

Оценка возможности корректного измерения активности радионуклидов йода с помощью NaI сцинтилляционных гамма-спектрометров

Показана возможность корректного определения значений активности каждого радионуклида в композиции ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{133}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe и ^{222}Rn в равновесии с дочерними продуктами при измерении ее на NaI гамма-спектрометре с последующей обработкой спектров с помощью программы «Na Spectra Analysis System» – SAS Na M3, реализующей модифицированный матричный метод. В программе SAS Na M3 применяются алгоритмы и вспомогательные программные средства, в значительной степени обеспечивающие решение проблем, присущих обычному матричному методу. В результате обработки спектра программа SAS Na M3 самостоятельно определяет радионуклидный состав образца, величины активности обнаруженных радионуклидов и их погрешности, а также делает верхнюю оценку величины активности остальных радионуклидов, входящих в рабочую библиотеку, но не обнаруженных в исследуемом образце. Значения нижней границы диапазона измеряемых таким образом активностей составляют $\sim 0,6$ Бк/измерительный образец для радионуклидов ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I и ~ 2 Бк/измерительный образец для радионуклида ^{135}I за 1 час измерений на гамма-спектрометре с детектором NaI(Tl) $\varnothing 3'' \times 3''$.

Ключевые слова:

радионуклиды йода, радионуклиды ксенона, NaI сцинтилляционный гамма-спектрометр, модифицированный матричный метод обработки спектров, программа SAS Na M3.

**В.В.Дровников, Н.Ю.Егоров,
В.М.Живун, А.В.Кадушкин,
В.В.Коваленко**

(Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – НИЯУ МИФИ. Лаборатория «Ядерно-физические технологии радиационного контроля» – НИЛ ЯФТРК, г. Москва)

В современных условиях развития и функционирования ядерной промышленности актуальной практической задачей остается измерение активности радионуклидов йода в атмосферном воздухе и в выпадениях на подстилающую поверхность. При этом подразумевается необходимость измерений как свежей многокомпонентной смеси радионуклидов йода типа ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , в т. ч. в полевых условиях [1], так и одного относительно долгоживущего радионуклида ^{131}I [2,3]. И в том, и в другом случаях в измерительном образце могут дополнительно

присутствовать другие гамма-излучающие радионуклиды как естественного, так и техногенного происхождения [1-3].

Практический интерес представляет решение «йодных» задач с помощью сцинтилляционных гамма-спектрометров с детекторами NaI. Однако из-за относительно невысокого энергетического разрешения детектора NaI при традиционных подходах к обработке спектров могут возникнуть проблемы, обусловленные нетривиальностью спектра гамма-излучения осажденной на фильтр свежей смеси радионуклидов йода и различными мешающими факторами [4,5]. Так, предложенный в [2,3] подход оказывается работоспособным для измерения только ^{131}I и вынужденно базируется на субъективном решении оператора о наличии или отсутствии в спектре пика полного поглощения ^{131}I .

В [4-6] было показано, что обозначенные выше проблемы могут быть успешно решены за счет применения специализированных программно-методических средств обработки и анализа спектрометрических данных.

Рассмотрим возможность применения разработанной в НИЛ ЯФТРК программы *SAS Na M3* [4-6] для обработки данных, получаемых при измерениях объемной активности радионуклидов йода в диапазоне $3,7 \div 3,7 \cdot 10^6$ Бк/(м³ атмосферного воздуха) путем радионуклидного анализа йодных сорбционных фильтров на NaI гамма-спектрометре [1]. Оценка будет основываться на анализе результатов обработки NaI аппаратурных спектров источников гамма-излучения, представляющих собой смеси радионуклидов ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{133}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe и ^{222}Rn в равновесии с дочерними продуктами.

Очевидно, что получение экспериментальных аппаратурных спектров гамма-излучения калибровочных источников «смесь радионуклидов ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{133}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe и ^{222}Rn в равновесии с дочерними про-

дуктами» путем измерения реальных источников представляет собой достаточно сложную и многоплановую задачу.

