

$$\begin{aligned} & \times \left\{ \frac{C_{21}v_i T}{[C_{22} - 2Cv_i T]} \right\} + \\ & + \int_0^{1/\sigma} dv \frac{e^{-\alpha/v}}{2N_1} + \left[(C_{21}N_{21} + C_{22}N_{11}) \left\{ \frac{C_{22}}{-C_{21}} \right\} - \right. \\ & \left. - (C_{21}N_{22} + C_{22}N_{12}) \left\{ \frac{-C_{12}}{C_{11}} \right\} \right] + \\ & + \int_0^{1/\sigma} dv \frac{e}{N_2} C_{21}v T \left\{ \frac{2C_{12}v T}{1 - 2C_{11}v T} \right\}. \quad (14) \end{aligned}$$

Считая поляризацию среды 100%-ной, получаем при использовании результатов работы [1] численные зна-

чения элементов матрицы \hat{C}

$$\hat{C} = \begin{pmatrix} 1,815 & 0 \\ 4,052 & 0,448 \end{pmatrix}$$

и $\sigma = 11,839$. Дисперсионная функция имеет [2] в этом случае два корня на действительной оси $v_i = \pm 1,86948$.

Поступило в Редакцию 13/VIII 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаченков Ю. Н., Орлов В. В. «Атомная энергия», 1972, т. 32, вып. 4, с. 297.
2. Siewert C., Shich P. «Nucl. Energy», 1967, v. 27, p. 5.
3. Кейз К., Цвайфель П. Линейная теория переноса. М., «Мир», 1972.

Генератор холодных нейтронов с естественной циркуляцией хладагента

ЧУДИНОВ В. Г., ГОЩИЦКИЙ Б. Н., ГУСЕВ В. В., КОНСТАНТИНОВ Л. В.,
ПОЛОСУХИН Б. Г., СИДОРОВ С. К.

УДК 621.039.556

Доля холодных нейтронов ($E < 0,005 \text{ эВ}$) в обычных пучках исследовательских реакторов составляет, как правило, 1—1,5% полного числа нейтронов в пучке. Одним из методов увеличения интенсивности холодных нейтронов (ГХН) является охлаждение замедлителя, из которого нейтроны попадают в экспериментальный канал [1—3], до достаточно низкой температуры. При этом возникает необходимость отвода довольно большого количества тепла, выделяющегося в элементах конструкции установки и замедлителя, за счет радиационного разогрева.

В настоящей работе описана конструкция генератора холодных нейтронов (ГХН), в котором замедлитель охлаждается за счет естественной циркуляции хладагента (азота высокой чистоты) в замкнутом контуре, и приведены результаты испытаний. Такой метод охлаждения существенно упрощает конструкцию ГХН, повышает надежность в эксплуатации и делает его взрывобезопасным [4]. В качестве замедлителя [5] выбран этиловый спирт с замедляющим слоем толщиной $\sim 30 \text{ м.м.}$ При конструировании и расчете ГХН использованы данные работ [5, 6].

вий зоне в соответствии с данными работы [5]. Тепло от элементов конструкции внешнего корпуса ГХН отводится через скобу, находящуюся в непосредственном тепловом контакте со стенкой канала, охлаждаемого водой первого контура реактора. Элементы конструкции камеры замедлителя и жидкого азота, когда ГХН находится в нерабочем состоянии, охлаждаются за счет теплового контакта с внешним корпусом, появляющегося при тепловом расширении элементов конструкции внутреннего контура.

На расстоянии $\sim 3 \text{ м}$ от верха активной зоны реактора * установлен теплообменник, внешний контур которого соединен с линией подач технического азота, а внутренний — через трубопровод с камерой чистого жидкого азота. Общая поверхность теплообмена (80 тоннокристальных труб диаметром 10 м.м.) составляет примерно $0,8 \text{ м}^2$. Температуру измеряли хромель-алюмелевой термопарой с точностью $\pm (1-2)^\circ\text{C}$. Уровень технического жидкого азота в теплообменнике поддерживали с помощью термопары с подогревателем — датчиком уровня, автоматического потенциометра и электромагнитного клапана. Гидравлическая система позволяет проводить откачуку и заполнение любой полости ГХН газообразным гелием или чистым азотом, а также продувку и заполнение камеры замедлителя в процессе эксплуатации. Конструктивно ГХН от активной зоны до разъема выполнен из алюминия АД-1, а выше из нержавеющей стали 1Х18Н10Т. Для защиты от излучения в верхней части ГХН установлена защитная пробка длиной $1,5 \text{ м.}$

