

над поверхностью льда. На высоте 1,5 и 0,25 м воздух над скалами содержит соответственно в $1,6 \pm 0,2$ и $2,5 \pm 0,5$ раза больше короткоживущих продуктов распада эманаций, чем над поверхностью льда. Известно, что концентрация естественно радиоактивных ядер над экскалирующей поверхностью снижается с высотой [4]. Поэтому увеличение отношения концентрации надо льдом с уменьшением высоты отбора проб можно объяснить двояко. Для получения однозначного ответа на этот вопрос вычислено отношение концентрации радиоактивных ядер на высоте 1,5 м к концентрации на высоте 0,25 м. Для скалистого склона ледника оно оказалось равным $0,8 \pm 0,2$ и для поверхности льда $1,3 \pm 0,1$. Следовательно, уровень естественной радиоактивности воздушных слоев понижается в зависимости от близости их к поверхности льда.

В заключение заметим, что относительно низкая естественная радиоактивность воздуха, отмеченная в вы-

сокогорных условиях, может быть, является следствием близости обширной неэкскалирующей ледяной поверхности.

Поступило в Редакцию 4/IV 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеми-заде А. Э. «Атомная энергия», 1967, т. 23, вып. 1, с. 80.
2. Шеми-заде А. Э. Сб. докл. 3-й научной конференции молодых специалистов ИЗМИРАН. М., Изд. ИЗМИРАН, 1971, с. 248.
3. Космические данные, № 7, 8. «Наука», 1971.
4. Стыро Б. И. Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс, «Минтис», 1959.
5. Милин В. Б. и др. Радиоактивные изотопы в атмосфере и их использование в метеорологии. М., Атомиздат, 1965, с. 47.

Канал-криостат конденсационного типа для низкотемпературных облучений

ПАРХОМЕНКО В. Д., ГОЩИЦКИЙ Б. Н., ДУБИНИН С. Ф., КОРОВОВСКИХ П. М., СИДОРОВ С. К., ЧУДИНОВ В. Г., ЧУКАЛКИН Ю. Г.

УДК 621.039.555.34

В установках для проведения внутривакуумного облучения при температурах, близких к температуре кипения жидкого азота, для охлаждения могут быть использованы: 1) газообразный хладагент (обычно это азот или гелий) [1—3]; 2) технический жидкий азот (содержание кислорода до 10 вес.%) [4, 5]; 3) чистый жидкий азот (содержание кислорода 0,1—0,001 вес.%) [6—10].

При эксплуатации установок первого типа при высоких значениях потоков быстрых нейтронов и сопутствующего γ -излучения требуется решить ряд достаточно сложных технических вопросов (прокачка, очистка и хранение большого количества газообразного хладагента, применение специальных безмасляных компрессоров большой производительности и т. д.) [1, 3]. Существуют более простые установки [2], но их эксплуатация требует расхода большого количества технического азота.

Использование в качестве хладагента технического азота в установках второго типа связано с опасностью возникновения взрывов [1, 11, 12], природа которых достаточно подробно описана в работе [12]. При создании установок такого типа необходимо принимать специальные меры по взрывобезопасности [11], которые приводят к увеличению расхода хладагента.

По-видимому, наиболее удобны в эксплуатации установки третьего типа (конденсационного с естественной циркуляцией хладагента), работающие по принципу термосифона [7—10]. Эти установки исключают применение специальных компрессоров для перекачки хладагента, взрывобезопасны и позволяют достигать достаточно больших тепловых мощностей. Поскольку хладагент находится в замкнутом контуре, в период эксплуатации установки не требуется его дополнительной очистки.

Разработанный и изготовленный канал-криостат конденсационного типа установлен в отражателе реактора за слоем бериллия толщиной порядка 64 мм. Зона рабочего объема канала-криостата характери-

