

«Обоснование перечня дозообразующих техногенных радионуклидов газо- аэрозольных выбросов АЭС»

Радиационная лаборатория:

Жуковский М. В., Екидин А. А., Васянович М. Е.

Контроль выбросов радионуклидов АЭС является неотъемлемой частью системы мониторинга радиационной ситуации с целью:

- обеспечения условий безопасной эксплуатации станции;
- подтверждения соблюдения требований допустимого радиационного воздействия на окружающую среду и население.

Перечень основных дозообразующих радионуклидов дискутируется много лет и не находит обоснованного решения до сих пор.

Действующие санитарные правила и гигиенические нормативы указывают, что основной вклад (свыше 98 %) в дозу облучения населения в режиме нормальной эксплуатации АС вносят инертные радиоактивные газы (аргон, криптон, ксенон) и радионуклиды I-131, Co-60, Cs-134, Cs-137 (Na-24 - для реакторов типа БН-600).

Нормирование и контроль активности других радионуклидов, обнаруживаемых в выбросах АС, **нецелесообразен** ввиду их пренебрежимого вклада в дозу облучения.

Номенклатура контролируемых радионуклидов в выбросах АЭС России

В России на АЭС осуществляется контроль 5 радионуклидов.

АЭС \ Радионуклид	^{137}Cs	^{134}Cs	^{60}Co	^{131}I	Σ ИРГ
Балаковская					
Белоярская		МДА		МДА	
Билибинская	МДА	МДА		МДА	
Калининская					
Кольская	МДА	МДА		МДА	МДА
Курская					
Ленинградская					
Нововоронежская					
Ростовская		МДА			
Смоленская		МДА			
Всего АЭС	10	10	10	10	10

В настоящей работе представлены результаты ранжирования радионуклидов в выбросах АЭС Европы по вкладу в облучение населения.

В странах Европы используют АЭС с различными типами ядерных установок.

Для каждого типа ядерной установки набор выбрасываемых радионуклидов, которые обуславливать более 95 % эффективной дозы, может отличаться.

Полный перечень нуклидов, контролируемых в выбросах 59 действующих АЭС в Европе включает 101 радионуклидов и 5 суммарных показателей.

Информация по выбросам европейских АЭС представлены Европейской Комиссии, которая собирает, хранит и распространяет информацию о выбросах и сбросах.

<http://europa.eu/radd/>

Номенклатура контролируемых радионуклидов в выбросах АЭС Европы

№ п.п.	Страна	Количество АЭС	Всего радионуклидов и суммарных параметров
1.	Бельгия	2	4
2.	Болгария	1	49
3.	Великобритания	9	11
4.	Венгрия	1	42
5.	Германия	8	41
6.	Испания	5	54
7.	Нидерланды	1	16
8.	Румыния	1	31
9.	Словакия	2	48
10.	Словения	1	34
11.	Финляндия	2	42
12.	Франция	19	43
13.	Чехия	2	40
14.	Швеция	4	93
15.	Литва*	1	41
16.	Италия*	4	10

* - не эксплуатируется

На всех АЭС Европы в выбросах осуществляется контроль 1 радионуклида (H-3) и трех суммарных показателей.

№ п.п.	Радионуклид	Доля АЭС
1.	H-3	100 %
2.	ΣI	100 %
3.	Σ ИРГ	100 %
4.	$\Sigma \beta+\gamma$	100 %

Номенклатура контролируемых радионуклидов в выбросах АЭС Европы

Еще 35 радионуклидов контролируется в выбросах на половине и более АЭС ЕС.

№ п.п.	Радионуклид	Доля АЭС
1.	C-14, I-131	93%
2.	Ar-41, Co-60, Cs-137, Xe-133	86%
3.	Co-58, Cr-51, Cs-134, Fe-59, Kr-85, Kr-88, Mn-54, Nb-95, Xe-135, Zr-95	79%
4.	Kr-85m, Kr-87, Sb-124, Sr-90	71%
5.	Ag-110m, Ce-141, Ce-144, I-133, Ru-103, Sb-125, Xe-133m, Xe-135m	64%
6.	Ba-140, Sr-89, Xe-131m, Xe-138, Zn-65	57%
7.	Co-57, I-132	50%

Номенклатура контролируемых радионуклидов в выбросах АЭС Европы

Менее 50%, но более чем на 10% АЭС ЕС осуществляется контроль в выбросах дополнительно еще 27 радионуклидов.

№ п.п.	Радионуклид	Доля АЭС
1.	Ru-106, Sb-122, $\Sigma\alpha$	43%
2.	Am-241, I-135, Pu-238, Pu-239+240, Te-123m	36%
3.	As-76, Kr-89, La-140, Mo-99, Te-132, Xe-137	29%
4.	Be-7, Cm-242+243+244, Cs-136, Hf-181, Ns-24, Se-75, Sn-113	21%
5.	Eu-152+154+155, I-134, Nb-97, Rh-106, Tc-99m, Other I	14%

Номенклатура контролируемых радионуклидов в выбросах АЭС Европы

На 7% АЭС ЕС осуществляется контроль в выбросах дополнительно еще 40 радионуклидов: Am-243, Ba-139, Ba-141, Br-82, C-11, Cd-109, Ce-139, Ce-143, Cs-138, Cu-64, Fe-55, Gd-153, Hg-203, I-129, I-130, K-42, La-142, Nb-94, Nb-95m, O-19, Np-239, Po-210, Rb-88, Rb-89, Re-188, Ru-105, S-35, Sn-117m, Sr-91, Sr-92, Tc-104, U-235+U238, W-187, Xe-127, Y-91, Y-91m, Y-92, Y-93, Zn-69m, Zr-97.