Охлаждение замедлителя и элементов конструкции внутреннего контура ГХН в рабочем состоянии осуществляется

Описание установки

Принципиальная схема ГХН представлена на рис. 1. Генератор размещен в вертикальном канале реактора ИВВ-2, который конструктивно соединяется с горизонтальным каналом непосредственно за отражателем (слой бериллия толщиной 64 м.м. и слой графита толщиной 32 м.м.) активной зоны. Через подводящие трубы замедлитель в жидком состоянии подается в камеру диаметром 146 м.м. и толщиной 30 м.м. Для улучшения отвода тепла в камере установлены алюминиевые ребра размером 3×3 и шагом $6 \times 6 \text{ м.м.}$, наклоненные на 45° к оси горизонтального канала. Охлаждение замедлителя непосредственно чистым жидким азотом проводили по торцовой поверхности камеры, обращенной к актив-

* В месте установки теплообменника уровень излучений в 10^3 — 10^4 раз меньше по сравнению с активной зоной.

вляется следующим образом. В наружный контур теплообменника по вакуумно-изолированному трубопроводу подается технический жидкий азот из 300-литрового сосуда Дьюара. Внутренний контур теплообменника заполняется под избыточным давлением чистым газо-

образным азотом (примесь кислорода $< 0,001\%$), который конденсируется на стенках трубок и по каналу стекает в камеру жидкого азота. В камере жидкий азот испаряется, отбирая тепло от замедлителя и деталей конструкции внутреннего контура, по кольцевому каналу возвращается в теплообменник и т. д. Для тепловой изоляции в рабочем состоянии вакуумную рубашку откачивали до давления 10^{-2} торр.

Разработанная конструкция ГХН не требует специальных насосов для прокачки хладагента при низких температурах, что существенно упрощает монтажные и эксплуатационные работы и позволяет сократить до минимума ($2-3^\circ\text{C}$) разницу температуры кипения хладагента и температуры замедлителя. Это особенно важно вследствие большой зависимости величины выхода ХН от температуры [5].

Результаты испытаний и обсуждение

Испытания ГХН проводили при мощности реактора 8 Мет (поток быстрых нейтронов $2 \cdot 10^{12}$ нейтр/сек, мощность дозы γ -излучения в месте установки ГХН $2,5 \cdot 10^4$ р/сек). При этом энерговыделение в элементах конструкции, замедлителю и жидким азотом составляло ~ 800 вт. Температура замедлителя в охлажденном состоянии составляла $\sim 80^\circ\text{K}$, а при отсутствии охлаждения $\sim 330^\circ\text{K}$. В установившемся режиме работы избыточное давление чистого азота во внутреннем контуре $\sim 0,5 - 0,7$ бар. Расход технического жидкого азота составлял 23 кг/ч, из них 6 кг/ч — потери в подводящих трубопроводах, 3 кг/ч — потери во внутренних коммуникациях ГХН и 14 кг/ч — для отвода тепла, выделяющегося за счет радиационного разогрева. Радиационный разогрев может быть существенно (в 2—3 раза) снижен при установке свинцового экрана толщиной 20 мм [6]. Запуск в работу и остановка ГХН на работающем реакторе проводятся за 1 ч, монтаж и демонтаж ГХН на остановленном реакторе могут быть осуществлены за 30—45 мин.

На рис. 2 приведены спектры тепловых нейтронов из пустого горизонтального канала и с установленным в нем ГХН. Спектры нейтронов измеряли на выходе из канала обычным методом времени пролета (см. рис. 1). Как видно, спектр нейтронов из пустого канала хорошо описывается во всей области длин волн максвелловским распределением при $T_0 = 365^\circ\text{K}$, в то время как спектр нейтронов из ГХН сильно искажен. Максвелловским распределением ($T_0 = 148^\circ\text{K}$) во втором случае описывается только длинноволновая часть спектра (б) от длин волн порядка 1,6 Å, в области длин волн, меньших 1,6 Å, экспериментально наблюдаются существенно большие потоки нейтронов. Эти обстоятельства свидетельствуют о неполной термализации нейтронов в ГХН, что отмечалось и ранее [7]. Интегральный поток нейтронов в обоих случаях изменяется незначительно. На рис. 3 показана зависимость величины g , равной отношению потока нейтронов из канала с установленным в нем ГХН к потоку нейтронов из пустого канала, от длины волны. При $\lambda = 4$ Å наблюдается четырехкратное увеличение интенсивности ХН, что хорошо согласуется с данными, полученными в экспериментах на физической модели реактора [5]. Следует также отметить, что фон быстрых нейтронов при использовании ГХН уменьшается в 2—2,5 раза, что позволяет увеличить на выходе из канала отношение интенсивности полезных нейтронов к интенсивности фоновых примерно в 8—10 раз.

