

Измеренные и расчетные значения потоков тепловых нейтронов в установке СО-1, 10^7 нейтр/см²·сек Таблица 2

Канал	Эксперимент	Расчет
ЦК	$3,9 \pm 0,4$	3,7
ВЭК-1	$1,3 \pm 0,1$	1,3
ВЭК-2	$1,3 \pm 0,1$	1,3
ВЭК-3	$1,3 \pm 0,1$	1,3
ГЭК-1	$1,2 \pm 0,1$	1,1

содержащим замедлителем (оргстекло, полиэтилен) — приблизительно на 40%.

В связи с небольшими размерами активной зоны стандартные изотопные источники нейтронов в ампулах из нержавеющей стали вносят значительную отрицательную реактивность при помещении их в центр активной зоны. Так, эффект реактивности $P_0 - V_0$ источника диаметром 20 мм и высотой 40 мм составил $-(0,46 \pm 0,07) \cdot 10^{-2}$, а источника диаметром 8 мм и высотой 98 мм оказался равным $-(0,26 \pm 0,03) \times 10^{-2}$. Перемещение таких источников по высоте активной зоны вызывает большие колебания реактивности. Экспериментальным путем был подобран состав стержня с источником, обеспечивающий необходимую компенсацию изменений реактивности при

Геометрические размеры и последовательность расположения материалов стержня Таблица 3

Материал бочка	Длина бочка, мм
Кадмий	400
Нержавеющая сталь	70
Полиэтилен	125
Ампула из нержавеющей стали с источником	56,5
Полиэтилен	125
Нержавеющая сталь	100

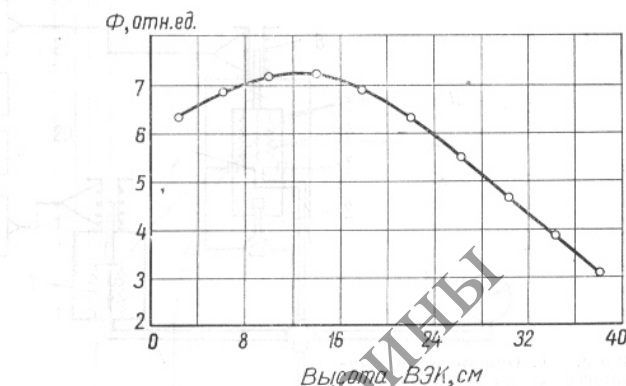
Установка для растяжения микрообразцов в низкотемпературном канале реактора

И. А. НАСКИДАШВИЛИ, Э. С. ЛАПИАШВИЛИ, А. Н. ЛЕЖАВА, ДЖ. Г. КАЦИТАДЗЕ

УДК 621.039.5.053

В большинстве случаев облучение исследуемых материалов проводится при реакторных температурах [1—6]. Однако известно, что величина радиационного эффекта для некоторых физических и механических свойств металлов сильно зависит от температуры облучения [6—8], в связи с чем необходимы исследования в широком диапазоне температур.

С другой стороны, радиационные дефекты после прекращения облучения начинают отжигаться даже



Р и с. 4. Распределение потока тепловых нейтронов по длине ГЭК-1.

перемещении источника. В табл. 3 приведены геометрические размеры и последовательность расположения различных материалов, входящих в состав регулирующего стержня.

Положительные изменения реактивности при перемещении выбранного стержня по высоте активной зоны не превышают $0,05 \cdot 10^{-2}$. На основании проведенных исследований были выбраны следующие рабочие параметры установки: подкритичность $0,5 \cdot 10^{-2}$; источник $^{238}\text{Pu} - \text{Be}$ ($T_{1/2} = 89,6$ года, $Q = 2,3 \cdot 10^8$ нейтр/сек); мощность $0,9$ Вт; поток тепловых нейтронов в экспериментальных каналах составлял $1,3 \cdot 10^7$ нейтр/см² × сек.

Полученные параметры нейтронного размножителя позволяют надеяться, что он найдет широкое применение в таких отраслях народного хозяйства, где используются методы активационного анализа.

