

Учет физико-химических форм йода-131 для определения радиационного воздействия выбросов при нормальной эксплуатации промышленной реакторной установки на ФГУП «ПО «Маяк»

Определение физико-химических форм радиойода в газовой среде промышленного ядерного реактора необходимо для решения связанных задач – технологического контроля и радиационной безопасности. В технологическом контексте полученные результаты позволяют адекватно выполнять оценку эффективности очистки выбросов радиоактивных изотопов йода, выбор приборов и методов контроля выбросов. В контексте радиационной безопасности результаты исследований дают возможность корректной оценки радиационного воздействия на окружающую среду и человека, обоснование нормативов выбросов в атмосферу и подтверждение безопасности эксплуатации промышленной реакторной установки. Метод исследования основан на различии осаждения радиойода на наборе из одного аэрозольного фильтра АФА-РМП и шести фильтров типа АФА-СИ, что позволяет определить отдельно аэрозольную, легко- и трудносорбируемую формы ^{131}I . Показано, что не прошедшая очистку газоаэрозольная смесь в основном содержит радиоактивный йод в форме газообразных трудносорбируемых соединений. Для ^{131}I получено наиболее вероятное процентное

Е.И.Никитенко ¹,

Н.Н.Ромадов ¹, М.Д.Пышкина ²

¹ ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск Челябинской обл.

² Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург

содержание в объемной активности трудносорбируемых, легкосорбируемых соединений и аэрозолей йода. На основании полученных данных проведена оценка дозовых нагрузок с учетом годовых выбросов реакторной установки и погодных условий. Консервативный подход к оценке радиационного воздействия выбросов ^{131}I в 47 раз выше, чем оценка с учетом его физико-химических форм.

Ключевые слова:

йод-131, объемная активность, аэрозоль, газообразные выбросы, физико-химические формы радиоактивного йода, пакет фильтров, PDV ARM.

Долговременный мониторинг источника выброса является важным инструментом подтверждения безопасности эксплуатации промышленной реакторной установки (далее по тексту ПРУ) для персонала, населения и окружающей среды. Результаты мониторинга необходимы для раннего выявления отклонений от нормальных условий эксплуатации, подтверждения установленных нормативов выбросов, оптимизации радиационного воздействия на население и окружающую среду. Решение указанных задач достигается путем обоснованного выбора приборов и методов определения активности радионуклидов в выбросах ПРУ [1]. Специфической особенностью мониторинга выбросов ^{131}I является обязательный учет разнообразия физических форм и химических соединений радиоактивного йода [2].

Механизмы изменения ^{131}I в формы и соединения на этапах перемещения от топливных блоков до атмосферы остаются недостаточно изученными. Актуальность оценки форм и соединений йода в газовой среде вентиляционной системы ПРУ обусловлена в основном необходимостью решения технологических задач и задач радиационной безопасности. Технологические задачи вклю-

чают вопросы оценки эффективности очистки выбросов радиоактивных изотопов йода, выбор приборов и методов контроля выбросов. Задачи радиационной безопасности включают адекватную оценку радиационного воздействия на окружающую среду и человека, обоснование нормативов выбросов в атмосферу и подтверждение соблюдения нормативов воздействия.

При измерении интегральной объемной активности ^{131}I в источниках выбросов без определения физико-химического состава консервативно принимается, что радиоактивный йод содержится в газообразном виде элементарного йода – молекулярное соединение I_2 . Такой консервативный подход не позволяет получить корректную оценку радиационного воздействия на окружающую среду и человека.

Например, для персонала при ингаляционном поступлении установлены следующие дозовые коэффициенты: $7,6 \cdot 10^9$ Зв/Бк для всех аэрозольных соединений I-131 ; $2,0 \cdot 10^8$ Зв/Бк для элементарного йода и $1,5 \cdot 10^8$ Зв/Бк для метилйодида [3]. Применение консервативного подхода приводит к завышению расчетных доз воздействия как на персонал, так и на население:

- от аэрозолей йода-131 в среднем в 2,5 раза или от 2,22 до 2,82 раз для различ-

ных возрастных категорий населения;

- от органических соединений йода-131 в среднем в 1,3 раза или от 1,23 до 1,33 раза для различных возрастных категорий населения.

