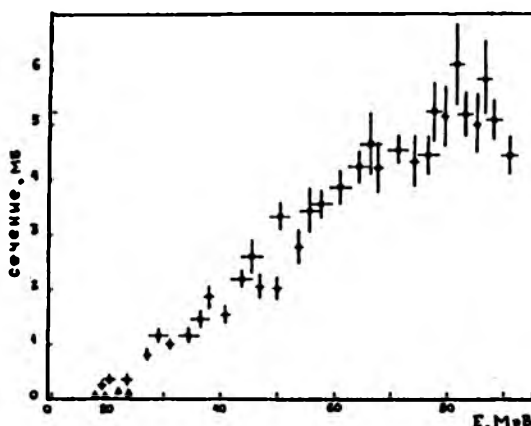




Р и с. 3. Сечения реакции $^{27}\text{Al}(^3\text{He}, X)^7\text{Be}$: ● — настоящая работа; Δ — [7]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hashizume A., Tendow Y., Ohkubo Y. e.a. Present status of a monitor reaction $\text{Al}(p, X)^{24}\text{Na}$. — RIKEN Accel. Progr. Rept., 1987, v. 21, p. 90.
2. Vukolov V.A., Chukreev F.E. Evaluated Cross-Sections used as Proton beam Monitors. INDC (CCP)-330/L. Vienna: IAEA, 1991.
3. Bodemann R., Lange H.-J., Loya I. e.a. Production of residual nuclei by proton-induced reactions on C, N, O, Mg, Al and Si. — Nucl. Instrum. Meth., 1993, № 1, v. B82, p. 9—31.
4. Probst H., Qaim S., Weinreich R. Excitation functions of high-energy α -particle induced nuclear reactions on aluminium and magnesium: production of ^{28}Mg . — Intern. J. Appl. Radiat. Isot., 1976, v. 27, № 3, p. 431—441.
5. Martens U., Schweimer G. Production of ^7Be , ^{22}Na , ^{24}Na and ^{28}Mg by irradiation of ^{27}Al with 52 MeV deuterons and 104 MeV alpha particles. — Z. Phys., 1970, v. 233, № 2, p. 170—177.
6. Michel R., Brinkmann G., Galas M. e.a. — Production of ^{24}Na and ^{22}Na by ^2H - and ^3He -induced reactions on aluminium. Data in Computerized Form EXFOR, A0158.001, 1982.
7. Cochran D., Knight J. Excitation functions of some reactions of 6- to 24-MeV ^3He ions with carbon and aluminium. — Phys. Rev., 1962, v. 128, № 3, p. 1281—1286.
8. Брилль О.Д. Сечения реакций ^3He с легкими ядрами. — Ядерная физика, 1965, т. 1, вып. 1, с. 55—60.
9. Frantsvog D., Kunselman A., Wilson R. e.a. Reactions induced by ^3He and ^4He ions on natural Mg, Al and Si. — Phys. Rev. C, 1982, v. 25, № 2, p. 770—779.
10. Домников В.Н., Дубар Л.В., Зыбин В.А. и др. Полные сечения реакций взаимодействия α -частиц с ядрами Mg и Al. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1988, т. 52, № 5, с. 899—901.
11. Гончар А.В., Коцдратев С.Н., Лобач Ю.Н. и др. Образование долгоживущих радионуклидов при облучении циркония дейтронами. — Атомная энергия, 1993, т. 75, вып. 3, с. 205—313.
12. Tuli J. Nuclear Wallet Cards. National Nuclear Data Center, BNL, 1990.
13. Browne E., Firestone R. Tables of Radioactive Isotopes. New York: A Wiley-Interscience Publication, 1986.
14. Пучеров Н.Н., Романовский С.В., Чеснокова Т.Д. Таблицы массовой тормозной способности и пробегов заряженных частиц с энергией 1—100 МэВ. Киев: Наукова думка, 1975.