Поступило в Редакцию 12/III 1969 г.
В окончательной редакции 8/VIII 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Булкин и др. «Атомная энергия», 21, 321 (1966).
2. Марчук Г. И. Методы расчета ядерных реакторов. М., Госатомиздат, 1961.
3. Cohen. Nucl. Sci. and Engng, 13, 12 (1962)

при низких температурах [9, 10]. Поэтому измерения физических и механических характеристик твердых тел весьма желательно проводить непосредственно в канале ядерного реактора при одновременном воздействии низких температур и ядерного излучения. Результаты таких измерений особенно ценны для учета низкотемпературной радиационной стойкости материалов. Существующие в настоящее время испытательные машины для снятия кривой растяжения не дают воз-

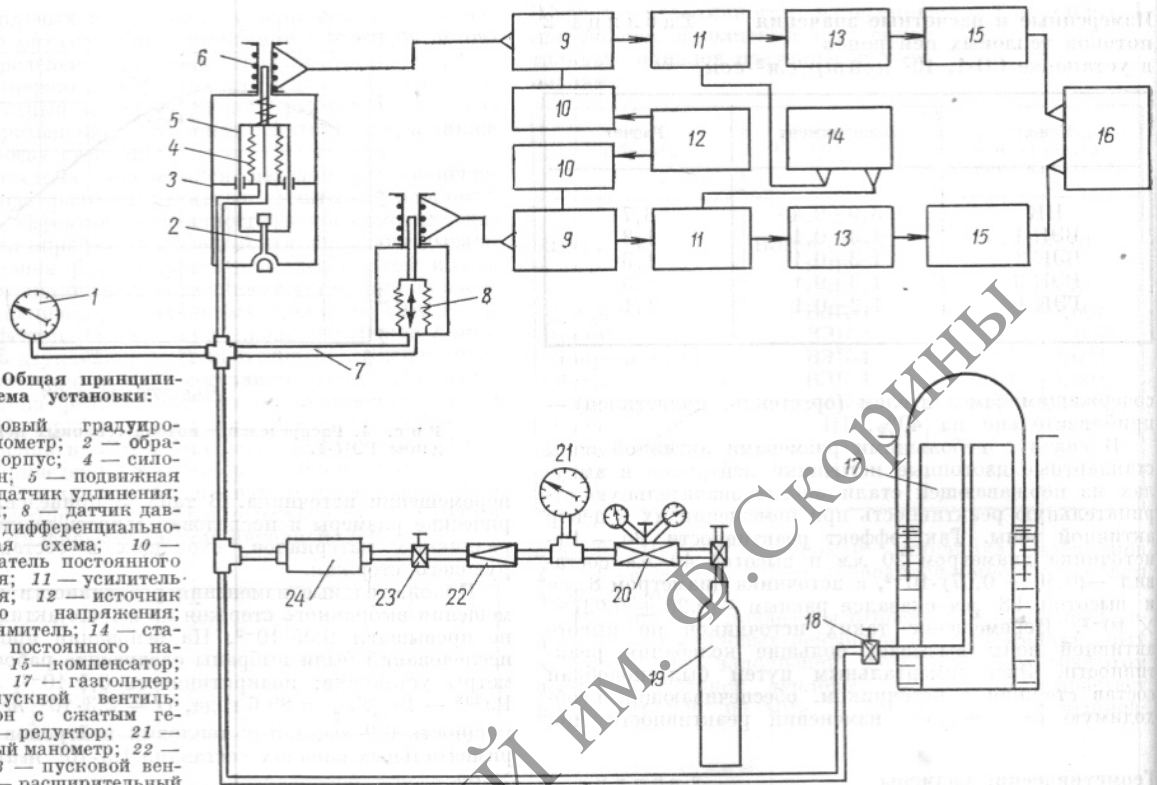


Рис. 1. Общая принципиальная схема установки:

1 — образцовый градуировочный манометр; 2 — образец; 3 — корпус; 4 — силовой сильфон; 5 — подвижная рама; 6 — датчик удлинения; 7 — трубка; 8 — датчик давления; 9 — дифференциально-индуктивная схема; 10 — преобразователь постоянного напряжения; 11 — усилитель напряжения; 12 — источник постоянного напряжения; 13 — выпрямитель; 14 — стабилизатор постоянного напряжения; 15 — компенсатор; 16 — ДРП; 17 — газгольдер; 18 — перепускной ventиль; 19 — баллон с сжатым гелием; 20 — редуктор; 21 — контрольный манометр; 22 — жиклер; 23 — пусковой ventиль; 24 — расширительный бак.

