

ПРОБЛЕМА ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ МОЩНОСТИ АЭС

О.В. Кульбида

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5072

На сегодняшний день существующая проблема возрастания потребления электроэнергии, вынуждает атомные станции выходить на новые мощности, в том числе увеличивать номинальную мощности уже работающих энергоблоков. Что, в свою очередь, приводит к увеличению объемов выбросов. Например, при переходе на 104% мощности от номинальной на третьем энергоблоке Ростовской АЭС выбросы инертных радиоактивных газов выросли более чем в восемь раз и составили 14,15% от годового допустимого выброса. Отсюда перед нами встает вопрос о рисках останова энергоблоков по причине превышения допустимых объемов выбросов инертных радиоактивных газов (ИРГ) и изотопов йода.

Целью данного исследования является анализ состава газообразных отходов и системы газоочистки АЭС, сравнение существующих наполнителей газоочистительных фильтров.

МАГАТЭ рекомендует рассматривать 12 радиоактивных изотопов инертных газов, как важный фактор воздействия на окружающую среду при производстве электроэнергии на АЭС [1]: ^{41}Ar , ^{85}Kr , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , $^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{137}Xe , ^{138}Xe . В России «перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» содержит 13 изотопов инертных газов [2]: ^{41}Ar , ^{85}Kr , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{89}Kr , ^{127}Xe , ^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{137}Xe , ^{138}Xe . Кроме, изотопов инертных газов контролю подлежат изотопы йода: ^{131}I , ^{133}I , ^{135}I .

В табл. 1 представлен вклад отдельных изотопов в суммарную активность выброса ИРГ и йода по типам реакторных установок: отечественных (ВВЭР, РБМК) и зарубежных водо-водяных реакторов с кипящей водой и водой под давлением (BWR, PWR).

Таблица 1. Состав радиоактивных благородных газов и йода в газообразных отходах АЭС [3]

Нуклид	Период полураспада нуклида	Относительное содержание, %			
		ВВЭР	PWR	РБМК	BWP
^{41}Ar	1,85 ч.	0,2	0,03	0,3	—
^{85}Kr	10,7 лет	6	1	0,7	2
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4,5 ч.	5,4	0,6	6,6	5
^{87}Kr	1,3 ч.	1	0,4	13,4	12
^{88}Kr	2,8 ч.	2,2	0,9	18,6	14
^{133}Xe	5,2 суток	72	90	35,2	14
$^{133\text{m}}\text{Xe}$	2,2 суток	—	0,5	—	0,6
^{135}Xe	9,1 суток	13,2	3,2	25,4	26
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	15,7 суток	—	0,8	—	4

Другие изотопы Хе	—	—	2,5	—	22,4
Всего ИРГ	—	100	100	100	100
¹³¹ I	8,0 суток	59,8	98	23,8	12,7
¹³³ I	21,0 ч.	31,9	1	43,5	39,7
¹³⁵ I	6,6 года	8,3	1	32,7	47,6
Всего	—	100	100	100	100

Данные по объемам выбросов инертных радиоактивных газов (в сумме) от АЭС представлены на рис. 1.

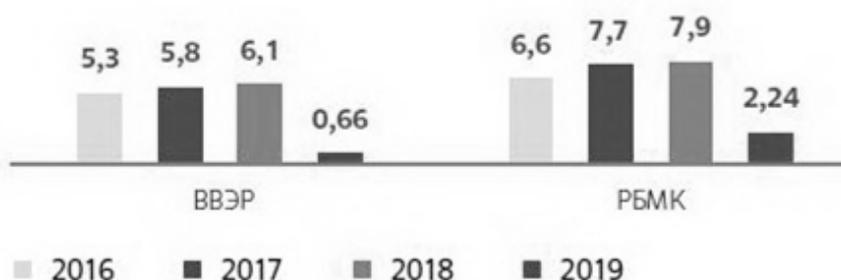


Рис. 1. Выбросы инертных радиоактивных газов от АЭС по типам реакторов, % от допустимого норматива [4]

В настоящее время достаточно хорошо проработаны с научной и технологической точек зрения такие методы разделения газовых смесей, как адсорбция, абсорбция, криогенная дистилляция и мембранные методы. Для атомной энергетики характерным является выдержка для естественного распада радиоактивной примеси (в течение времени, сравнимого с десятью периодами распада радионуклида). Выдержке подвергают непосредственно отходящий газ на протоке или в газгольдерах, либо после предварительной подготовки: сжатия, сжигания, разделения, а также в адсорбционных колоннах.