В связи с этим, вместо экспериментальных спектров обрабатывались рассчитанные с помощью программы *SAS SMFD* [5-7] аппаратурные спектры «йодных» смесей, статистическая природа которых идентична статистической природе спектров, измеренных на гамма-спектрометре, т. е. с пуассоновским распределением числа отсчетов в каналах. Соответственно, обработка таких спектров может проводиться с помощью методов и программ, применяемых для анализа экспериментальных спектров, а оценка погрешностей получаемых результатов – обычными статистическими методами.

Корректность такого подхода была подтверждена при разработке гамма-спектрометра NaI ПАК-01, предназначенного для контроля, в т. ч. оперативного, допустимых сбросов и выбросов АЭС [4-7]. Оценки чувствительности, полученные на основе анализа расчетных спектров, совпали с результатами натурных испытаний. Было показано, что минимальные определяемые за 1 час активности составляют не более ~ 0,5 Бк каждого радионуклида, входящего в состав композиции ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{137}Cs , ^{134}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{95}Zr ; ^{95}Nb , ^{51}Cr , ^{59}Fe , находящейся на аэрозольном фильтре [7]. Контроль правильности определения радионуклидного состава измерительного образца и значений активности радионуклидов в этих экспериментах выполнялся посредством сравнения результатов измерения одних и тех же образцов на NaI ПАК-01 и низкофоновых HPGe гамма-спектрометрах ЛВРК НВ АЭС и НИЛ ЯФТРК. Корректность такого контроля обеспечивалась, в свою очередь, различными перекрестными калибровками HPGe гамма-спектрометров ЛВРК и НИЛ ЯФТРК [7].

Соотношения активностей радионуклидов йода и ксенона в источнике были равны соотношению активностей этих радионуклидов

в нефракционированной смеси продуктов деления ^{235}U в реакторе на тепловых нейтронах после кампании 3 года и выдержки 0 часов [9], при этом абсолютные значения активности радионуклида ^{131}I варьируются в диапазоне 0,1÷100 Бк. Включение в состав источника радионуклида « ^{222}Rn в равновесии с дочерними продуктами» обусловлено тем, что его вклад в аппаратурный спектр источника может оказаться сравнимым с вкладом радионуклидов йода и ксенона, т. к. объемная активность радона, эффективно осаждающегося на йодных фильтрах, может достигать величины 100 Бк/(м³ воздуха). Наихудшее, в смысле помех определению активности ^{131}I , отношение активности ^{131}I к активности ^{222}Rn в равновесии с дочерними продуктами, использованное в данных расчетах, равно 1:100.

Выдержка 0 часов в определенном смысле соответствует залповому выбросу смеси радионуклидов йода с мгновенным разрушением всех барьеров удержания продуктов деления в реакторе и прекращением процесса деления. Образующийся в этом случае аппаратурный спектр в смысле его обработки самый сложный, т. е. позволяет оценить предельные возможности NaI спектрометра и методов обработки экспериментальных данных.

Уточним, что явных проблем, обусловленных малой активностью измерительного образца, ожидать не приходится, т. к. при скорости прокачки воздуха через фильтр 1 литр в секунду, времени прокачки 1 час и близком к 100% осаждению радионуклидов йода на фильтре активность фильтров, подлежащих измерению, будет составлять ~ 10÷10⁷ Бк.

Общая схема оценки возможности использования NaI спектрометра для радионуклидного анализа йодных смесей выглядит следующим образом.

На первом этапе с помощью программы *GEANT4* [8] были рассчитаны аппаратурные спектры каждого из следующих радионуклидов

^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{133}Xe , ^{135m}Xe , ^{135}Xe в геометрии «тонкий диск Ø 52 мм на торце цилиндрического детектора NaI(Tl) Ø3"×3", находящегося в низкофоновой защитной камере».

Спектр радионуклида « ^{222}Rn в равновесии с дочерними продуктами» был получен непосредственным измерением источника ^{226}Ra в той же геометрии. Для этого же спектрометра за время ~ 100 000 с был измерен спектр фона в защитной камере с толщиной стенки не менее 50 мм свинца.

