

# Оптимизация параметров блоков измерения для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов в различных средах

Рассмотрены требования к современной аппаратуре для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов распада (ДПР). Выбран оптимальный набор блоков измерения, которые необходимо использовать для комплексного решения задач мониторинга согласно требованиям нормативных документов. Указанный подход реализован при разработке измерительного комплекса «Альфарад плюс». Представлены метрологические и технические характеристики комплекса, которые позволяют расширить функциональные возможности при обследовании жилых и производственных помещений.

**Ключевые слова:** радон, торон, дочерние продукты распада, мониторинг, блок измерения, коэффициент равновесия.

А.А.Афонин, А.И.Корчунов (ООО «НТМ-Защита», г. Москва), А.А.Котляров, В.Ю.Чесноков (НИЯУ МИФИ, г. Москва)

**Н**ачиная с 1993 г., приборостроительная компания ООО «НТМ-Защита» разрабатывает и выпускает радиометры для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов распада. За почти двадцатилетний период производства выпущены радиометры радона РРА-01М-01 («Альфарад»), РРА-01М-03, интегральный радиометр радона РГА-04, радиометр аэрозолей РАА-10, радоновая станция СРС-01/05, пробоотборное устройство ПОУ-04. Постоянно ведутся работы по усовершенствованию существующих моделей радиометров с целью улучшения их технических характеристик и расширения функциональных возможностей. Согласно нормативным документам, регламентирующим уровни облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения, современные мониторы

должны обеспечивать измерения следующих характеристик в контролируемой среде:

- объемная активность (ОА) радона, торона и их дочерних продуктов распада в воздухе;
- эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона и торона в воздухе жилых, общественных и производственных зданий и сооружений;
- ОА радона в источниках питьевого водоснабжения и питьевой воде;
- плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения при выполнении проектных радиационно-экологических изысканий на участках застройки с целью оценки их потенциальной радиоопасности;
- ОА радона в почвенном

воздухе.

Для обеспечения современных требований к радиометрической аппаратуре мониторы должны обеспечивать следующие функции:

- наличие блоков измерения ОА и ЭРОА, работающих в спектриметрическом режиме;
- наличие энергонезависимой памяти и возможность автоматизированной обработки полученных результатов;
- удобное представление результатов измерений на экране;
- удобный интерфейс управления и возможность интеграции в современные коммуникационные системы;
- наличие пробоотборных устройств для измерений ОА радона в различных средах;
- наличие тестовых режимов, контролирующих работоспособность блоков измерения и управления.

С учетом вышеперечисленных требований была разработана новая серия радиометров, входящая в состав измерительного комплекса для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс». В состав комплекса входит блок измерения эквивалентной объемной активности (ЭРОА) радона и торона, блок измерения ОА, автономная воздуходувка АВ-07 с таймером и набор пробоотборных устройств для измерения ОА радона в пробах воды, воздуха, почвенного воздуха, а также ППР с поверхности грунта.

#### Блок измерения ЭРОА ДПР радона и торона.

Работа блока измерения ЭРОА ДПР радона и торона основана на осаждении дисперсной фазы радиоактивных аэрозолей на фильтр АФА-РСП-3 с последующим  $\alpha$ -спектрометрическим анализом пробы. Объемная скорость прокачки пробы контролируется и регулируется электронным ротаметром и составляет 10 л/мин. Особенностью блока является электрический привод фильтродержателя, с по-

мощью которого происходит перемещение фильтра с позиции отбора пробы на позицию измерения и обратно [1]. Управление перемещением производится автоматически или оператором с клавиатуры прибора, что существенно уменьшает занятость оператора при проведении измерений. В базовой версии предусмотрено несколько режимов измерений, которые позволяют оптимизировать время измерений в зависимости от реальных уровней ОА ДПР. Возможен вывод полученных альфа-спектров на дисплей блока регистрации и индикации.

#### Блок измерения ОА радона и торона в воздухе.

Разработана оптимальная конструкция измерительной камеры, принцип действия которой основан, как и в предыдущих моделях радиометров, на электроосаждении ионов ДПР на поверхность детектора. Взаимодействие ионов с парами воды, которые всегда имеются в пробах, оказывает влияние на чувствительность [2]. Для устранения этого эффекта предусмотрены подготовка воздушной пробы радо-

Табл. 1. Метрологические и технические характеристики комплекса.