возможности проводить такие исследования, что побудило создать установку для определения механических свойств (пределов прочности и текучести, а также относительного удлинения) металлов и сплавов непосредственно в активной зоне ядерного реактора при низких температурах.

Разработанная малогабаритная установка для растяжения дает возможность проводить испытания материалов на растяжение в холодном канале реактора с автоматической записью кривой растяжения образца на двухкоординатном регистрирующем приборе типа ДРП.

В установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1, применяется пневматический метод нагружения образцов. Для растяжения образца из баллона в силовой сильфон с заданной скоростью запускается газообразный гелий. По мере увеличения давления в сильфоне его верхний заглушенный торец вместе с подвижной рамой перемещается вверх. Таким образом, усилие передается образцу, нижний конец которого находится в неподвижном захвате корпуса. Жиклер дает возможность плавно менять скорость нагружения образца.

На рис. 2 показана внутриканальная часть установки (устройство для растяжения). В магазин этого устройства одновременно закладывают восемь образцов. Конструкция подвижной рамы, подвижного и неподвижного захватов и нижней полусферической головки образца обеспечивает центрированное нагружение образцов.

Основными элементами и измерительной части установки являются датчики удлинения и давления (нагрузки).

На рис. 1 эти датчики показаны вместе с блок-схемой измерительной части установки.

Испытуемые образцы одним концом закладываются в магазин устройства для растяжения. Второй конец одного из образцов заранее устанавливается в прорезь подвижного захвата.

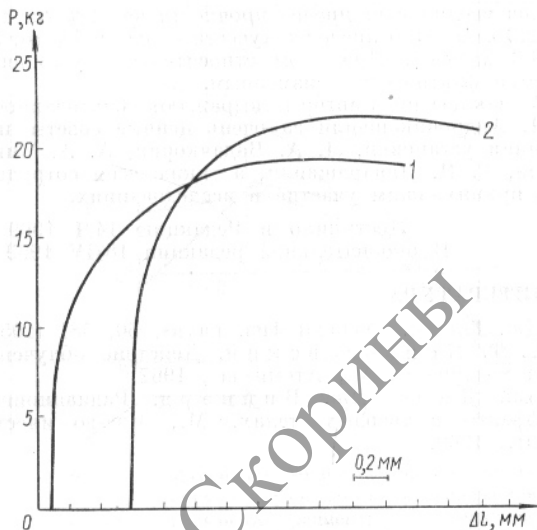
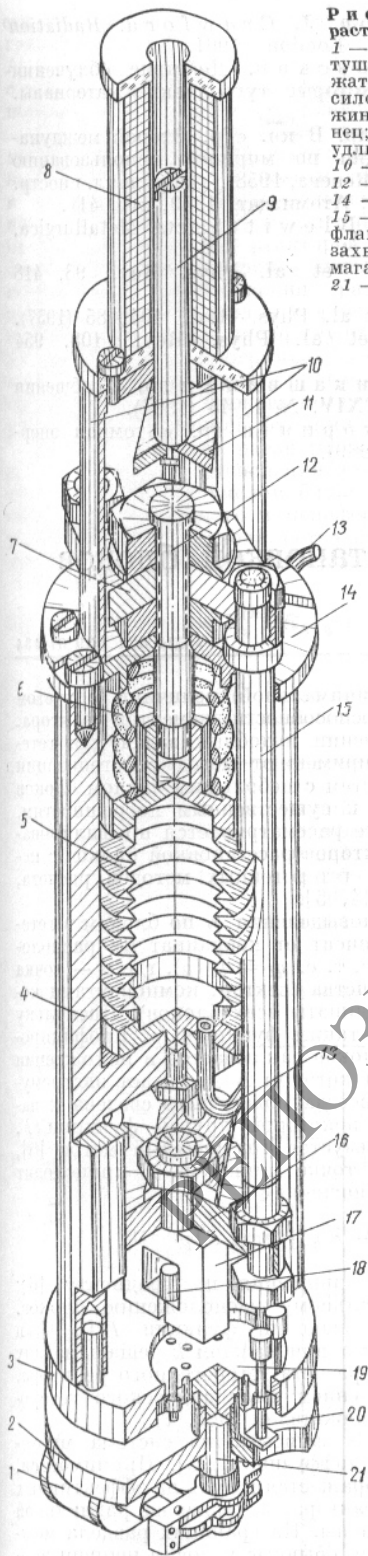
Растяжное устройство с образцами подвешивается к пробке низкотемпературного вертикального контура, аналогичного описанному ранее низкотемпературному горизонтальному контуру [11, 12], и опускается в криостат, находящийся в вертикальном канале реактора. Трубка, по которой в силовой сильфон подается газообразный гелий, вместе с электрическими проводами и концами термопар выводится из канала реактора через отверстие в пробке низкотемпературного контура.