Далее из описанных выше спектров при помощи программы *SAS SMFD* [7] были сформированы аппаратурные спектры смесей с различными радионуклидными составами, активностями и временами измерений. Примеры некоторых из них показаны на рис.1. Времена «набора» спектров составляют от 10 до 3600 секунд. Значения активности радионуклида ^{131}I в источнике варьируются в диапазоне 0,1÷100 Бк. Соотношения активностей радионуклидов йода и ксенона в источнике равны соотношению активностей этих радионуклидов в нефракционированной смеси продуктов деления ^{235}U в реакторе на тепловых нейтронах после кампании 3 года и выдержки 0 часов [9] и приведены в табл.1.

Обработка полученных таким образом спектров проводилась программой *SAS Na M3*, реализующей модифицированный матричный метод обработки сцинтилляционных спектров [4,5]. В результате обработки программа

Табл.1. Соотношения активностей радионуклидов йода и ксенона в исследуемых композициях радионуклидов.

Радионуклид	Относительная активность
^{131}I	1,00
^{132}I	1,37
^{133}I	2,49
^{134}I	2,58
^{135}I	2,09
^{133}Xe	2,49
^{135m}Xe	0,62
^{135}Xe	2,17

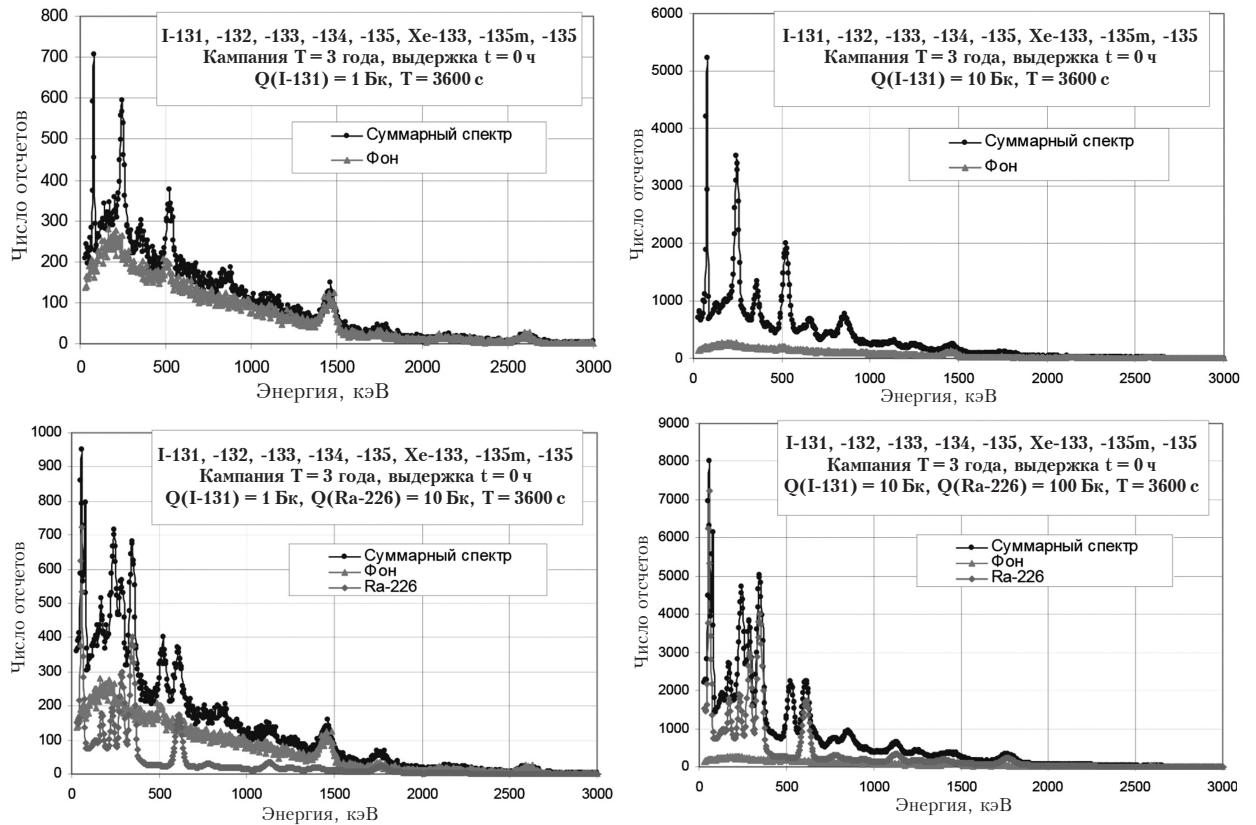


Рис.1. Аппаратурные спектры различных смесей радионуклидов йода, ксенона и ^{222}Rn , сформированные программой SAS SMFD [7] для детектора NaI(Tl) $\varnothing 3'' \times 3''$.