Наименование характеристики	Значения характеристики
<b>Блок измерения ЭРОА</b>	
Диапазон измерения ЭРОА радона, Бк·м <sup>-3</sup>	от 1 до 10 <sup>6</sup>
Диапазон измерения ЭРОА торона, Бк·м <sup>-3</sup>	от 0,5 до 10 <sup>4</sup>
Предел допускаемой основной относительной погрешности, %	± 30
<b>Блок измерения ОА</b>	
Диапазон измерения ОА радона-222 в воздухе, Бк·м <sup>-3</sup>	от 1 до 2·10 <sup>6</sup>
Диапазон измерения <sup>216</sup> Po(ThA), имп./с	от 10 <sup>-3</sup> до 10 <sup>2</sup>
Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения объемной активности радона-222 в воздухе, %	± 20
Диапазон измерения ОА радона-222 в пробах воды, Бк·л <sup>-1</sup>	от 6 до 800
Предел допускаемой относительной погрешности при измерениях ОА радона-222 в воде, %	± 30
Диапазон измерения плотности потока радона с поверхности грунта, мБк/с·м <sup>2</sup>	от 20 до 10 <sup>3</sup>
Предел допускаемой относительной погрешности при измерениях плотности потока радона-222 с поверхности грунта, %	± 30
Диапазон измерения ОА радона-222 с предварительным отбором проб воздуха в пробоотборники, Бк·м <sup>-3</sup>	от 20 до 10 <sup>7</sup>
Предел допускаемой относительной погрешности при измерениях ОА радона-222 с предварительным отбором проб воздуха в пробоотборники, %	± 30
Диапазон измерения ОА радона-222 в пробах почвенного воздуха, Бк·м <sup>-3</sup>	от 10 <sup>3</sup> до 10 <sup>6</sup>
Предел допускаемой относительной погрешности при измерениях ОА радона-222 в почвенном воздухе, %	± 30
<b>Общие технические характеристики</b>	
Диапазон индикации температуры, °С	от 0 до 50
Диапазон индикации относительной влажности, %	от 10 до 95
Диапазон индикации атмосферного давления, мм.рт.ст.	от 700 до 820

на перед поступлением в измерительную камеру и контроль относительной влажности и температуры проб воздуха с помощью датчиков для коррекции показаний блока измерения. Влажность воздуха в отбираемой пробе можно снизить путем предварительной прокачки через фильтр-осушитель.

**Блок регистрации и индикации.** Электрические импульсы, образующиеся под воздействием альфа-частиц на детекторе, усиливаются зарядочувствительным предусилителем, поступают на вход АЦП и далее обрабатываются встроенным одноплатным РС-компьютером. Результаты измерений выводятся на цветной жидкокристаллический экран и сохраняются в энергонезависимой памяти.

Наличие одноплатного РС-компьютера в составе комплекса позволяет задавать различные режимы измерений, проводить обработку результатов, тестировать режимы работы блоков, представлять результаты измерений и хранить их в удобном виде – сбрасывать информацию на флэш-память, по сети или на персональный компьютер (USB-порт). Сенсорный цветной дисплей высокого разрешения позволяет выводить данные на экран в виде графиков. При этом появляется дополнительная возможность – в процессе измерений обрабатывать информацию о поведении изотопов радона и их ДПР в контролируемых помещениях и анализировать динамику изменения коэффициента равновесия  $F$  непосредственно в ходе измерений.

Наличие блоков детектирования на основе ППД, совмещенных с АЦП, позволяет регистрировать содержание нуклидов в спектрометрическом режиме и проводить селективные измерения радона, торона и их ДПР в отобранных пробах. «Альфарад плюс» может использоваться в полевых условиях, так как его энергоснабжение осуществляется от автономного источника питания.

**Автономная воздуходувка АВ-07.** В комплекс входит автономная воздуходувка с таймером, оснащенная различными пробоотборными устройства-

**Табл.3.** Значения коэффициентов равновесия, полученные расчетным и экспериментальным путем.

	$F(\lambda)$	$F_{\text{экс}}$	$F_{\text{экс}} / F(\lambda)$
Радоновая комната (объем 16 м <sup>3</sup> )	0,34	0,49±0,17	1,44
Герметичный бокс (объем 2 м <sup>3</sup> )	0,24	0,06±0,02	0,25

**Табл.2.** Модификации комплекса.

Модификация	ОА	ЭРОА	ППР; ОА радона в воде	Автоматизированная работа
Альфарад плюс А		+		+
Альфарад плюс Р	+			+
Альфарад плюс Р + (АВ-7)	+		+	+
Альфарад плюс АР	+	+		+
Альфарад плюс АР + (АВ-7)	+	+	+	+

ми, которые позволяют проводить отбор проб радона в различных средах (вода, воздух, почвенный воздух) и измерять ОА радона в пробах воды, почвенном воздухе, плотность потока радона с поверхности грунта.