Консервативный подход приводит к некорректному результату оценки дозы от радиационного воздействия облака, сформированного выбросами йода, из-за применения неадекватных условий разбавления радионуклидов в атмосфере. Так, для элементарного йода (I_2) скорость сухого осаждения на два порядка выше, чем для йода в форме органических соединений, и в 2,5 раза выше, чем для содержащих йод аэрозолей. Аналогичная ситуация характерна для вымывания I_2 с осадками, скорость которого на два порядка выше, чем для йода в форме органических соединений, и в 4 раза выше, чем для содержащих йод аэрозолей [4]. Таким образом, при консервативном подходе в расчетах допустимых выбросов йода-131 использование наихудшего сценария разбавления приводит к существенному завышению объемной активности йода-131 в местах максимального радиационного воздействия.

Для снижения радиационного воздействия на насе-

ление и окружающую среду при нормальной эксплуатации ПРУ газоаэрозольные выбросы проходят систему газоочистки. Эффективность очистки выбросов от изотопов йода во многом зависит от его физической формы и типа химического соединения. По результатам ряда оценок радиоактивный йод входит в число основных дозообразующих радионуклидов при облучении населения от выбросов ядерных реакторных установок [5-9]. Изотопы йода, в том числе ^{131}I , входят в перечень радионуклидов, в отношении которых, согласно постановлению правительства от 8 июля 2015 г. № 1316-р, применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. В публикациях МАГАТЭ изотоп йода ^{131}I рассматривается как важный фактор радиационного воздействия от выбросов ядерных реакторов [10,11].

При взаимодействии ^{131}I с конструкционными материалами и теплоносителем может образовываться от 150 до 246 продуктов взаимодействия радиойода. Газообразные соединения представлены легкосорбируемым элементарным йодом (I_2) и трудносорбируемыми соединениями, преимущественно метилйодидом (CH_3I) [2,12,13]. Радиолиз I_2 и CH_3I приводит к образова-

нию различных газообразных видов соединений, наиболее распространенными из которых являются HI и IONO_2 , а также промежуточные частицы IO, I_2O_2 и IO_2 [14,15].

Материалы и методы

В объем рутинного мониторинга выбросов ПРУ входит измерение интегральной объемной активности выбросов ^{131}I . Метод контроля основан на отборе пробы путем прокачки газоаэрозольной смеси через пакет фильтров МАЙ с последующим измерением счетного образца на спектрометре гамма-излучения. Такой способ контроля не позволяет оценить вклад в общую активность отдельно от аэрозолей йода, легко- и трудносорбируемых газообразных соединений йода.

В настоящей работе определение аэрозольных и газообразных соединений йода в смеси выполнялось с помощью пакета, состоящего из аэрозольного фильтра АФА-РМП и угольных фильтров АФА-СИ, импрегнированных азотнокислым серебром, установленных последовательно [16]. Для исследования применялись пакеты угольных фильтров с одинаковым количеством сорбирующего материала АФА-СИ с поверхностной плотностью сорбента в одном (каждом) фильтре 40 г/м² (с 1 по 7 фильтр). Сорбентом

в этих фильтрах является уголь с хемосорбирующей добавкой в виде азотнокислого серебра [17].

После отбора пробы на каждом фильтре определялась активность ^{131}I с использованием полупроводникового гамма-спектрометра с кристаллом из особо чистого германия производства компании *Canberra*. Для обработки результатов измерений активность изотопов йода на каждом фильтре приводилась к окончанию отбора пробы с учетом поправки на распад. Фильтр АФА-РМП не улавливает легкосорбируемую и трудносорбируемую форму газообразного йода, но улавливает аэрозольную фракцию с эффективностью более 95% [18]. На первом угольном фильтре полностью улавливается легкосорбируемая фракция йода и частично трудносорбируемая фракция. На остальных угольных фильтрах, со второго по седьмой, улавливается только трудносорбируемая фракция [19].

В общем виде распределение активности трудносорбируемой фракции радиоактивного йода в последовательности фильтров описывается экспоненциальным уравнением [17,20,21]:

$$A_{mn} = B_m \cdot \exp(-\lambda_m \cdot n), \quad (1)$$

где A_{mn} – активность трудносорбируемых соединений йода на фильтре n в пакете

те, Бк; B_m – показатель доли трудносорбируемой фракции йода, Бк; m – показатель скорости гетерогенной реакции трудносорбируемой фракции йода, безразмерный; n – порядковый номер ($n \geq 1$) сорбирующего фильтра в пакете.