После накопления определенной дозы (процесс облучения не прекращается) проводится испытание образца на растяжение при температуре облучения. Предварительно устанавливается требуемая скорость нагружения образца при помощи жиклера (см. рис. 1). Затем открытием пускового ventиля производится нагружение образца. При этом сигналы со следящих систем датчиков давления и удлинения по измерительным линиям подаются на входы самописца, регистрирующего кривую растяжения.

После разрыва образца для возвращения подвижного захвата установки в исходное положение пусковой ventиль перекрывается, и гелий, находящийся в пневматической системе, через перепускной ventиль поступает в газгольдер.

Для получения изучаемой диаграммы растяжения необходимо из записанной кривой вычистить кривую

Р и с. 2. Устройство для растяжения микрообразцов: 1 — электромагнитная катушка; 2 — плата; 3 — держатель; 4 — корпус; 5 — силовой сиффон; 6 — пружина; 7 — верхний фланец; 8 — катушка датчика удлинения; 9 — сердечник; 10 — стойки; 11 — скоба; 12 — шток; 13 — трубка; 14 — неподвижный фланец; 15 — тяги; 16 — нижний фланец; 17 — подвижной захват; 18 — образец; 19 — магазин; 20 — пружинка; 21 — вал.



Р и с. 3. Диаграммы растяжения технического алюминия при 150° К.

1 — необлученный; 2 — облученный дозой $3,6 \cdot 10^{17}$ нейтр/см².

холостого хода установки, снимаемую за разрывом образца.

После испытания первого образца подача следующего испытуемого образца в прорезь подвижного захвата (см. рис. 2) осуществляется поворотом магазина установки путем поочередной подачи импульса электрического тока двум электромагнитным катушкам (на рис. 2 видна только одна катушка). Подача образца в прорезь подвижного захвата контролируется сигнальной лампочкой на пульте управления.

Описанная установка обеспечивает регулируемое плавное нагружение и разгрузку образцов. Она дает возможность останавливать процесс нагружения или разгрузки и в дальнейшем возобновлять эти процессы. Установка позволяет производить испытания образцов диаметром 1—2,5 мм во время облучения в широком температурном диапазоне — от температуры жидкого азота до 370° К.

Длина внутриканальной части установки равна 400 мм, а диаметр 66 мм. Максимальное растягивающее усилие составляет 180 кгГ, а максимальное перемещение подвижного захвата 8 мм. Возможные пределы изменения скорости нагружения образца 0,1—10 кг/мм²·сек. Точность определения нагрузки и удлинения образца составляет $\pm 0,2 \div 0,4$ кг и ± 5 мк соответственно. Размеры образцов для испытания определяются максимально допустимой нагрузкой и размерами захватов.

С целью испытания в условиях реакторного облучения устройство для растяжения с алюминиевыми образцами загрузалось в низкотемпературный канал реактора. Часть образцов испытывали в канале при температуре 150° К. Затем реактор выводился на мощность, причем интенсивность потока составляла $1,2 \times 10^{12}$ нейтр/см²·сек (по тепловым нейтронам). После достижения интегральной дозы $3,6 \cdot 10^{17}$ нейтр/см² испытывались остальные образцы при работающем реакторе и той же температуре.