Отходящие газы реакторов с кипящей водой и водой под давлением содержат, кроме долгоживущего изотопа ⁸⁵Kr (период полураспада 10,77 лет), в основном короткоживущие изотопы криптона и ксенона. Длительное удерживание этих благородных газов на адсорбентах в больших концентрациях не представляется возможным. Однако, если время удерживания в одном адсорбере, снаряженном активным углем, достаточно велико по сравнению с периодом полураспада изотопа, то на угле накапливаются твердые продукты, образованные из этих короткоживущих изотопов благородных газов. Чтобы обеспечить достаточно продолжительные времена удерживания, используется система из нескольких адсорберов. Срок службы активных углей в таких системах практически неограничен.

Долгоживущий изотоп ⁸⁵Kr, который присутствует в отходящем воздухе только в очень малых количествах, невозможно уловить с помощью обычных очистных устройств. Для этой цели разработан специальный процесс, в котором в качестве адсорбента используется активный кокс. Поток поступающего на очистку воздуха очищается в одном из сдвоенных аппаратов почти до проскока криптона, а затем переключается на второй аппарат. Первый адсорбер

откачивается в направлении воздушного потока и небольшой объем содержащего криптон газа, выделяющегося из слоя адсорбента при откачивании, также направляется во второй адсорбер. Основной объем радиоактивного благородного газа можно удалить из слоя угля откачиванием и вытеснением небольшим количеством водяного пара. После конденсации воды криптон можно выделить в довольно высоких концентрациях. Откачанный реактор снова приводится к нормальному давлению подачей воздуха. [5].

На рис. 2. представлена схема обработки газообразных отходов на отечественных АЭС.

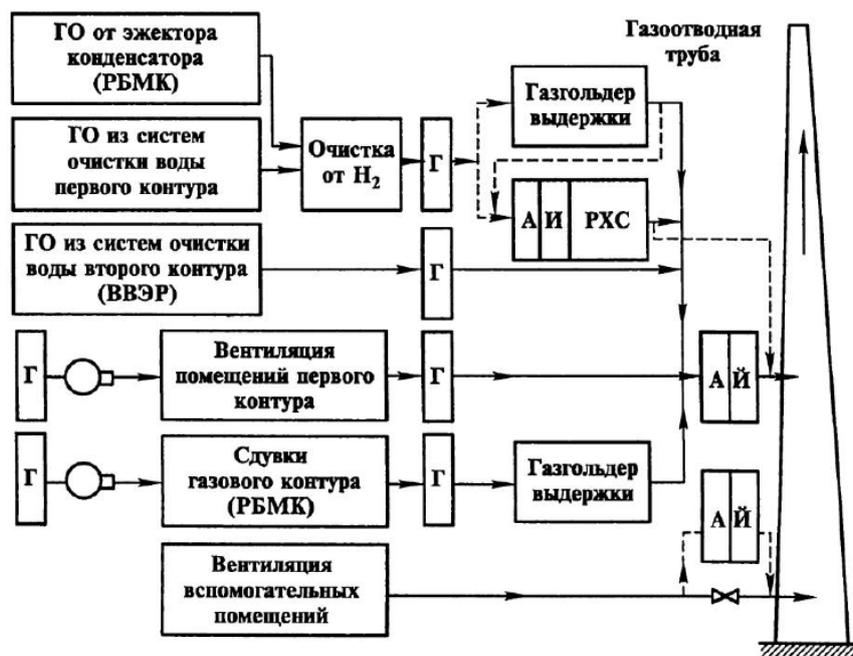


Рис. 2. Схема обработки и удаления газообразных продуктов на АЭС с реактором типа ВВЭР или РБМК: Г – фильтр грубой очистки; А (И) – аэрозольный (йодный) фильтр; РХС – радиохроматографическая система очистки газов [3]

Для уменьшения активности выбрасываемых газов их либо на определенное время закачивают в газгольдеры, о чем говорилось выше, либо пропускают через радиохроматографическую систему (РХС) очистки газов. Основным элементом данной системы – фильтр-адсорбер, заполненный активированным углем. Благодаря динамической адсорбции на угле происходит временная задержка газов при их прохождении через РХС в течение времени, зависящего от конструкции РХС, условий эксплуатации, массового числа радионуклида. Так адсорбер с рабочим объемом 20 м³ обеспечивает задержку ксенона на 42 суток и криптона на 3,5 суток. Временная задержка газообразных отходов во много раз уменьшает их активность, что эквивалентно улавливанию значительной части радионуклидов [3]. Следовательно, чем лучшей прочностью на истирание, большей насыпной плотностью и меньшим размером частиц будет обладать угольный адсорбент, тем лучше будет производиться очистка. Для этого проанализируем несколько сайтов поставщиков (АО «ЭНПО «Неорганика»», ООО «КОФИЛЬТРСОРБОСГРУП» и др.) активного угля и сравним существующие адсорбенты, пригодные для систем газоочистки АЭС.

