрический прибор (типа радиометра) для измерения интенсивности γ -излучений с зараженных РВ поверхностей. Прибор отличается более высокой надежностью по сравнению с обычными счетчиками Гейгер-Мюллера. Новый прибор оснащен выходным устройством для нормализованного налогового сигнала в диапазоне 4—20 мА и аварийным звуковым извещателем о превышении заданного уровня излучения. Разработанные микросхемы обеспечивают возможность усиления и предварительную обработку сигнала. Они могут быть подключены к промышленному счетчику Гейгер-Мюллера модели MX 120/01, выпускаемому американской фирмой "Доррен Хейвуд". Рабочее напряжение прибора до 420 В, пороговое напряжение — 375 В, скорость измерения — 90 отсчетов за 1 мин.

Сообщается, что в США запатентовано изобретение, касающееся области идентификации и оценки количества радионуклидов в окружающей среде. Предлагаются способ и устройство для детекции ионизирующих излучений. Выходной сигнал детектора представляет собой полный набор данных комптоновского рассеивания. В качестве детектора может использоваться элемент из иодида натрия с фотоумножителем. Его сигналы обрабатываются процессором для регистрации поступающих данных в трехмерной матрице отсчета с координацией время — амплитуда импульсов — число измерений [14, 22—25].

Третья группа ДА. В г. Мюнхене (ФРГ) компанией "Аппаратенбау унд электроникстерьйт" разрабо-

тан и запатентован дозиметрический прибор, предназначенный для измерения концентраций радиоактивных аэрозолей в воздухе. Прибор основан на методе фильтрации взвешенных в воздухе частиц, причем его конструкция выполнена с расчетом на компенсацию возможных неплотностей фильтра. Этим достигается то, что погрешность измерений за счет подобных факторов практически не изменяется.

В журнале *Kerntechnik* (ФРГ) описана работа монитора (видеоконтрольного устройства) типа FHT-2000. Функционально она основана на новой методике дискриминантного анализа искусственных и естественных альфа-частиц независимо от степени концентраций радиоактивных бета-излучений. Данная методика была разработана и запатентована филиалом фирмы по радиационной измерительной технике. Альфа- и бета-частицы устанавливаются 200-мм фильтрами, а затем делаются замеры. Компенсационные коэффициенты при этом столь незначительны, что даже при постоянно меняющихся климатических условиях и уровнях естественного фона гарантируется устойчивая работа прибора. Экспериментально установленная граница загрязнения воздуха альфа-частицами лежит в пределах 20–30 мБк/м³. Высокая пропускная способность фильтра (80 м³/ч) гарантирует надежные результаты измерений при контроле за воздухом в очень больших помещениях. Кроме того, эта техника, использующая новую методику, позволяет фиксировать также незначительные концентрации бета-излучений. Все результаты измерений в виде графиков выводятся на цветной экран монитора. Дальнейшая обработка данных производится с помощью ЭВМ.

Шведская фирма "Алиор Инструмент" разработала новый прибор — определитель радона типа МЗА. Прибор позволяет производить измерение концентраций газа в диапазоне 1–10⁶ Бк/м³. Результаты измерений снимаются визуально или выводятся на печать [17, 26, 27].

Четвертая группа ДА. Фирмой "Эплфорд инструментс" (Великобритания) разработан карманный дозиметр AT-1, своей формой и габаритами напоминающий прямоугольный футляр для зубной щетки. Корпус дозиметра имеет пружинный зажим для крепления прибора к одежде. В верхней части корпуса над зажимом расположен цифровой индикатор дозы. Диапазон измерений составляет 0–999999 мкЗв. Конструкцией дозиметра предусмотрено наличие специально разработанных фильтров, компенсирующих зависимость его чувствительности от энергии ионизирующего излучения. Имеется встроенный блок сигнализации о превышении уровня радиации сверх установленного. Дозиметр AT-1 откалиброван с использованием фантома в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационным единицам. Предусмотрена сигнализация разряда батареи питания.

В ФРГ запатентовано оригинальное изобретение — перстень-дозиметр с термолюминесцентным детектором, рассчитанный на непосредственное измерение ионизирующих излучений, воздействующих на руку пользователя. Для снятия остаточной дозы применяется метод термической обработки детектора

(до t = 450 °C). При этом рекомендуется отделять детектор от самого перстня, не отличающегося достаточной термоустойчивостью. В дальнейшем предполагается внести ряд усовершенствований в конструкцию дозиметра, направленных на то, чтобы все операции по измерению набранной дозы, нейтрализации остаточной дозы и т. п. проводились бы без снятия перстня-дозиметра с руки пользователя. Авторы изобретения приводят вариант конструктивного оформления дозиметра.

В ФРГ запатентован также дозиметр рентгеновского излучения, включающий фотоэлемент, закрытый люминесцирующим (CS) составом и частично свинцовым фильтром, и микропроцессор. Последний по сигналам фотоэлемента преобразовывает их в цифровую форму, а затем рассчитывает суточную и суммарную дозу облучения, вырабатывает сигнал тревоги. Полученная информация выводится на цифровой дисплей с помощью клавиатуры, которая одновременно служит для работы со встроенным вычислительным устройством. Путем замены люминофора можно измерять также интенсивность и других видов излучений. Калибровка детектора проводится с использованием стандартного источника излучений.