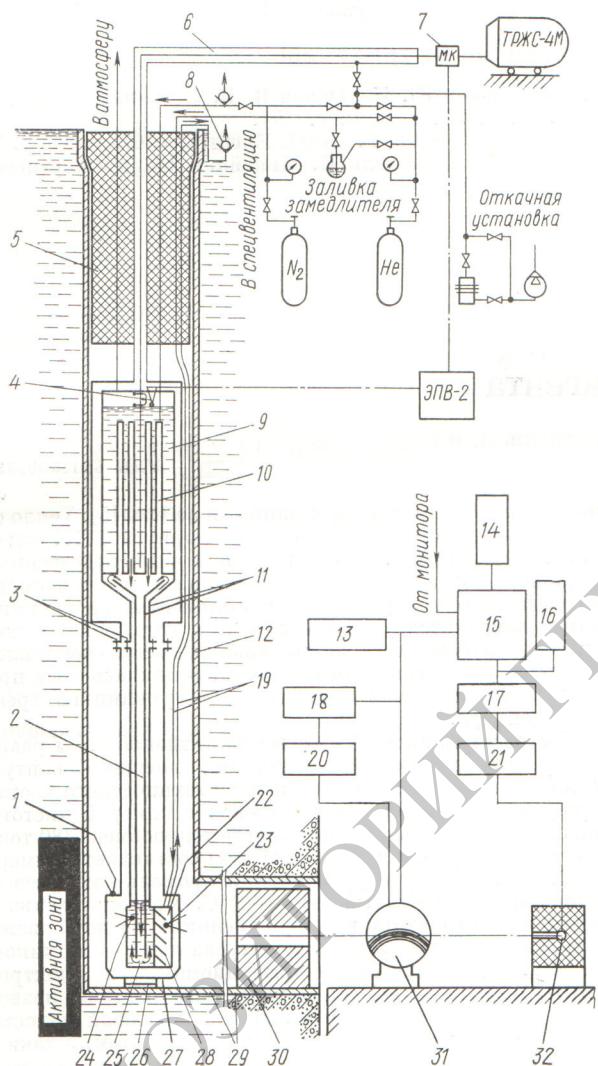


Рис. 1. Принципиальная схема ГХН:

- 1 — термопара корпуса;
- 2 — кольцевой канал;
- 3 — разъем;
- 4 — датчик уровня;
- 5 — защитная пробка;
- 6 — линия подачи технического жидкого азота;
- 7 — магнитный клапан;
- 8 — обратный клапан;
- 9 — теплообменник;
- 10 — трубы теплообменника;
- 11 — внутренний контур;
- 12 — вертикальный канал реактора;
- 13 — контроль работы прерывателя;
- 14 — цифропечать;
- 15 — временной анализатор;
- 16 — интегральный счет;
- 17 — дискриминатор;
- 18 — блок стабилизации;
- 19 — трубопроводы подачи и возврата замедлителя;
- 20 — электропривод;
- 21 — предусилитель;
- 22 — камера замедлителя;
- 23 — термопара камеры замедлителя;
- 24 — термопара камеры жидкого азота;
- 25 — камера жидкого азота;
- 26 — скоба;
- 27 — корпус;
- 28 — хладопроводы;
- 29 — горизонтальный канал реактора;
- 30 — ограничитель;
- 31 — механический прерыватель нейтронного пучка;
- 32 — детектор нейтронов с защитой.