SAS Na M3 самостоятельно определяет радионуклидный состав образца, величины активности обнаруженных радионуклидов и их погрешности, а также делает оценку величины активности остальных радионуклидов, входящих в рабочую библиотеку, но не обнаруженных в исследуемом образце.

Уточним, что при этом никакая априорная информация о радионуклидном составе

образца не используется. Т. е. программа SAS Na M3 решает полную задачу радионуклидного анализа – «чего и сколько», а не упрощенную задачу определения активности при заранее известном радионуклидном составе.

Некоторые результаты обработки спектров гамма-излучения смесей радионуклидов йода, ксенона и ^{222}Rn приведены в табл. 2 и 3.

Табл.2. Определение активности радионуклидов йода и ксенона с помощью гамма-спектрометра с детектором NaI $\varnothing 3'' \times 3''$. Время набора спектров – 3600 с. Обработка – программа SAS Na M3.

Нуклид	Активность, Бк/образец					
	$Q_{\text{паспорт}}$	Q_{M3}	$Q_{\text{паспорт}}$	Q_{M3}	$Q_{\text{паспорт}}$	Q_{M3}
^{131}I	100,0	99,8±1,1	10,0	10,4±0,4	1,00	0,97±0,19
^{132}I	137,2	137,8±1,7	13,7	13,9±0,6	1,37	1,17±0,33
^{133}I	249,0	250±12	24,9	22,1±4,2	2,49	2,86±0,33
^{134}I	257,7	256,4±2,2	25,8	25,1±0,8	2,58	2,73±0,39
^{135}I	209,1	210,0±3,8	20,9	21,5±1,4	2,09	1,84±0,81
^{133}Xe	249,0	249,4±1,6	24,9	25,0±0,5	2,49	2,56±0,20
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	61,7	61±13	6,2	8,9±4,5	0,62	-
^{135}Xe	217,4	216,7±1,2	21,7	21,7±0,4	2,17	2,36±0,16

Табл.3. Определение активности радионуклидов йода и ксенона с помощью гамма-спектрометра с детектором NaI Ø3"×3" в присутствии ²²²Rn. Время набора спектров – 3600 с. Обработка – программа SAS Na M3.

Нуклид	Активность, Бк/образец					
	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}
²²² Rn	1,0	1,01±0,22	10,0	9,74±0,28	100	99,7±0,8
¹³¹ I	1,00	1,09±0,15	1,00	1,11±0,15	1,00	1,16±0,60
¹³² I	1,37	1,22±0,26	1,37	1,76±0,26	1,37	1,27±0,64
¹³³ I	2,49	3,04±0,32	2,49	3,02±0,29	2,49	2,86±0,53
¹³⁴ I	2,58	2,78±0,28	2,58	2,46±0,27	2,58	2,93±0,54
¹³⁵ I	2,09	1,42±0,71	2,09	1,62±0,75	2,09	-
¹³³ Xe	2,49	2,46±0,19	2,49	2,56±0,15	2,49	2,76±0,29
^{135m} Xe	0,62	-	0,62	-	0,62	-
¹³⁵ Xe	2,17	2,17±0,14	2,17	2,21±0,14	2,17	2,31±0,38

Табл.3 (продолжение). Определение активности радионуклидов йода и ксенона с помощью гамма-спектрометра с детектором NaI Ø3"×3" в присутствии ²²²Rn. Время набора спектров – 3600 с. Обработка – программа SAS Na M3.