**Метрологические и технические характеристики комплекса** представлены в табл.1.

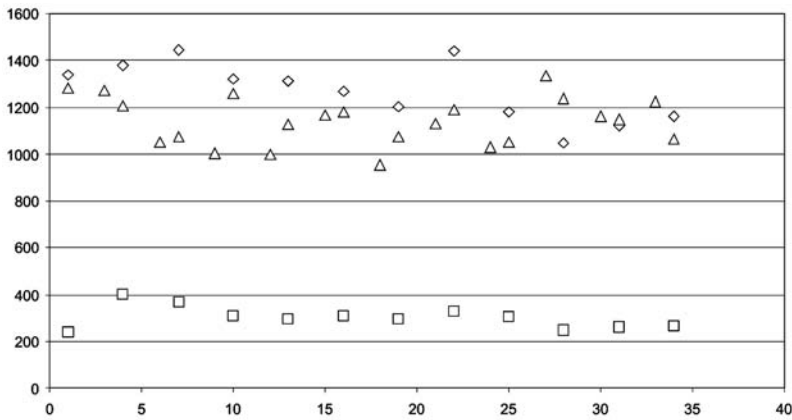
**Модификации комплекса.** Комплекс «Альфарад плюс» выпускается в составе модификаций, указанных в табл.2, что позволяет пользователям оптимизировать свои затраты и подбирать варианты комплектации под требуемый набор решаемых задач.

**Режимы измерений.** Режимы измерений подразделяются на «стандартные измерения» и «комплексные измерения». В «стандартные измерения» входят основные режимы, с помощью которых решается основной круг задач при инспекционных измерениях. Комплексные измерения позволяют проводить непрерывный мониторинг ОА радона и ДПР в воздухе с периодическим отбором проб, использовать различные пробоотборники для измерения ОА радона в различных средах, оценить содержания торона в пробах. Пользователь может выбрать комбинацию из стандартных режимов и включить их в периодический цикл с заданным количеством измерений. На рис.1 представлены результаты мониторинга ОА радона и ДПР, полученные в изолированной «радоновой комнате» объемом 16 м<sup>3</sup> со стационарным уровнем ОА радона в воздухе.

Согласно НРБ-99/2009, в воздухе жилых и производственных помещений нормируется уровень дочерних продуктов распада радона и торона, ЭРОА:

$$\begin{aligned} \text{ЭРОА} &= \text{ЭРОА}_{\text{Rn}} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{Tn}}; \\ \text{ЭРОА}_{\text{Rn}} &= 0,105 \cdot A_{\text{RaA}} + 0,515 \cdot A_{\text{RaB}} + 0,380 \cdot A_{\text{RaC}}; \\ \text{ЭРОА}_{\text{Tn}} &= 0,913 \cdot A_{\text{ThB}} + 0,087 \cdot A_{\text{ThC}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Также возможна оценка ЭРОА радона по измеренной величине ОА радона:



**Рис. 1.** Результаты мониторинга ОА радона и ДПР в замкнутом объеме с постоянной подпиткой активности от источника радона ( $\Delta$  –  $A_{Rn}$  – ОА радона;  $\diamond$  –  $A_{RaA}$  – ОА RaA;  $\square$  –  $A_{RaC}$  – ОА RaC).

$$\text{ЭРОА}_{Rn} = F_{Rn} \cdot A_{Rn}, \quad (2)$$

где  $F_{Rn}$  – коэффициент равновесия между радоном и его ДПР.

В странах, где активно решаются вопросы, связанные с защитой населения от природных источников излучения, в последнее десятилетие появились работы, в которых используется всесторонний подход к радоновым обследованиям жилых и производственных помещений. Основная проблема при оценке дозового воздействия от ДПР радона и торона заключается в корректной оценке среднегодового уровня ЭРОА радона и торона. Единственным реальным методом получения комплексной и достоверной информации по дозовым нагрузкам от изотопов радона и торона является совместное использование (сочетание) методов измерения ОА радона и торона и аспирационного метода измерения ЭРОА.

При радиационном обследовании жилых и производственных помещений по ОА радона для перехода к ЭРОА целесообразно определить коэффициент равновесия для типовых зданий. Для этого необходимо провести одновременные измерения ОА и ЭРОА и по формуле (2) рассчитать коэффициент равновесия [3].

В настоящее время в России для оценки величины коэффициента равновесия применяется методика, основанная на использовании результатов измерений  $A_{RaA}$ ,  $A_{RaC}$ , полученных с помощью аспирационного метода. При этом, для наиболее типичного для жилых помещений диапазона значений постоянных уноса и осаждения ДПР на поверхностях ( $\lambda_\gamma = 0-2 \text{ ч}^{-1}$  и  $\lambda_\chi = 0-100 \text{ ч}^{-1}$ ) вычисляются ожидаемые значения сдвига равновесия между отдельными ДПР радона и самим радоном. Считается, что это

позволяет избежать ряда систематических погрешностей, которые вносят скорость прокачки воздуха, эффективность регистрации детектора, эффективность отбора аэрозолей фильтром [4]. Правомочность такого подхода сомнительна, так как коэффициент равновесия зависит не только от кратности воздухообмена в помещении, но и от вероятности осаждения ДПР на окружающих поверхностях, наличия турбулентных потоков воздуха в помещении и т.д. Поэтому, в каждом отдельно взятом условиях необходимо проводить измерения коэффициентов равновесия путём одновременных измерений

ОА и ЭРОА радона с помощью двух блоков измерения, принцип работы которых различен.