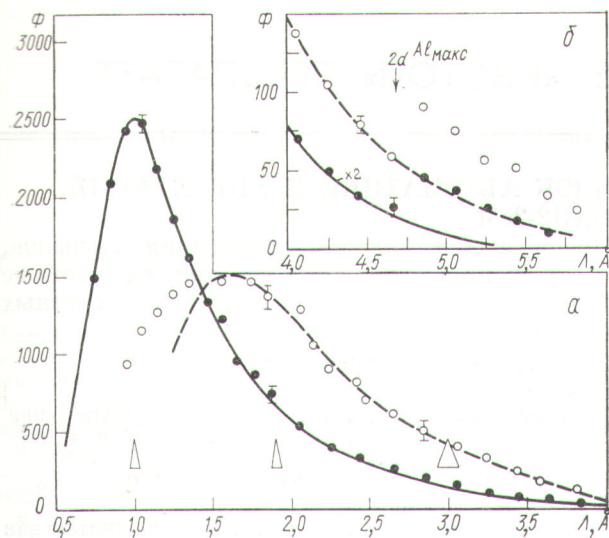


Рис. 2. Спектры нейтронов (а; б - длинноволновая часть спектра) из пустого горизонтального канала (●) и канала с ГХН (○) [Φ — поток тепловых нейтронов]:

— и ----- распределение Максвелла при $T = 365$ и 148°K соответственно.

Во время работы ГХН происходит непрерывное выделение газообразных продуктов радиолиза спирта ($\sim 25 \text{ см}^3/\text{ч}$). Специальными измерениями установлено, что основная масса газообразных продуктов радиолиза ($\sim 150 \text{ см}^3/\text{ч}$ за 1 ч работы) конденсируется в материале замедлителя и выделяется только при разогреве его до температуры 110 – 130°K .

Выделение продуктов радиолиза этилового спирта из замедлителя по данным хроматографического анализа при $T = 80$ и 120°K соответственно составляет, %:

H_2	42;	< 1
CH_2	21;	7,5
C_2H_4	17;	< 1
C_2H_6	< 1;	15
Прочие газообразные углеводороды	40;	77,5

ГХН описанной конструкции с естественной циркуляцией хладагента позволяет охлаждать до $\sim 80^\circ\text{K}$ замедлители достаточно больших размеров. При использовании в качестве хладагента жидкого азота достигается практически максимально возможное увеличение интенсивности ХН в выводимом нейтронном пучке. Потери материала замедлителя за счет рациона-

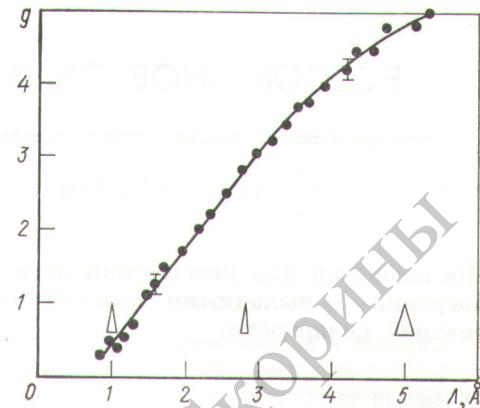


Рис. 3. Зависимость выхода ХН от длины волны нейтронов при температуре замедлителя 80°K .

ного разложения невелики, что позволяет работать без замены замедлителя в течение 100–150 ч непрерывной эксплуатации ГХН. Использованная схема охлаждения при усовершенствовании тепловой изоляции, по-видимому, может быть применена в ГХН с жидким водородом.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В. Ф. Онищенко и П. М. Коротовских за помощь в разработке конструкции ГХН, И. Н. Сачкову и В. П. Шамшурину за помощь в проведении измерений и выполнении химических анализов и В. Д. Пархоменко за ценные консультации.

Поступило в Редакцию 14/VIII 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вебб Ф. В кн.: Оптимизация нейтронных пучков. М., Атомиздат, 1965, с. 79.
2. Davies F. e. a. In: Proc. IAEA Symp. «Neutron Inelastic Scattering». Copenhagen, 20–25 May 1968, v. 2, p. 341.
3. Землянов М. Г. и др. «Приборы и техника эксперимента», 1973, № 5, с. 34.
4. Пархоменко В. Д. и др. «Атомная энергия», 1974, т. 36, вып. 1, с. 62.
5. Гошицкий Б. Н. и др. «Атомная энергия», 1973, т. 35, вып. 4, с. 231.
6. Герасименко В. П. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 31, вып. 1, с. 7.
7. Person P. «J. Nucl. Energy», 1967, v. 2, p. 701.