Нуклид	Активность, Бк/образец					
	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}
²²² Rn	10	9,87±0,47	100	99,49±0,89	1000	999,1±2,4
¹³¹ I	10,0	10,13±0,27	10,0	10,08±0,40	10,0	11,4±1,3
¹³² I	13,7	13,77±0,54	13,7	14,09±0,73	13,7	13,6±1,5
¹³³ I	24,9	30,61±0,65	24,9	30,82±0,83	24,9	31,5±1,5
¹³⁴ I	25,8	24,99±0,62	25,8	25,46±0,81	25,8	24,4±1,6
¹³⁵ I	20,9	21,4±1,4	20,9	20,1±2,0	20,9	21,6±4,5
¹³³ Xe	24,9	24,64±0,54	24,9	25,05±0,58	24,9	26,41±0,91
^{135m} Xe	6,2	-	6,2	-	6,2	-
¹³⁵ Xe	10,0	10,13±0,27	10,0	10,08±0,40	10,0	11,4±1,3

Табл.3 (продолжение). Определение активности радионуклидов йода и ксенона с помощью гамма-спектрометра с детектором NaI Ø3"×3" в присутствии ²²²Rn. Время набора спектров – 3600 с. Обработка – программа SAS Na M3.

Нуклид	Активность, Бк/образец					
	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}	<i>Q</i> _{паспорт}	<i>Q</i> _{M3}
²²² Rn	100	99,5±1,5	1000	996±3	10000	10000±8
¹³¹ I	100	99,3±0,8	100	101,6±1,4	100	101±4
¹³² I	137	137,0±1,6	137	137,8±2,1	137	136±5
¹³³ I	249	248±13	249	261±13	249	305±13
¹³⁴ I	258	257±2	258	257±3	258	254±5
¹³⁵ I	209	210±4	209	212±6	209	212±15
¹³³ Xe	249	250±3	249	248±1	249	248±3
^{135m} Xe	62	64±16	62	51±16	62	-
¹³⁵ Xe	217	218,7±1,4	217	218,6±1,1	217	219±4

Здесь: *Q*_{паспорт} – «паспортные» значения активности радионуклидов йода и ксенона, т. е. значения активности, которые использовались программой SAS SMFD для формирования аппаратных спектров гамма-излучения смеси; *Q*_{M3} – значения активности радионуклидов йода

и ксенона, которые были получены в результате обработки спектров программой SAS Na M3. Погрешности всех результатов приведены на уровне доверительной вероятности 95%.

Представленные результаты показывают, что программа SAS Na M3 определя-

Табл.4. К определению минимальных измеряемых активностей радионуклидов йода и ксенона. Время набора спектров – 3600 с. Обработка – программа SAS Na M3.

Нуклид	Активность, Бк/образец							
	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}
^{131}I	0,20	0,36±0,16	0,50	0,49±0,18	1,00	0,97±0,19	2,0	1,86±0,22
^{132}I	0,27	-	0,68	0,93±0,30	1,37	1,17±0,33	2,74	2,88±0,37
^{133}I	0,50	0,65±0,35	1,24	1,57±0,26	2,49	2,86±0,33	4,98	6,42±0,38
^{134}I	0,52	0,76±0,22	1,29	1,49±0,31	2,58	2,73±0,39	5,16	5,45±0,45
^{135}I	0,42	-	1,04	-	2,09	1,84±0,81	4,18	2,96±0,89
^{133}Xe	0,50	0,52±0,16	1,24	1,22±0,16	2,49	2,56±0,20	4,98	4,78±0,25
^{135m}Xe	0,12	-	0,31	-	0,62	-	1,24	-
^{135}Xe	0,43	0,43±0,14	1,08	1,07±0,14	2,17	2,36±0,16	4,34	4,36±0,20

Табл.5. К определению минимальных измеряемых активностей радионуклидов йода и ксенона в присутствии ^{222}Rn . Время набора спектров – 3600 с. Обработка – программа SAS Na M3.