Установленные значения параметров формулы (1) позволяют определить активность трудносорбируемой фракции йода с учетом не измеренного количества трудносорбируемой формы йода, не уловленной пакетом фильтров [19]:

$$A_m = \frac{B_m}{\exp(\lambda_m) - 1} \quad (2)$$

Численные значения параметров B_m и λ_m экспоненциальной зависимости, описывающей распределение активности трудносорбируемой фракции радиоактивного йода в последовательности фильтров, рассчитываются методом наименьших квадратов по результатам измерения активности фильтров в пакете со 2 по 7. Активность на первом фильтре (A_1) исключается из расчета, так как кроме трудносорбируемой, этот фильтр может содержать и легкосорбируемую фракцию.

Установить численные значения параметров уравнения (1) возможно при условии осаждения на фильтрах активности изотопов йода, превышающей минимально детектируемую активность

средства измерения. Продолжительность отбора пробы определялась исходя из установленной в процессе эксплуатации концентрации радиоактивных изотопов йода в отбираемой газоаэрозольной смеси и нижнего предела обнаружения на находящейся в эксплуатации измерительной аппаратуре. Для точки пробоотбора на линии закачки в газгольдер высокого давления (далее по тексту ГВД) время экспозиции фильтров было выбрано равным 24 ч при объемном расходе 0,3 м³/ч. Результаты исследования показали, что при данных условиях обеспечивается накопление ¹³¹I на всех фильтрах пакета с активностью выше минимально детектируемой.

Результаты исследования

Для определения физико-химических форм ¹³¹I на

ПРУ было проведено восемь отборов проб на пакет фильтров [20]. Продолжительность отбора каждой пробы составила 24 ч. Активность ¹³¹I на каждом фильтре в процентном содержании в суммарной уловленной активности пакета АФА-РМП+АФА-СИ приведена в табл.1.

Подтверждена экспоненциальная форма распределения активности ¹³¹I в последовательности фильтров [19]. Средние значения активности на фильтрах показаны на рис.1.

По методике [19] рассчитано относительное количество для аэрозольного, легко- и трудносорбируемых соединений ¹³¹I. Результаты расчета – в табл.2.

Расчеты показали, что в газоаэрозольной смеси радиойод присутствует преимущественно в виде трудносорбируемых соединений. Аэрозоли

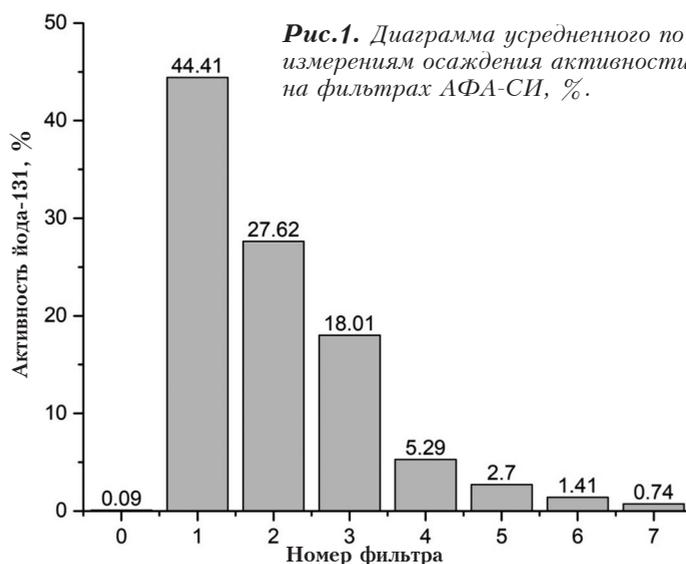


Рис.1. Диаграмма усредненного по восьми измерениям осаждения активности ¹³¹I на фильтрах АФА-СИ, %.

Табл.1. Распределение активности ^{131}I на пакете фильтров АФА-РМП+АФА-СИ, %.