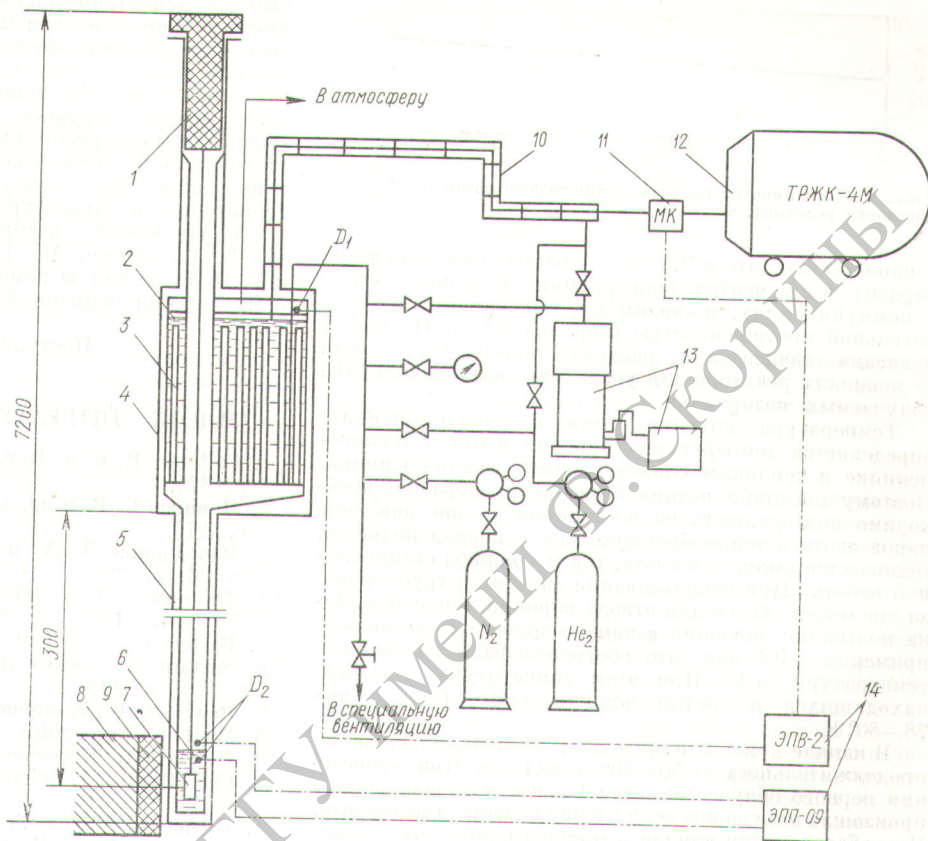
зуется следующими средними значениями уровней излучений: мощность дозы γ -излучения $6 \cdot 10^8$ р/ч; поток тепловых нейтронов $8 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²·сек; поток быстрых нейтронов ($E \geq 0,8$ Мэв) $5 \cdot 10^{12}$ нейтр/см²·сек. В результате проведенных специальных измерений [13] установлено, что радиационное тепловыделение в месте расположения канала-криостата во всех используемых в конструкции материалах составляет примерно 0,6 вт/г.

На рис. 1 показана принципиальная схема установки, которая состоит из следующих основных узлов: головки канала с защитной пробкой, теплообменника, канала-криостата, вакуумной рубашки. В теплообменник по трубопроводу с вакуумной изоляцией подается технический азот из сосуда ТРЖК-4М под давлением 2—2,5 бар. При достижении рабочего уровня дальнейшая подача азота осуществляется автоматически с помощью датчика уровня D_1 , установленного в теплообменнике. Сигнал датчика подается на потенциометр ЭПВ-2, управляющий магнитным клапаном МК, который регулирует подачу технического жидкого азота в теплообменник. В качестве датчика использована термопара медь — константан с электрическим нагревателем. Принцип действия датчика основан на разности значений коэффициента теплоотдачи в газообразном и жидком азоте.

После заполнения теплообменника в канал-криостат подается чистый газообразный азот под давлением порядка 2 бар, который конденсируется на внутренней поверхности теплообменника и стекает на дно канала-криостата. Для поддержания уровня жидкого азота в канале-криостате предназначены два термометрических датчика уровня D_2 , расположенных друг от друга на расстоянии 4 см. Нижний датчик находится в жидком азоте, а верхний — в газообразном. Термопары датчиков зачеканены в сферы из нержавеющей стали диаметром 5 мм. Термопары нагреваются за счет радиационного энерговыделения в сферах, поэтому окончательная установка уровня производится во время выхода реактора на мощность. В процессе работы

Рис. 1. Принципиальная схема установки:

1 — защитная пробка; 2 — технический жидкий азот; 3 — теплообменник; 4 — вакуумная рубашка; 5 — канал-криостат; 6 — чистый жидкий азот; 7 — образец; 8 — активная зона; 9 — отрагатель; 10 — линия подачи технического азота; 11 — магнитный клапан; 12 — резервуар технического жидкого азота; 13 — форвакуумный и диффузионный насосы; 14 — электронные потенциометры; D_1 , D_2 — датчики уровня жидкого азота.