Сообщается о патенте ФРГ на изобретение — способ и устройство для измерения особо малых доз облучения потоками ионизирующих частиц больших энергий. В частности, устройство рекомендуется использовать при облучении нейтронами, электронами, гамма-рентгеновскими квантами. Прибор работает в реальном масштабе времени, в том числе при облучении человеческого организма. В качестве детектора служит плоскопараллельный слой (толщиной 0,1–0,5 мкм), создаваемый на поверхности стеклянной подложки путем имплантации Si-ионов энергией 50–150 кэВ (при дозе (2–5)·10¹⁷/см²). Суть метода состоит в том, что для каждой длины волны уровни преломления слоя и подложки неодинаковы, в результате чего образуется резонатор Фабра-Перо. Толщину слоя выбирают такой, чтобы резонатор работал на краю характеристики отражения и пропускания. Под действием измеряемого ионизирующего облучения изменяется комплексный показатель преломления слоя. Поэтому при воздействии на слой сфокусированного лазерного пучка с модулированной интенсивностью происходят периодические изменения снимаемого с резонатора фототермического сигнала, пропорционального дозе облучения. Коэффициент пропорциональности определяется путем калибровки устройства.

Рассматриваются особенности разработанного в г. Ханау (Германия) нового сканирующего измерительного прибора для контроля γ-ионизирующих излучений. Указанная ДА позволяет снизить дозу облучения персонала АЭС. Показано, что данный прибор работает в автоматическом режиме. Он успешно выдержал испытания при экспериментальной проверке в течение суток. Отмечено многообразие сфер его применения. Измерительные элементы TGS этого прибора включают в свой состав сцинтилирующий кристалл из Cs(Ti), фотоумножитель и усилитель. Диапазон измерения головки TGS 0,370–7400 МБк для Cs-137 на расстоянии 1 м. Коллиматор прибора выполнен из ванадия. В состав прибора входят: цветная видеокамера, электронные

устройства для управления электропроводами, перемещающими головку по горизонтали (-335°) и по вертикали (-55°+85°). Пульт управления прибора состоит из цветного монитора для оптического контроля процесса измерения, а также компьютерного устройства для обработки поступающих данных.

Согласно французской заявке на изобретение, предлагается групповой дозиметр для анализа рентгеновского и γ -излучений низкого уровня. В дозиметре используются два детектора указанных излучений с разными откликами на поглощенную дозу малой энергии. Под такой дозой понимаются значения в пределах 10–50 кэВ. Указанное дозиметрическое устройство рекомендуется использовать при исследовании степени защищенности людей от радиоактивного облучения. Детекторы выдают сигналы, уровни которых определяются дозой поглощенной ими энергии. В дозиметре имеется электронный блок для обработки этих сигналов, что обеспечивает определение поглощенной тканями человеческого тела доз.

В Канаде разработан новый γ -дозиметр на базе MOSFET-ячейки, использующий плавающий поликремневый затвор, несущий генерированные излучающие заряды. Новая структура обеспечивает захват радиационно-генерированных зарядов плавающим поликремневым затвором раньше, чем они будут захвачены оксидом. Это обеспечивает хорошую линейность дозиметра при больших дозах. Если управляющий затвор и подложка находятся при потенциале заземления, то при наличии заряда на плавающем затворе он будет иметь потенциал, пропорциональный заряду по отношению к заземлению. Изготовители отмечают преимущества нового дозиметра. Чувствительность его оценивается уровнем 280 мВ·Гр⁻¹. Она была определена в процессе облучения дозиметра на реальном ИИИ (кобальт-60).

По данным американской печати, в США разработан новый высокочувствительный дозиметр, предназначенный для исследований источников β -излучений с максимальной энергией не более 1 МэВ. В качестве дозиметрического материала используется CaSO_4Dy (0,1 %), синтезированный в Барселонском университете (Испания). Основная часть порошка имеет кристаллический вид, размеры кристаллов 20–150 мкм. Дозиметр представляет собой детектор, состоящий из слоя сернокислого кадмия (60 мг·см⁻²), напрессованного на алюминиевую фольгу (84 мг/см и диаметром 7 мм) и 5 мг·см⁻² полиэтиленового фильтра. Изготовители считают, что дозиметр может использоваться в качестве эквивалентного тканевого материала в радиационных полях с энергией 200 кэВ. Дозиметр имеет плавную характеристику в диапазоне энергий 0,76–2,27 МэВ при углах 0°–40° и уменьшает чувствительность до 10 % при угле 60° [17, 28–34].