Форма ^{131}I	Фильтр, №	Доля активности ^{131}I , %							
		Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №4	Проба №5	Проба №6	Проба №7	Проба №8
Аэрозоль	0	0,02	0,15	0,06	0,07	0,12	0,06	0,19	0,04
Легко- + труд-носорбируемый	1	32,13	38,68	57,40	59,60	43,30	51,16	41,68	31,31
	2	26,29	28,92	26,65	23,64	32,12	23,61	31,16	28,60
Трудносорбируемый	3	25,80	18,03	12,64	12,12	14,46	15,34	21,00	24,71
	4	7,25	10,52	1,30	2,78	4,18	6,31	3,60	6,39
	5	4,09	3,61	1,06	1,37	3,11	2,97	1,60	3,8
	6	3,21	0,10	0,89	0,30	2,07	0,55	0,68	3,51
	7	1,21	-	-	0,12	0,64	-	0,09	1,64

Табл.2. Соотношение форм ^{131}I в газоаэрозольной смеси, поступающей в ГВД.

Форма ^{131}I -131	Доля активности ^{131}I , %								Среднее значение
	Проба, №								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Аэрозоль	0,02	0,13	0,06	0,06	0,12	0,06	0,19	0,04	0,09
Легкосорбируемый	-	-	3,78	-	-	-	-	-	0,46
Трудносорбируемый	99,98	99,87	96,16	99,94	99,88	99,94	99,82	99,96	99,45

составляют до 0,19% от общей активности. Легкосорбируемая форма йода присутствует в малых количествах и в газоаэрозольной смеси появляется эпизодически.

Для ^{131}I получено наиболее вероятное соотношение объемной активности трудносорбируемых, легкосорбируемых соединений и аэрозолей йода: 99,45%; 0,46% и 0,09% соответственно. Йод в подавляющем большинстве присутствует в форме трудносорбируемых соединений. Незначительные количества аэрозольной формы ^{131}I могут быть объяснены водо-водяным типом ПРУ. Можно предположить, что через микродефекты рабочих блоков радиойод, поступающий в аэрозольной форме

в активную зону, в подавляющем количестве осажается в технологических полостях, либо связывается теплоносителем ПРУ. В результате радиоактивный йод поступает из активной зоны в газоочистные сооружения вместе с эжекторными газами преимущественно в виде наиболее летучих газообразных соединений. Химические соединения, присутствующие на пути от активной зоны до точки отбора, а также давление и температурные режимы не создают условий для физических или химических преобразований газообразных соединений ^{131}I в аэрозольную форму.

Интегральное количество выброса ^{131}I контролируется на ПРУ в процессе рутинного

мониторинга. Для определения выброса ^{131}I в трубу ПРУ на пробоотборной линии с точки контроля, находящейся непосредственно в трубе на высоте 30 м, устанавливается пакет из трех фильтров МАЙ. При скорости прокачки 20 л/мин пакет из трех фильтров экспонируется в течение 5–7 дней. После экспонирования фильтры снимаются с точки отбора. Затем фильтры измеряются на гамма-спектрометре. Определяется активность ^{131}I на всех фильтрах пакета. Объемная активность ^{131}I в трубе рассчитывается по формуле:

$$A_{VI-131} = A_{I-131} / V_{\text{прок}}, \quad (4)$$

где A_{I-131} – активность ^{131}I , уловленная пакетом фильтров МАЙ, Бк; $V_{\text{прок}}$ – количество воздуха, прокачанное через

Табл.3. Годовые выбросы ^{131}I с учетом вклада от различных физико-химических форм.

Физико-химическая форма ^{131}I	Активность, Бк/год
Аэрозольная	$2,30 \cdot 10^4$
Легкосорбируемая	$1,48 \cdot 10^5$
Трудносорбируемая	$2,55 \cdot 10^7$

пакет фильтров за время экспонирования.

Так как данные измерения относятся к рутинному радиационному мониторингу, далее будут приведены результаты измерения выбросов ^{131}I за год. Годовой выброс ^{131}I в трубу составляет $2,56 \cdot 10^7$ Бк.

На основе этих данных был проведен расчет годового выброса с учетом полученной информации о процентном вкладе от аэрозольной, трудно- и легкосорбируемой форм ^{131}I в суммарный выброс.

Результаты расчета годового выброса с учетом физико-химических форм радиоиода приведены в табл.3.