чистый жидкий азот испаряется, отбирая тепло от облучаемого объекта и деталей конструкции канала-криостата и попадает в теплообменник, где снова конденсируется и т. д. В рабочем состоянии в канале-криостате устанавливается некоторое равновесное давление (порядка 1,3 бар), которое определяется количеством тепла, выделяемым в канале-криостате, образце и хладагенте, и поверхностью теплообмена.

Коэффициент теплопроводности материала теплообменника слабо влияет на суммарное тепловое сопротивление. Например, замена нержавеющей стали медью уменьшает тепловое сопротивление приблизительно на 3—5%. Это позволило изготовить всю установку из нержавеющей стали 1X18Н10Т. Канал-криостат изготовлен из трубы размером 40 × 0,5 мм и длиной 2850 мм, которая присоединяется к теплообменнику резьбовым соединением с индиевым уплотнением. Теплообменник представляет собой цилиндрический сосуд (диаметр 169 мм, длина 950 мм, толщина стенки 2 мм) с общей поверхностью теплообмена (90 тонкостенных трубок диаметром 10 мм) порядка 2 м². Наружный кожух вакуумной рубашки изготовлен из нержавеющей стали толщиной 3 мм и обеспечивает достаточную прочность конструкции в случае нарушения герметичности канала-криостата.

Для подачи жидкого азота в теплообменник использованы гибкие герметичные рукава из нержавеющей стали. Наружный рукав имеет диаметр 32 мм, а внутренний — 10 мм. Промежуток между рукавами исполь-

зуется для откачки вакуумной рубашки установки. Для предотвращения касания в нем установлены дистанционирующие кольца. Газообразный технический азот из теплообменника отводится по гибкому рукаву диаметром 32 мм без вакуумной изоляции.

После загрузки образцов канал герметично закрывается пробкой, и при работающем реакторе канал-криостат и внутренняя полость теплообменника откачиваются до давления 10^{-2} торр. Вакуумная рубашка при этом заполнена газообразным гелием при давлении 2,5 бар, что позволяет снизить температуру радиационного разогрева элементов конструкции до 300—350° С. Если разогрев образцов нежелателен, то в исходном состоянии они могут быть подняты к пробке и с помощью специального устройства опущены в зону облучения при остановленном реакторе без разгерметизации канала. Откачку вакуумной рубашки и заполнение теплообменника осуществляют при остановленном реакторе, так как при номинальной мощности 10 Мвт и давлении в рубашке $5 \cdot 10^3$ торр температура элементов конструкции вследствие радиационного разогрева повышается до 700—800° С. Затем канал-криостат заполняется чистым азотом, образцы перемещаются в зону облучения и охлаждаются чистым жидким азотом.

Расход технического азота при мощности реактора 10 Мвт и общем весе облучаемых материалов 300 г (образцы 80 г, жидкий азот 80 г, канал-криостат 140 г) составляет 17—18 кг/ч, из них 11,2 кг/ч — потери в коммуникациях, 2,8 кг/ч — потери в теплообменнике.

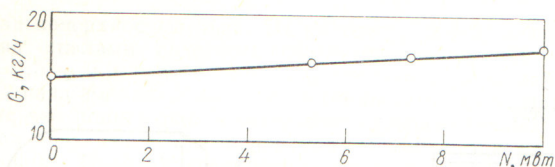


Рис. 2. Зависимость расхода технического азота G от мощности реактора.

и канале-криостате и 3,6 кг/ч — расход на охлаждение образца и элементов конструкции. Большие потери в коммуникациях, по-видимому, объясняются их значительной протяженностью (порядка 20 м). На рис. 2 показана зависимость расхода технического азота от мощности реактора для указанного выше количества облучаемых материалов.

Температура кипения азота в канале-криостате определяется температурой кипения азота в теплообменнике и тепловым сопротивлением теплообменника. Поэтому для стабилизации температуры образцов необходимо поддерживать на постоянном уровне давление паров азота в теплообменнике как в период подкачки технического жидкого азота, так и в период стационарной работы. При использовании сбросного трубопровода диаметром 32 мм для отвода паров из теплообменника колебания давления в канале-криостате составляли примерно $\pm 0,1$ бар, что соответствовало колебаниям температуры $\pm 1^\circ$. При этом температура образцов, находящихся в чистом жидком азоте, была равна 78—80° К.