Поступило в Редакцию 17.03.95

УДК 621.039.584

ЭФФЕКТИВНОЕ СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ РБГ НА АЭС С РБМК

Гончаров Б.И., Козырь В.Н., Носовский А.В., Осколков Б.Я., Фомин В.В.
(ПО «Чернобыльская АЭС»), Иванов Е.А. (ВНИИАЭС)

Известно, что основной вклад в суммарный выброс радионуклидов в атмосферу вносят радиоактивные благородные газы (РБГ). Из данных о выбросах Чернобыльской АЭС в послеварийный период (табл. 1) следует, что активность выброса РБГ в 10^4 — 10^6 раз больше, чем остальных радионуклидов. Несмотря на то, что активность РБГ ниже, долгоживущих радионуклидов и мода значительно ниже предельно допустимого выброса, снижение аэрозольных выбросов для АЭС остается актуальным.

Т а б л и ц а 1. Среднесуточные газоаэрозольные выбросы Чернобыльской АЭС в 1987—1994 гг.

Год	РБГ, ТБк/сут	Долгоживущие радионуклиды, МБк/сут	^{131}I , МБк/сут
1987	18	230	230
1988	12	120	220
1989	8,5	140	33
1990	10	140	30
1991	10	120	19
1992	8,7	37	7,8
1993	10	36	22
1994	4,7	13	19

На АЭС с РБМК среди РБГ доминирует ^{41}Ag , его доля составляет 14—70% суммарной активности выбросов, вклад в дозу облучения населения — от 35 до 90%. Следует особо отметить, что относительно большой вклад характерен для АЭС, на которых в системе очистки газоаэрозольных выбросов нет камер выдержки. Так, на Чернобыльской АЭС вклад ^{41}Ag в суммарный выброс радионуклидов в 1992 г. составлял 84%, в 1993 г. — 90%. В 1994 г. концентрация газообразных продуктов деления (ксенона, криптона) находилась на уровне предела минимально детектируемой активности штатной аппаратуры контроля на 3-м энергоблоке и немного выше на 1-м и, таким образом, почти весь газовый выброс был представлен ^{41}Ag .

Радиационная опасность РБГ неодинакова. Наибольший вклад в дозу облучения человека при прочих равных условиях обусловлен атмосферным выбросом $^{88}\text{Kг}$ и ^{41}Ag [1]. Характерны результаты расчета годовой дозы облучения персонала и населения с учетом реального состава РБГ и различных путей воздействия в зависимости от расстояния от АЭС. Из данных табл. 2 следует, что в пределах зоны отчуждения доза облучения персонала от выбросов 3-го энергоблока в режиме нормальной эксплуатации почти полностью обусловлена поступлением ^{41}Ag в атмосферу. Доза облучения населения за пределами 30-километровой зоны также более чем на 90% формируется за счет этого радионуклида. Таким образом, наиболее эффективный путь снижения дозовой нагрузки на персонал и население от радионуклидов атмосферного выброса состоит в максимальном подавлении активности ^{41}Ag .

Т а б л и ц а 2. Доза облучения человека по различным путям воздействия газоаэрозольных выбросов 3-го энергоблока Чернобыльской АЭС, нЗв/год (10^{-9} Зв/год)

Путь воздействия	Расстояние, км	
	5	30
Внешнее облучение:		
от облака	3900	300
от выпадений	24	3,4
Внутреннее облучение:		
от ингаляции	1,3	0,18
по пищевым цепочкам		19
По всем путям	~3930	~323

Основным источником образования ^{41}Ag на АЭС с РБМК является контур охлаждения СУЗ. В результате радиолитических реакций в воде контура охлаждения СУЗ образуются водород, кислород, перекись водорода и азотсодержащие соединения. Водород из воды выделяется в газовых полостях каналов быстрой аварийной защиты, циркуляционном, сливном и аварийном баках СУЗ. Для исключения образования взрывоопасной концентрации гремучей смеси в газовых объемах баков и поддержания допустимой концентрации продуктов радиолитических реакций предусмотрена специальная вентиляция. Вентиляцию осуществляют прокачкой воздуха через газовые объемы баков со сдувкой в систему спецвентиляции и затем в вентиляционную трубу энергоблока. При этом в газовых полостях баков контура охлаждения СУЗ происходит интенсивный газообмен продуваемого воздуха с контурной водой. В воздухе содержится ^{40}Ar (1%), который, растворяясь в воде, переносится ею и активируется в активной зоне реактора, образуя радиоактивный ^{41}Ar с периодом полураспада

1,83 ч. В процессе газового обмена с воздухом через зеркало воды в аварийном, циркуляционном, сливном баках и каналах быстрой аварийной защиты ^{41}Ag вместе с продуктами радиолитического распада выделяется в газовые полости баков и через систему вентиляции выбрасывается в атмосферу.