Результаты были использованы для расчета дозовой нагрузки от ингаляционного поступления, облучения от почвы и внешнего облучения в бесконечном облаке от ^{131}I на границе санитарно-защитной зоны предприятия, расположенной в 7 км от точки выброса. Для расчета использовалось программное обеспечение *PDV ARM*. Кроме того, был проведен расчет годового воздействия в семикилометровой зоне вокруг сбросной трубы промышленной реакторной установки.

Охват с изолиниями показан на рис.2.

Результаты расчета показали, что наибольшее воздействие от выбросов ^{131}I при работе ПРУ оказывает по направлениям Ю, ЮЮВ, В, ВСВ, а соответственно в сторону удаления от ближайшего к ПРУ г. Озерска.

Вклад от облучения с пищей не учитывался ввиду отсутствия участков производства с/х продукции в пределах 12 км зоны вокруг точки выброса. Расчеты влияния газообразных выбросов на таком расстоянии будут являться не представительными. В табл.4 представлены годовые дозы облучения от выбросов ^{131}I с учетом вклада

различных физико-химических форм и путей облучения.

Из табл.4 видно, что суммарная эффективная доза за год от всех форм радиоиода не превышает $1,05 \cdot 10^{-5}$ мкЗв, что значительно ниже уровня 10 мкЗв/год. Легкосорбируемая форма ^{131}I при облучении от почвы демонстрирует большее дозовое воздействие, чем трудносорбируемая, даже при условии, что количество выбрасываемого ^{131}I в трудносорбируемой физико-химической форме за год превышает количество легкосорбируемой более, чем на два порядка. Это обусловлено различием в дозовых коэффициентах и степенью сорбции в почве. Вклад в годовую дозу от аэрозольной, легко- и трудносорбируемой формы ^{131}I составляет 0,15%, 0,96% и 98,89% соответственно.

Проведен консервативный расчет годового воздействия

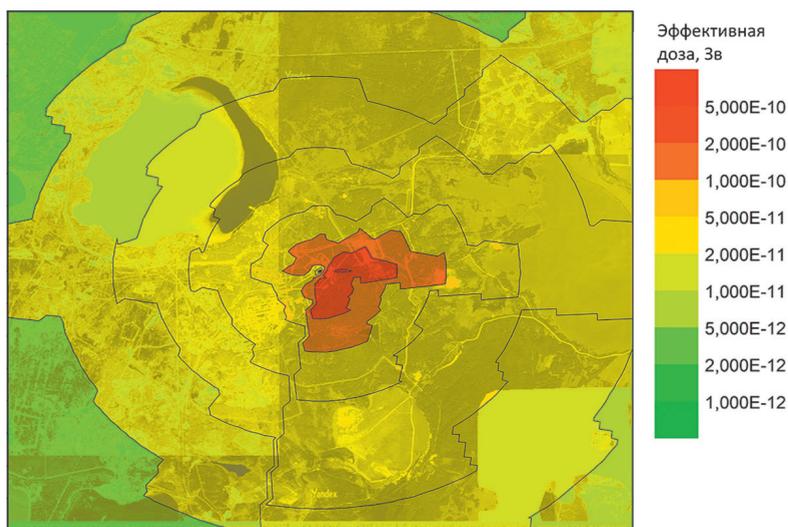


Рис.2. Зона воздействия выбросов ПРУ.

Табл.4. Годовые дозы облучения от выбросов ^{131}I с учетом вклада различных физико-химических форм и путей облучения.

Физико-химическая форма ^{131}I	Внешнее облучение, мкЗв	Облучение от почвы, мкЗв	Ингаляционное поступление, мкЗв	Эффективная доза, мкЗв/год
Аэрозоль	$3,1 \cdot 10^{-11}$	$6,42 \cdot 10^{-9}$	$9,22 \cdot 10^{-9}$	$1,57 \cdot 10^{-8}$
Легкосорбируемая	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$1,03 \cdot 10^{-7}$	$5,93 \cdot 10^{-8}$	$1,63 \cdot 10^{-7}$
Трудносорбируемая	$3,44 \cdot 10^{-8}$	$8,96 \cdot 10^{-8}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$
Сумма	$3,46 \cdot 10^{-8}$	$1,99 \cdot 10^{-7}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$

Табл.5. Годовые дозы облучения от выбросов ^{131}I без учета вклада различных физико-химических форм.