В канале-криостате проводили несколько облучений продолжительностью 50—100 ч каждое. При проведении первого облучения через 1 ч после начала работы произошло нарушение герметичности канала-криостата. При обследовании канала в горячей камере было обнаружено, что труба в месте сварки с дном «вспучена» и в нескольких местах оторвана от дна. По-видимому, причиной разгерметизации был взрыв, так как, по дан-

ным масс-спектрометрическим анализа, используемый «чистый» азот содержал 0,5% кислорода. В последующих экспериментах чистый азот, полученный с ожижителя в колонке, заполненной цеолитом, и пропускался через медную стружку при температуре 550° С для уменьшения содержания кислорода. После такой очистки содержание кислорода в газе не превышало 0,002%, и при дальнейшей эксплуатации установки нарушений герметичности канала-криостата не наблюдалось.

В заключение авторы выражают благодарность В. Ф. Онищенко, М. Т. Теличко, В. Г. Вологину и Г. И. Вачковой за помощь в изготовлении установки и проведении испытаний.

Поступило в Редакцию 4/IV 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coltman R. e. a. Rev. Scient. Instrum., 1957, v. 28, p. 375.
2. Новиков С. Р. и др. «Атомная энергия», 1966, т. 20, с. 275.
3. Вачкалория Л. А. и др. «Атомная энергия», 1969, т. 26, с. 288.
4. Thompson M., Jefferson-Loveday D. J. Scient. Instrum., 1958, v. 35, p. 397.
5. Bortels G. J. Scient. Instrum., 1959, v. 36, p. 11.
6. Sartain C., Yockey H. Rev. Scient. Instrum., 1958, v. 29, p. 118.
7. Bewilogia L., Kononer R. Cryogenics, 1961, v. 2, p. 46.
8. Weil L. Cryogenics, 1961, v. 1, p. 129.
9. Hofgen H. Kernenergie, 1968, v. 11, p. 216.
10. Chen C. e. a. J. Scient. Instrum., 1969, v. 2, Series 2, p. 146.
11. Heyne L. Cryogenics, 1962, v. 2, p. 332.
12. Chen C., Struss R. Cryogenics, 1969, v. 9, p. 131.
13. Герасименко В. П. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 31, с. 7.

К вопросу о дисперсности аэрозолей, образующихся при горении теплоносителя и материалов активной зоны быстрого реактора

РАХМАНОВ Б. Н., МАЛЮТИН С. В., ЗАРАЕВ О. М., КОНСТАНТИНОВ И. Е.

УДК 621.039.58

В работе [1] рассмотрены механизмы образования радиоактивных аэрозолей при авариях на быстрых реакторах. Следует отметить два типа возможных аварий. Во-первых, аварии, при которых, происходит разуплотнение первого контура реактора и потеря части теплоносителя без разрушения активной зоны. В этом случае радиоактивный натрий, имеющий температуру 500—600° С [2], при соприкосновении с воздухом самовозгорается, образуя большое количество аэрозольных частиц в виде тумана. Во-вторых, аварии, при которых кроме горения натрия происходит частичное расплавление активной зоны реактора [3]. При такой аварии воздушная среда технологических помещений загрязняется радиоактивными аэрозолями вследствие горения натрия, приводящего к испарению ядерного горючего, выделению продуктов деления и конструкционных материалов.

В настоящей работе проведено исследование в лабораторных условиях дисперсности аэрозолей, образу-

ющихся при горении натрия. Установка для сжигания состоит из электронагревателя и шестикаскадного импактора, размещенных в вытяжном шкафу типа Ш-I объемом 0,55 м³. Электронагреватель, который рассчитан на температуру до 1000° С, питается от низковольтного выпрямителя ВСА-6М. Характеристики шестикаскадного импактора описаны в работе [4].

Образцы натрия весом 0,1—20 г предварительно нагревали до 540° С, а затем сжигали до получения массовой концентрации аэрозолей в $2 \cdot 10^{-2}$ — 15 г/м³. Количество металла, осевшего на ступенях импактора, определяли с помощью стандартной методики нейтронно-активационного анализа [5, 6].

Результаты экспериментов показали, что спектр размеров аэрозольных частиц натрия хорошо описывается логарифмически нормальным законом, причем с увеличением массовой концентрации возрастает медианный диаметр аэрозолей. При обработке результатов серии экспериментов методом наименьших квадра-