Нуклид	Активность, Бк/образец							
	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}	$Q_{наспорт}$	Q_{M3}
^{222}Rn	50	49,9±0,6	100	99,7±0,8	200	200,6±1,1	500	499,7±1,9
^{131}I	0,5	0,91±0,46	1,00	1,16±0,60	2,0	1,41±0,83	5,0	4,2±1,3
^{132}I	0,68	0,72±0,42	1,37	1,27±0,64	2,74	2,85±0,89	6,85	8,2±1,1
^{133}I	1,24	1,56±0,43	2,49	2,86±0,53	4,98	6,96±0,58	12,45	15,7±1,2
^{134}I	1,29	1,55±0,44	2,58	2,93±0,54	5,16	6,33±0,71	12,9	12,1±1,2
^{135}I	1,04	-	2,09	-	4,18	-	10,45	9,6±3,2
^{133}Xe	1,24	1,45±0,27	2,49	2,76±0,29	4,98	4,90±0,49	12,45	12,9±0,8
^{135m}Xe	0,31	-	0,62	-	1,24	-	3,10	-
^{135}Xe	1,08	1,05±0,26	2,17	2,31±0,38	4,34	4,54±0,43	10,85	10,7±0,6

ет с приемлемыми для обсуждаемых задач погрешностями значения активности всех радионуклидов в йодсодержащих смесях при варьировании активности ^{131}I в диапазоне 1–100 Бк.

Была также исследована возможность применения программы SAS Na M3 для определения малых активностей радионуклидов йода. С этой целью были проанализированы результаты обработки сформированных программой SAS SMFD 3600-секундных спектров йодсодержащих смесей с активностями ^{131}I , равными 0,1 Бк, 0,2 Бк, 0,5 Бк, 1 Бк, 2 Бк и 5 Бк. Активности остальных радионуклидов йода и ксенона устанавливались аналогично описанному выше (табл.1), а активность мешающего

радионуклида ^{222}Rn – в 100 раз больше активности ^{131}I .

Результаты обработки этих спектров программой SAS Na M3, представленные в табл. 4 и 5, позволяют определить для каждого радионуклида йода значение минимальной детектируемой активности.

Определяемые с относительной погрешностью не более 50% на уровне доверительной

Табл.6. Значения активности радионуклидов ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I и ^{135}I , определяемой с относительной погрешностью не более 50% на уровне доверительной вероятности 95% за 1 час на гамма-спектрометре с детектором NaI(Tl) Ø3"×3". Время набора спектров – 3600 с. Обработка – программа SAS Na M3.

Нуклид	Минимальная измеряемая активность, Бк/образец	
	в отсутствии ^{222}Rn	в присутствии ^{222}Rn
^{131}I	0,5	2,0
^{132}I	0,7	1,4
^{133}I	0,5	1,2
^{134}I	0,5	1,3
^{135}I	2,1	10

вероятности 95% за 1 час активности радионуклидов ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I и ^{134}I приблизительно одинаковы и составляют $\sim 0,6$ Бк/образец в отсутствие ^{222}Rn в образце и $\sim 1 \div 2$ Бк/образец в случае его присутствия. Для ^{135}I ситуация несколько хуже: значения минимальной детектируемой активности составляют ~ 2 Бк/образец и ~ 10 Бк/образец, соответственно, (табл.6).

Представленные результаты достаточно убедительно показывают, что программа *SAS Na M3* обеспечивает возможность корректного решения «йодной» задачи на спектрометрах с детекторами NaI(Tl), т. е. позволяет определять активности каждого из радионуклидов в смеси ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{133}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe с приемлемыми в задачах

радиационного контроля погрешностями и временем измерения.

Значения нижней границы диапазона измеряемых активностей составляют $\sim 0,6$ Бк/измерительный образец для радионуклидов ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I и ~ 2 Бк/измерительный образец для радионуклида ^{135}I за 1 час измерений на гамма-спектрометре с детектором NaI(Tl) $\varnothing 3" \times 3"$.

Т. о. характеристики программы *SAS Na M3* делают возможным эффективное применение относительно недорогих и простых NaI гамма-спектрометров для радионуклидного анализа йодсодержащих образцов; в т. ч. в автоматизированных измерительных системах и массовых регулярных исследованиях персоналом, не обладающим высокой квалификацией.