В табл.3 представлены экспериментальные значения  $F_{\text{эксп}}$ , полученные посредством одновременных измерений ОА и ЭРОА с помощью комплекса «Альфарад плюс», а также расчетные значения  $F(\lambda)$ , полученные с помощью аспирационного метода по результатам измерений  $A_{RaA}$ ,  $A_{RaC}$ . Измерения проводились в модельных условиях, когда поддерживалась постоянная ОА радона в ограниченном объеме.

Анализ полученных данных показывает, что наибольшие расхождения между значениями  $F_{\text{эксп}}$  и  $F(\lambda)$  проявляются, когда вероятность осаждения ДПР на поверхности велика – ограниченное пространство и наличие турбулентных потоков воздуха. Источником систематической погрешности определения  $F(\lambda)$  является неизвестное соотношение между величинами  $\lambda_\gamma$  и  $\lambda_\chi$ . Поэтому в каждом отдельно взятом условиях необходимо проводить измерение коэффициента равновесия путём одновременных измерений ОА и ЭРОА.

#### Основные выводы.

1. Метрологические и технические характеристики комплекса «Альфарад плюс» обеспечивают все виды измерений, предписанные нормативными документами для мониторинга радона, торона и их ДПР в различных средах.

2. Измерительный комплекс соответствует всем требованиям к современным приборам радиационного контроля. Блоки измерения ОА и ЭРОА радона и торона работают в спектрометрическом режиме. Комплекс оснащен встроенным одноплатным РС-компьютером и сенсорным цветным дисплеем высокого разрешения, который позволяет проводить длительные измерения в автоматическом ре-

жиге, тестировать режимы работы блоков, обрабатывать результаты, накапливать их и при необходимости сбрасывать информацию на флэш-память, по сети или на персональный компьютер (USB-порт).

3. «Альфарад плюс» позволяет осуществить комплексный подход к радоновым обследованиям жилых и производственных помещений. Наличие блоков измерения ОА и ЭРОА позволяет непосредственно получать значения коэффициентов равновесия F между радоном и ДПР в различных типах помеще-

ний непосредственно в ходе обследований, накапливать базу данных, что важно для корректной оценки среднегодового уровня ЭРОА.

4. Комплекс «Альфарад плюс» имеет свидетельство об утверждении типа средства измерения RU.C.38.002A № 45439 и зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ под №49013-12. Имеет варианты комплектации под любой набор задач.

## Литература

1. Кузнецов Ю.В., Курепин А.Д. Приборное обеспечение измерений эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона. АНРИ №1(24), 2001. С. 38-42.
2. Афонин А.А., Котляров А.А., Максимов А.Ю. Методы и средства контроля объемной активности изотопов радона в различных средах на основе камер с электроосаждением. АНРИ №2(53), 2008. С. 82-85.
3. Кузнецов Ю.В., Ярына В.П. Величины для нормирования радиационной опасности радона и их измерения. АНРИ №2(25), 2001. С. 4-8.
4. Жуковский М.В., Ярмошенко И.Я. Радон: измерения, дозы, оценка риска. г. Екатеринбург, 1997.

## Optimization of Parameters of Measuring Units for Monitoring of Radon, Thoron and their Daughter Products in Different Environments

A.A.Afonin, A.I.Korchunov (LLC "NTM-ZASHHITA" str., Moscow), A.A.Kotlyarov, V.Yu.Chesnokov  
(national research nuclear University MEPhI, Moscow.)

**Abstract.** The requirements to modern equipment for monitoring of radon, thoron and their daughter products of decomposition. The best choice of a set of units of measurement to be used for the complex decision of tasks of monitoring according to the requirements of normative documents. The approach is implemented in the development of measuring complex "Alfarad plus". Presented metrological and technical characteristics of the complex, which allow you to expand the functionality of the surveys of residential and industrial premises.

**Key words:** radon, toron, daughter decay products of, monitoring, measuring unit, the ratio of balance.

А.А.Афонин (зам.тех.дир.), А.И.Корчунов (инж.-прогр.) – ООО «НТМ-Защита», г. Москва;  
А.А.Котляров (к.ф.-м.н., с.н.с.), В.Ю.Чесноков (вед. инж.) – НИЯУ МИФИ, г. Москва.

Контакты: тел. +7 (495) 500-03-00; e-mail: aleksey.a@mail.ru.