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Оценка вклада каждого контролируемого радионуклида выполнена для 5 типов реакторных установок АЭС Европы:

- водо-водяных ядерных реакторов (PWR, Франция);
- кипящих ядерных реакторов (BWR, Швеция);
- усовершенствованных газо-охлаждаемых ядерных реакторов (AGR, Великобритания);
- реакторов большой мощности канальных (LWGR, Литва);
- тяжеловодные ядерные реакторы (PHWR, Румыния).

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Условия облучения приняты одинаковыми для каждого типа реакторных установок (РУ) АЭС:

- одинаковый рельеф;
- одинаковая, половозрастная структура и корзина питания облучаемого населения;
- равномерная плотность распределения населения по румбам;
- одинаковые метеорологические условия разбавления выбросов АЭС в атмосфере.

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Для оценки облучения населения использовались данные по поступлению радионуклидов в атмосферу усредненные за 10 лет наблюдения для АЭС указанного типа РУ и приведенные к количеству РУ в выборке.

Оценка дозы на критическую группу населения выполнена для расстояний: 3 000 м, 10 000 м и 30 000 м от источника выброса.

Интегральная оценка вклада каждого радионуклида получена с учетом радиационного воздействия на каждом интервале удаления от источника выброса.

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Для АЭС с усовершенствованными газоохлаждаемыми реакторами усреднялись данные эксплуатации восьми станций Великобритании: Dungeness, Torness, Wylfa, Hunterston B, Hartlepool, Heysham1, Heysham2, Hinkley Point B.

Радионуклид	Среднее значение активности, ГБк/год
^{41}Ar	1,75E+04
^{14}C	1,16E+03
^{60}Co	7,36E-03
^3H	2,57E+03
^{131}I	9,32E-02
^{35}S	6,67E+01

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Для АЭС с кипящими ядерными реакторами усреднялись данные эксплуатации трех станций Швеции: Forsmark, Oskarshamn, Ringhals1.

Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год	Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год
Ag-110m	9,30E-03	Kr-87	6,18E+04
Ar-41	3,54E+02	Kr-88	4,28E+04
Ba-140	3,49E+00	Mn-54	1,24E-02
C-14	1,09E+03	Nb-95	2,30E-03
Ce-141	3,72E-04	Ru-103	6,34E-04
Ce-144	5,50E-03	Sb-124	5,46E-03
Co-58	3,34E-02	Sb-125	1,06E-03
Co-60	9,58E-02	Sr-89	2,67E-02
Cr-51	7,08E-02	Sr-90	3,59E-03
Cs-134	6,32E-04	Xe-131m	2,33E+04
Cs-137	2,77E-03	Xe-133	1,41E+04
Fe-59	3,09E-03	Xe-133m	4,46E+02
H-3	5,74E+02	Xe-135	9,08E+04
I-131	6,96E-01	Xe-135m	6,19E+04
I-133	1,39E+00	Zn-65	2,14E-02
Kr-85	1,94E+03	Zr-95	1,89E-03
Kr-85m	1,45E+04		

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Для АЭС с реакторами РБМК усреднялись данные за 10 лет эксплуатации Ignalina.

Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год	Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год
Ar-41	1,11E+04	Kr-87	9,42E+02
C-14	2,64E+01	Kr-88	1,02E+03
Co-58	2,98E-03	Mn-54	4,82E-02
Co-60	1,09E-01	Nb-95	1,36E-02
Cr-51	1,92E-02	Sr-89	5,47E-02
Cs-134	3,81E-03	Sr-90	5,99E-02
Cs-137	6,48E-02	Xe-133	4,10E+04
Fe-59	2,76E-02	Xe-133m	3,18E+02
H-3	3,37E+00	Xe-135	5,28E+03
I-131	7,70E+00	Xe-135m	1,93E+03
I-133	1,52E-01	Zn-65	6,65E-03
Kr-85	4,33E+00	Zr-95	3,55E-03
Kr-85m	1,59E+03		

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Для АЭС с ВВЭР усреднялись данные эксплуатации девятнадцати станций Франции: Belleville, Blayais, Bugey B, Cattenom, Chinon B, Chooz B, Civaux, Cruas, Dampierre, Fessenheim, Flamanville, Golfech, Gravelines, Nogent, Paluel, Penly, St Alban, St Laurent B, Tricastin.

Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год	Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год
Ar-41	7.55E+01	Kr-85m	4.14E+00
C-14	5.35E+02	Kr-87	2.14E+02
Co-58	2.86E-03	Kr-88	5.95E+01
Co-60	2.25E-03	Mn-54	2.11E-04
Cr-51	2.54E-03	Nb-95	2.66E-04
Cs-134	1.64E-03	Ru-103	5.37E-05
Cs-137	1.46E-03	Sb-124	1.73E-04
Fe-59	6.98E-04	Xe-131m	1.57E+02
H-3	1.69E+03	Xe-133	1.22E+03
I-131	4.23E-02	Xe-133m	1.76E+01
I-133	4.32E-02	Xe-135	3.84E+02
Kr-85	1.89E+02	Xe-135m	2.87E+02
		Zr-95	3.29E-04

Исходные данные для обоснование перечня основных дозообразующих техногенных радионуклидов газо-аэрозольных выбросов АЭС Европы

Для АЭС с тяжеловодным реактором данные усреднялись за 7 лет эксплуатации Cernavoda.

Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год	Радионуклид	Среднее значение, ГБк/год
Ba-140	0,00E+00	I-131	2,24E-04
C-14	4,85E+02	I-133	3,70E-04
Ce-141	0,00E+00	Mn-54	0,00E+00
Ce-144	0,00E+00	Mo-99	0,00E+00
Co-58	0,00E+00	Nb-95	0,00E+00
Co-60	0,00E+00	Ru-103	0,00E+00
Cr-51	0,00E+00	Ru-106	0,00E+00
Cs-134	0,00E+00	Sb-122	0,00E+00
Cs-137	0,00E+00	Sb-124	0,00E+00
Eu-152	0,00E+00	Sb-125	0,00E+00
Eu-154	0,00E+00	Sr-89	0,00E+00
Fe-59	0,00E+00	Te-132	0,00E+00
Gd-153	0,00E+00	Zn-65	0,00E+00
H-3	3,41E+05	Zr-95	0,00E+00

Перечень основных дозообразующих радионуклидов, определяющих более 95% годовой эффективной дозы от газо-аэрозольных выбросов в атмосферу с АЭС Европы

Тип реакторной установки	Радионуклид	% от эффективной дозы
AGR	C-14	61
	S-35	24
	Ar-41	12
BWR	Kr-88+Rb-88	40
	C-14	32
	Kr-87	13
	Xe-135	8
	Co-60	2
LWGR	I-131	1
	Ar-41	30
	Sr-90+Y-90	18
	Cs-137+Ba-137m	17
	Co-60	12
	Kr-88+Rb-88	6
	C-14	5
PWR	I-131	1,5
	C-14	95
HPWR	H-3	2,8
	H-3	86
	C-14	12

Среднее значение годовой эффективной дозы от газо-аэрозольных выбросов в атмосферу с АЭС Европы

Расчет годовой эффективной дозы на критическую группу населения выполнен для каждого радионуклида из сформированного перечня контролируемых для данного типа АЭС.

Среднее значение эффективной дозы, Зв/год			
Тип реактора	Расстояние от точки выброса, м		
	3 000	10 000	30 000
AGR	1,4E-07	8,1E-08	5,4E-08
BWR	3,6E-07	1,4E-07	5,2E-08
LWGR	5,2E-08	2,1E-08	9,6E-09
PWR	4,1E-08	2,4E-08	1,6E-08
HPWR	2,7E-07	1,5E-07	9,4E-08

Выполнена оценка вклада в облучение критической группы населения от газо-аэрозольных выбросов в атмосферу атомных станций Европы с реакторами ВВЭР и РБМК для радионуклидов из числа контролируемых на АЭС России.

Доля годовой эффективной дозы критической группы населения, %									
	Cs-137	Cs-134	Co-60	Co-58	Cr-51	Mn-54	I-131	ΣИРГ	Всего
РБМК	10,6	0,45	12,4	0,008	0,001	0,31	1,67	50,07	75,51
ВВЭР	0,35	0,19	0,26	0,01	0,0001	0,001	0,004	1,49	2,32

- Для всех АЭС значительный вклад в облучение вносят выбросы в атмосферу С-14 – от 5% (LWGR), до 95% (PWR).
- Инертные газы доминируют в создании эффективной дозы для критической группы населения для реакторов AGR, BWR и LWGR.
- Специфической особенностью для РУ AGR является, то что выбросы в атмосферу S-35 вносят существенный вклад (24%) в облучение населения.
- При работе НРWR выбросы Н-3 формируют основную дозу на критическую группу населения.

Результаты ранжирования радионуклидов по вкладу в облучение населения от выбросов АЭС позволяет сформировать набор основных дозообразующих изотопов, определяющих более 95% эффективной дозы для каждого типа реактора, включая основные типы реакторных установок, эксплуатируемые в России – РБМК и ВВЭР.

Контролируемые в настоящее время в выбросах АЭС РФ радионуклиды не включают полный набор основных дозообразующих изотопов.

Для АЭС с реакторами РБМК целесообразно дополнительно контролировать в выбросах объемную активность Sr-90, а для реакторов ВВЭР объемную активность C-14 и H-3.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