Таблица 2. Адсорбционные и прочностные свойства сорбентов

Тип сорбента	Размер частиц, мм	Насыпная плотность, г/см ³	Динамическая активность по стабильному молекулярному йоду, г/дм ³	Адсорбционная активность по ¹³¹ I, %	Прочность на истирание (ГОСТ 16188-70), %
208С 5ТЕДА	1,18-2,36	0,57-0,62	-	94,00	95
207В 5 ТЕДА	1,7-3,35	0,50-0,63	-	99,68	95
ВСК-5И	1,5-2,8	0,456	35	99,92	88
ВСК-5ИК	1,7-3,4	0,458	35	99,99	88
КДС-А	1,0-2,8	0,600	-	30,00	60
СКТ-3И	1,5-3,6	0,442	10	99,80	71
СКТ-3ИК	1,5-2,8	0,442	10	99,99	68

Заключение. По результатам данного исследования было установлено, что основной вклад в активность газообразных выбросов вносят ¹³³Xe, ¹³⁵Xe, ¹³¹I. Для уменьшения активности данных изотопов на АЭС предусматривается задержка радиоактивных газов в газгольдерах или пропуск через РХС очистки газов. Лучшим наполнителем для адсорберов данной системы является активированный уголь марки ВСК-5ИК.

ЛИТЕРАТУРА:

1. INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Environmental Impact. – Vienna: IAEA, 2016. – Vol. 12/13. – P. 40–44. – (IAEA Nuclear Energy Series; № NG-T-3.15).
2. Пыркова А.А. и др. Поступление инертных радиоактивных газов в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС // Физика. Технологии. Инновации. – Екатеринбург: Изд-во УФУ им. Б.Н. Ельцина, 2019. – С. 279-287.
3. Техника и технология защиты воздушной среды: Учеб. пособие для вузов/ В.В. Юшин, В.М. Попов, П.П. Кукин и др. – М.: Высш.шк., 2005. – 391 с.: ил.
4. Итоги деятельности государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2019 год [Электронный ресурс] // Сайт Росатома. – Режим доступа: <https://report.rosatom.ru>, свободный. – Загл. с экрана. (12.11.2021).

5. В.М. Мухин Активные угли и углеродные сорбенты для эффективного поглощения радионуклидов [Электронный ресурс] // neorganika.ru. - Режим доступа: <https://neorganika.ru/2013-02-18-14-13-23/180-2013-02-19-14-21-34>

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, к.п.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НА ЭМИССИЮ ОКСИДОВ АЗОТА

М.И. Лушников, Н.В. Абрамов
Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5ВМ01

Актуальность. Тепловые электрические станции являются одними из крупнейших источников загрязнения окружающей среды. Среди вредных газообразных примесей в продуктах сгорания любых энергетических топлив значительную долю составляют оксиды азота. Поэтому задача уменьшения выхода оксидов азота в процессе сжигания топлив на ТЭС весьма актуальна и важна. Ее решение возможно, как на стадии проектирования новых котлов, так и в процессе эксплуатации действующих агрегатов.

Целью работы является оценка влияния рециркуляции дымовых газов на образование оксидов азота при сжигании газообразного топлива.

Тепловой расчет будет производиться на примере парового котла Е–100–3,9–400 Г. Паровой котел Е–100–3,9–400 Г – водотрубный, с естественной циркуляцией. Котел представляет собой вертикальную трехходовую конструкцию, которую составляют по ходу газов: топка, поворотный газоход, в котором расположен пароперегреватель, конвективный газоход, в котором расположены котельный пучок и две ступени водяного экономайзера. Затем дымовые газы направляются в отдельно расположенный воздухоподогреватель. Котел газоплотный. Топка и конвективный газоход ограждены мембранными панелями.

Основные параметры парового котла приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры парового котла

Наименование	Величина
Номинальная паропроизводительность, т/ч	100
Давление пара, МПа	3,9
Температура перегретого пара, °С	400
Температура питательной воды, °С	104
КПД, %	94
Габаритные размеры котла с площадками обслуживания, мм	
длина	16 650
глубина	14 400
высота	19 850