Литература

1. Техническое задание на разработку мобильной радиометрической установки для контроля объемной активности радионуклидов йода в воздухе. Утверждено заместителем Генерального директора по производству и эксплуатации АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом» Копьевым Ю.В. М., 2010.
2. Антропов С.Ю., Ермилов А.П. Измерение активности I-131 с использованием сцинтилляционного детектора с ПО «Прогресс». URL: <http://www.doza.ru/support/pub/2957/> (дата обращения: 13.10.2021).
3. Антропов С.Ю., Ермилов А.П. Измерение активности I-131 с использованием сцинтилляционного детектора с ПО «Прогресс». URL: <http://amplituda.nichost.ru/ru/materials/articles/izmerenie-aktivnosti-131i-s-ispolzovaniem-stsintillyatsionnogo-detektora-s-po-progress> (дата обращения: 13.10.2021).
4. Дровников В.В. и др. Программа «Na Spectra Analysis System» – SAS Na M3 для обработки сложных сцинтилляционных спектров. Некоторые результаты исследования радионуклидного состава проб допустимых сбросов и допустимых выбросов Нововоронежской АЭС // АНРИ. 2011. N 2(65). С. 31-39.
5. Дровников В.В. и др. Некоторые результаты опытной эксплуатации гамма-спектрометра NaI ПАК-01 в Лаборатории внешнего радиационного контроля НВ АЭС. Радионуклидный анализ образцов дебалансных вод и аэрозольных выбросов НВ АЭС. Сборник материалов 18 ежегодного семинара в НОУ ДПО «ЦИПК». Обнинск: «ЦИПК», 2012. С. 17-35.
6. Дровников В.В. и др. Оценка возможности применения сцинтилляционных спектрометров с детекторами NaI для оперативного контроля допустимых сбросов и выбросов АЭС // АНРИ. 2013. N 1(72). С. 66-72.
7. Совместный отчет МИФИ-НВАЭС. Экспресс-отчет о результатах сличительных испытаний программно-аппаратного комплекса NaI ПАК-01 в ЛВРК Нововоронежской АЭС. 16–31 мая 2011.
8. Программа GEANT4. URL: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/support/userdocuments.shtml> (дата обращения: 14.10.2021).
9. Гусев Н.Г., Рубцов П.М., Коваленко В.В., Колобашкин В.М. Радиационные характеристики продуктов деления. Справочник. М.: Атомиздат, 1974.

Evaluation of Feasibility of Gamma-Spectrometer NaI ПАК-01 and SAS Na M3 Software Application for Regular Radionuclide Analysis of NPP Permissible Wastes

Drovnikov Victor, Egorov Nikita, Zhivun Valery, Kadushkin Aleksander, Kovalenko Victor
(National Research Nuclear University «Moscow Engineering Physics Institute» Nuclear Radiation Monitoring
Laboratory, Moscow, Russia)

Abstract. The feasibility of correct NaI gamma-spectrometry activity measurement for each nuclide in ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{133}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe и ^{222}Rn composition is presented. To get this result the special matrix method M3 and SAS Na M3 software were used for spectra processing. SAS Na M3 software was developed for complex NaI gamma-spectra processing. Special algorithms and auxiliary software are used to overcome the problems of the classic spectra processing matrix method. Being used for spectrum processing SAS Na M3 software determines the nuclide composition of the sample, activity of nuclides identified and activities uncertainties. The activity values estimation is made for nuclides not identified in the sample measured but included in SAS Na M3 software nuclides library. The values of minimal detectable activities for NaI $\varnothing 3'' \times 3''$ gamma-spectrometer and 1 hour measuring time are ~ 0.6 Bq for ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I and ~ 2 Bq for ^{135}I .

Key words: iodine radioactive nuclide, xenon radioactive nuclide, NaI gamma-spectrometer, special matrix method M3 for NaI spectra processing, SAS Na M3 software for NaI spectra processing, SAS Na M3 software.

*В.В.Дровников (с.н.с.), Н.Ю.Егоров (с.н.с.), В.М.Живун (к.ф.-м.н., с.н.с.),
А.В.Кадушкин (н.с.), В.В.Коваленко (к.ф.-м.н., в.н.с.).*

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – НИЯУ МИФИ.
Лаборатория «Ядерно-физические технологии радиационного контроля» – НИЛ ЯФТРК,
г. Москва.*

Контакты: тел. +7 (903) 581-85-33; e-mail: egorov@radiation.ru.