Физико-химическая форма ^{131}I	Внешнее облучение, мкЗв	Облучение от почвы, мкЗв	Ингаляционное поступление, мкЗв	Эффективная доза, мкЗв/год
Консервативная оценка	$6,26 \cdot 10^{-7}$	$3,24 \cdot 10^{-4}$	$1,86 \cdot 10^{-4}$	$5,00 \cdot 10^{-4}$

в 7 км от точки выброса на границе санитарно-защитной зоны предприятия. В консервативном расчете принималось, что весь радиойод выбрасывается в форме легкосорбируемых соединений. Результаты показаны в табл.5.

Из табл.4 и 5 видно, что при консервативной оценке эффективная доза составляет $5,00 \cdot 10^{-4}$ мкЗв/год, что в 47 раз больше результатов оценки с учетом физико-химических форм. Это лишний раз показывает необходимость определения физико-химических форм для корректного расчета допустимых выбросов и соблюдения природоохранного законодательства.

Заключение

При выборе приборов и методов контроля источника выброса радиоактивного йода необходимо принимать

во внимание его физическую форму – является ли йод газообразным или в виде аэрозолей, а также его физико-химические формы, состав: легко- и трудносорбируемые соединения.

Суммарная годовая эффективная доза от всех форм ^{131}I в выбросах ПРУ не превышает $1,05 \cdot 10^{-5}$ мкЗв, что значительно ниже уровня 10 мкЗв/год. Вклад в годовую дозу от аэрозольной, легко- и трудносорбируемой формы ^{131}I составляет 0,15%, 0,96% и 98,89% соответственно. При консервативной оценке эффективная доза составляет $5,00 \cdot 10^{-4}$ мкЗв/год, что в 47 раз больше результатов оценки с учетом физико-химических форм.

Наибольшее радиационное воздействие от выбросов ^{131}I при работе ПРУ оказывает по направлениям Ю, ЮЮВ, В, ВСВ, а, соответственно,

в сторону удаления от ближайшего к ПРУ г. Озерск.

Метрологически обоснованное определение физико-химических форм соединений ^{131}I в выбросах промышленной реакторной установки необходимо для адекватной оценки при обосновании пределов годовых выбросов, соблюдения природоохранного законодательства и безопасной эксплуатации промышленной реакторной установки.

Из активной зоны ПРУ радиоактивный йод поступает в систему газоочистки в виде газообразных, преимущественно трудно сорбируемых соединений, составляющих не менее 96% от общей активности ^{131}I . В период исследования легкосорбируемые соединения ^{131}I не превышали 4% от общей активности ^{131}I в газоаэрозольной смеси.

Литература

1. International Atomic Energy Agency. Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection. No. RS-G-1.8 Safety Guide. Vienna: IAEA, 2005. P. 23-47.
2. Обращение с газообразными радиоактивными отходами. Требования безопасности. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. НП-021-15. М.: НТЦ ЯРБ, 2015.
3. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. М.: Минздрав России, 2009. 68 с.
4. Стыро Б.И., Недвецкайте Т.Н., Филистович В.И. Изотопы йода и радиационная безопасность. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 255 с.
5. Екидин А.А., Жуковский М.В., Васянович М.Е. Идентификация основных дозообразующих радионуклидов в выбросах АЭС // Атомная энергия. 2016. Т. 120. № 2. С. 106-108.
6. M. Vasyanovich, A. Ekidin, A. Vasilyeva et al. «Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases», *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 51, Issue 4, July, pp. 1176-1179, 2019.
7. A.A. Ekidin, M.E. Vasyanovich, K.L. Antonov, D.V. Markov, Z.D. Markova, I.A. Kapustin, I.Y. Filatov, «Control of aerosol and gaseous compounds of iodine isotopes in the ventilation system of the IVV-2M reactor facility», *Physics of Atomic Nuclei*, vol. 81, no. 10, pp. 1494-1498, 2018.
8. M.E. Vasyanovich, A.A. Ekidin, A.V. Vasilyev, A.I. Kryshev, T.G. Sazykina, I.V. Kosykh, I.A. Kapustin, «Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population», *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 208-209, pp. 106006-106010, 2019.
9. Екидин А.А., Васильев А.В., Васянович М.Е. Современные технологии управления воздействием на окружающую среду как инструмент соблюдения принципа ALARA // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 2(18). С. 67-74.
10. International Atomic Energy Agency. INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Environmental Impact. No. NG-T-3.15. Nuclear Energy Series. Vienna, 2016.
11. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series № GSR. Part 3. Vienna: IAEA, 2011. 472 p.
12. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. РБ-106-15. М.: НТЦ ЯРБ, 2015. 95 с.
13. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 7 ноября 2012 г., № 639.
14. S. Dickinson, S. Bowskill, H.E. Sims. International Iodine Workshop: Full Proceedings. № 5 NEA/CSNI/R, 2016. P. 243-255.
15. Кулюхин С.А. Фундаментальные и прикладные аспекты химии радиоактивного йода в газовой и водной средах // Успехи химии. 2012. Т. 81, № 10. С. 960-982.
16. Екидин А.А., Антонов К.Л., Васянович М.Е. и др. Поступление радиоактивного йода в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС // Радиохимия. 2019. Т. 61, № 3. С. 251-262.
17. Екидин А.А., Васянович М.Е., Марков Д.В. и др. Определение физико-химических форм изотопов йода в вентиляционной системе реакторной установки ИВВ-2М // Атомная энергия. 2016. Т. 121, № 4. С. 237-239.
18. Филатов Ю.Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). Под ред. Кириченко В.Н. М.: Нефть и газ, 1997. 298 с.
19. Екидин А.А., Васянович М.Е., Капустин И.А. и др. Совершенствование методов контроля йода-131 в выбросах атомных станций // Вопр. радиац. безопасности. 2016. № 3(83). С. 17-24.