* * *

В заключение следует подчеркнуть, что на протяжении последнего десятилетия практически во всех высокоразвитых странах мира предпринимались соответствующие меры для улучшения радиационной

обстановки не только в локальных районах радиоактивного заражения, но и в региональных, а в ряде случаев и в общегосударственных масштабах. Были введены в действие многие законоположения, правовая и нормативная документация по проблемам ядерной и радиационной безопасности, решались технические и организационные вопросы совершенствования систем радиационного контроля.

К разработке новых и модернизации имеющихся средств радиационной разведки, различных видов дозиметрической аппаратуры привлечено множество зарубежных промышленных фирм, научно-исследовательских и опытно-конструкторских организаций, испытательных полигонов.

На основе рассмотрения и анализа отечественных и зарубежных источников (1990–1999 гг.) могут быть определены некоторые характерные тенденции в данной области, направления дальнейших работ по совершенствованию и модернизации ДА различного назначения. В первую очередь следует отметить:

- широкое использование в разрабатываемых средствах радиационного контроля новейших достижений современной науки и техники (микропроцессоры, лазеры, компьютеры, полупроводники и т. п.);
- повышение надежности аппаратуры и удобства работы операторов с приборами, особенно в экстремальных условиях, при чрезвычайных ситуациях;
- миниатюризацию (в отдельных случаях и унификацию) образцов различного назначения; при максимальном сохранении основных техноЭкономических и эксплуатационных характеристик приборов;
- использование в приборах (на шкалах, высвечивающихся экранах дисплея и т. п.) только принятых в настоящее время международных единиц измерения ионизирующих излучений (зиверт, грэй, беккерель и т. п.);
- ассимиляцию ряда образцов дозиметрической аппаратуры военного назначения в гражданской сфере.

1. Федеральный закон РФ "О радиационной безопасности населения", 1996.
2. Нормы радиационной безопасности НРБ-96. Гигиенические нормативы ГН 26.1.054–96. — М.: Госкомэпиднадзор России, 1996. — 127 с.
3. Положение о Государственном учете и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в РФ, 11.11.99, № 1976//Российская газета, 9.12.99. С. 6.
4. Государственный доклад "О состоянии окружающей природной среды РФ в 1993 году"/Зеленый мир, 1994. № 26. С. 12.
5. Там же, 1998. № 28. С. 8–11.
6. Экология промышленного производства, 1998. № 1–2. С. 13–18.
7. Там же, 1996. № 2. С. 4–19.
8. Там же, 1995. № 1. С. 11–22.
9. Там же, 1997. № 3–4. С. 30–45.
10. Зеленый мир, 1998. № 25. С. 20.
11. Там же. С. 20.
12. Экология промышленного производства, 1999. № 3. С. 12–15.
13. Кореннов И. П., Польских О. Г., Саболев И. А. Радон в коммунальных и промышленных сферах, проблемы нормирования, биологическое действие, методика измерения. — М., 1993. С. 211.
14. Чрезвычайные ситуации и гражданская оборона за рубежом, 1992. № 1–2. С. 38–39, 42–43.
15. Atomwirt. — Atomtechn., 1996. V. 41. № 6. S. 437–438.
16. International Civil Defence Journal, 1990. V. 3. № 3. P. 31.
17. Kerntechnik, 1996. V. 56. № 1. S. 55.

18. Рекламная информация фирмы "Тиссен-Хеншель", Henchell Wehrtechnik Post. Fach 102269.
19. Экология промышленного производства, 1993. № 2. С. 21—26.
20. Заявка 14711124, Германия, МПК⁶ GOIT 1/36. № 147111246; Заявл. 10.3.97; Опубл. 6.11.97.
21. Пат. 5.594253, США, МПК⁶ GOIT 1/20. № 650225; Заявл. 20.05.96; Опубл. 14.01.07, НПК 950.
22. Defence, 1990. V. 26. № 10. Р. 3.
23. Пат. 5354991, США, МПК⁶ GOIT 1/101. № 24553; Заявл. 1.03.93; Опубл. 11.10.97.
24. Elektron. World, 1998, May. P. 462—466.
25. Гражданская оборона, 1990. № 3. С. 40—46.
26. Чрезвычайные ситуации и гражданская оборона, 1992. № 5—6. С. 40.
27. Kerntechnik, 1990. № 6. S. 384.
28. Заявка 2753278. Франция, МПК⁶ GOIT 1/163. № 9611084; Заявл. 11.09.96; Опубл. 13.03.98.
29. Atomvirt. — Atomtechn., 1997. V. 42. № 7. S. 465—468.
30. Заявка 19643641, Германия, МПК⁶ GOIT 1/102. № 196436419; Заявл. 22.10.96; Опубл. 19.03.98.
31. Fanet. Mater., 1997. № 3. Р. 433—446.
32. Radiat. Prot. Dosim. 1996. № 3. Р. 433—446.
33. Canad. Phys. 1996. V. 74. Suppl. Р. 135—138.

В. С. Стакорский, нач. сектора Государственного унитарного предприятия "Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации — федеральный информационно-аналитический центр обороны промышленности", Москва.

Д. А. Тюрин, нач. лаборатории Государственного унитарного предприятия "Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации — федеральный информационно-аналитический центр обороны промышленности", Москва.