Для снижения выбросов ^{41}Ag из контура СУЗ энергоблоков АЭС с РБМК предложены различные способы.

Одним из путей уменьшения выброса РБГ в атмосферу является установка поглощающих фильтров в вентиляционную систему (патент Японии № 4-253759). Еще одним вариантом исключения выбросов ^{41}Ag в окружающую среду является создание замкнутого контура вентиляции циркуляционного и аварийного баков, включающего в себя установку сжигания водорода (патент России № 2013812). Этот проект внедрен на Смоленской и Курской АЭС. К сожалению, известные методы снижения газовых выбросов АЭС обладают недостаточной надежностью, высокой стоимостью и сложностью в реализации, особенно в условиях действующих энергоблоков. В случае отказа системы вентиляции создается реальная угроза взрыва гремучего газа.

Альтернативный способ снижения выбросов ^{41}Ag состоит в использовании для продувки баков СУЗ азота высокой степени очистки (не менее 99,99% по объему), почти не содержащего аргона. Для реализации этого метода на 3-м энергоблоке Чернобыльской АЭС смонтирована несложная схема для подачи азота от проектной линии давлением ~0,6 МПа на продувку баков контура охлаждения СУЗ. Продувка баков азотом проводилась при их вентиляции со сбросом газов в вентиляционную систему при атмосферном давлении. В процессе проведения работ контролировали ожидаемый суточный выброс в вентиляционную трубу ВТ-2, концентрацию водорода в баках СУЗ и pH воды контура охлаждения СУЗ, а также давление в газовых полостях нижних баков.

До начала работ по модификации имеющейся системы продувки контура охлаждения СУЗ суточный выброс РБГ (с 25 по 30 апреля 1994 г.) составил 7,4—8,1 ТБк. С 15 по 30 июня на азотную продувку были переведены все баки СУЗ, в результате чего произошло снижение суточного выброса ниже предела чувствительности штатной аппаратуры контроля (0,74 ТБк/сут). Переход на азотную продувку баков СУЗ приводит к резкому снижению количества растворенного ^{40}Ar в контуре охлаждения каналов СУЗ (в том числе и каналов быстрой аварийной защиты) и эффективному подавлению всех источников поступления ^{41}Ag в атмосферу. На радиолитическое образование водорода в контуре охлаждения СУЗ влияют только мощность дозы облучения воды контура и линейная передача энергии излучения [2]. Их значения не зависят от среды, используемой для вентиляции газовых объемов. Таким образом, замена воздуха на азот при продувке баков СУЗ не приводит к интенсификации процессов радиолитического распада и увеличению образования водорода. В период азотной продувки на 3-м энергоблоке Чернобыльской АЭС при оптимальном режиме концентрация водорода в аварийном баке СУЗ поддерживалась на уровне 0,3—0,9% по объему и не превышала установленных пределов. Показатели водно-химического режима контура СУЗ фактически не изменились.

Следует особо отметить, что переход на азотную продувку почти полностью исключает вероятность образования в газовых объемах баков контура охлаждения СУЗ гремучей смеси, что повышает безопасность реакторной установки.

В результате перехода на новую систему продувки достигается значительное (по нашим оценкам в 8—10 раз) снижение выбросов РБГ. При этом вклад в дозу облучения персонала от газоаэрозольных выбросов 3-го энергоблока АЭС снижается более чем в 8, населения — примерно в 5 раз.

Издержки на внедрение, наладку, эксплуатацию и техническое обслуживание системы азотной продувки намного ниже затрат при реализации альтернативных проектов. Отсутствие в реализованной схеме сложного оборудования обеспечивает высокую надежность и безопасность при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник правил и норм по радиационной безопасности в атомной энергетике. Т. 3. М., МЗ СССР, 1989.
2. Пикаев А.К. Импульсный радиолитический распад воды и водных растворов. М.: Наука, 1965.