20. Результаты испытания аналитических фильтров для контроля йода-131 в выбросах реакторного завода [Текст]: сообщение // ФГУП «ПО «Маяк»; исполн.: Занора Ю.А., Степанов С.В., Пашковский Р.В. Исх. № 193-5.8/2794. Озерск, 2017.
21. Кулюхин С.А., Румер И.А., Мизина Л.В. и др. Извлечение летучих соединений радиоактивного йода из паровоздушной среды // Радиохимия. 2017. Т. 59, № 1. С. 71-75.
22. Васянович М.Е., Васильев А.В., Екидин А.А., Антонов К.Л. Программное обеспечение для расчета объемной активности органического и элементарного I-131. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. RU 2018664386. 2018.

Determination of Radiation Exposure to Iodine-131 Emissions During Normal Operation of the Industrial Reactor Installation at Fsee “PO Mayak” Taking into Account Physical and Chemical Forms

Nikitenko Eugeny¹, Romadov Nikolay¹, Pyshkina Maria²

¹ FSUE “PA “Mayak”, Ozersk, Chelyabinsk region, Russia

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

Abstract. The determination of the physicochemical forms of radioiodine in the gas-air environment of an industrial nuclear reactor is necessary to solve related problems – technological control and radiation safety. In the technological context, the results obtained make it possible to adequately assess the efficiency of purification of emissions of radioactive iodine isotopes, the choice of instruments and methods for controlling emissions. In the context of radiation safety, research results make it possible to correctly assess the radiation effects on the environment and humans, substantiation of emission standards for the atmosphere and confirmation of the safety of operation of an industrial reactor installation. The research method is based on the difference in the deposition of radioiodine on a set of one AFA-RMP aerosol filter and six filters of the AFA-SI type, which makes it possible to separately determine the ¹³¹I aerosol, easily and hardly sorbed form. It has been shown that the non-purified gas-aerosol mixture mainly contains radioactive iodine in the form of gaseous hardly adsorbed compounds. For ¹³¹I, the most probable percentage in volumetric activity of hardly adsorbed, easily adsorbed compounds and iodine aerosols was obtained. Based on the data obtained, an assessment of dose loads was carried out taking into account the annual emissions of the reactor installation and weather conditions. A conservative approach to assessing the radiation exposure of ¹³¹I emissions is 47 times higher than the assessment taking into account its physicochemical forms.

Key words: iodine-131, volumetric activity, aerosol, gaseous emissions, physically chemical forms of radioactive iodine, filter pack, silver nitrate, PDV ARM.

Е.И.Никитенко¹ (инж.), Н.Н.Ромадов¹ (зам.гл.инж.), М.Д.Пышкина² (м.н.с.).

¹ ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск Челябинской обл.

² Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург.

Контакты: тел. +7 (909) 090-02-32; e-mail: e.i.nikitenko89@gmail.com.