Из полученных данных (рис. 3) видно, что облучение технического алюминия указанным потоком ней-

тронов увеличивает предел прочности на 12% (от 11,0 до 12,3 кг/мм²), а предел текучести — на 16,5% (от 5,4 до 6,3 кг/мм²). При этом относительное удлинение остается фактически неизменным.

В заключение авторы выражают благодарность Э. Л. Андроникашвили за очень ценные советы при создании установки, Л. А. Вадачкория, А. А. Чипашвили, Г. И. Даварашвили, а также всем сотрудникам, принимавшим участие в исследованиях.

Поступило в Редакцию 14/1 1969 г.
В окончательной редакции 18/IV 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Глен. «Успехи физ. наук», **60**, 481 (1956).
2. С. Т. Конобеевский. Действие облучения на материалы. М., Атомиздат, 1967.
3. Дж. Динс, Дж. Вийнард. Радиационные эффекты в твердых телах. М., Изд-во иностр. лит., 1960.

4. D. Billington, J. Crawford. Radiation Damage in Solids. London, 1961.
5. В. В. Пеньковский. Действие облучения на металлы и некоторые тугоплавкие материалы. Киев, 1962.
6. Т. Мейкин и др. В кн. «Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Избр. докл. иностр. ученых.» Т. 6. М., Атомиздат, 1959, стр. 411.
7. M. Makin, T. Blewitt. Acta Metallurgica, **10**, 241 (1962).
8. A. Reynolds et al. Phys. Rev., **98**, 418 (1955).
9. J. Corbett et al. Phys. Rev., **104**, 85 (1957).
10. J. Corbett et al. Phys. Rev., **108**, 954 (1957).
11. Э. Л. Андроникашвили и др. «Сообщения АН ГрузССР», XXXIV, № 1, 45 (1964).
12. Л. А. Вадачкория и др. «Атомная энергия», **26**, 3, 288 (1969).

Профилирование гетерогенных реакторов расстановкой блоков

Н. Н. ПОНОМАРЕВ-СТЕПНОЙ, Е. С. ГЛУШКОВ,
В. И. НОСОВ, С. Н. БАРКОВ

УДК 621.039.51.134

При разработке энергетических установок с использованием ядерных реакторов возникает задача их оптимизации по отношению к некоторому функционалу [1—3]. В качестве функционалов обычно выбираются энергетические показатели N , такие, как тепловой и электрическая мощности реактора и пр. Энергетические показатели определяются величиной и распределением тепловыделения по реактору $q(r)$, т. е. $N = N[q(r)]$. Поскольку функции тепловыделения $q(r)$ и соответственно функционал $N[q(r)]$ зависят от распределения материалов по реактору, задача оптимизации сводится к нахождению такого распределения материалов, при котором N будет достигать

максимальной (или минимальной) величины с учетом ограничений по работоспособности элементов реактора. Обычно при рассмотрении подобных задач для гетерогенных реакторов применяют метод гомогенизации [2, 3], однако для систем с небольшим числом блоков это может приводить к существенным погрешностям.

В настоящей работе рассматривается профилирование гетерогенных реакторов расстановкой блоков с использованием прямых гетерогенных методов расчета, развитых в работах [4, 5].

Распределение тепловыделения q_i по блокам в гетерогенном реакторе зависит от координат их расположения в активной зоне, т. е. $q_i = f_i(p)$, где p — точка многомерного пространства (вектор, компонентами которого являются координаты всех блоков). Поскольку $N(q_1, \dots, q_L)$ будет также функцией p , профилирование расстановкой блоков заключается в нахождении такого вектора p , при котором N достигает экстремума. При этом задача всегда может быть сведена к нахождению минимума некоторой другой функции F . Для этой цели используется градиентный метод [6], при котором спуск к точке минимума F происходит в соответствии с соотношением

$$p^{(k)} = p^{(k-1)} - \lambda_{(k-1)} \text{grad } F[p^{(k-1)}],$$

где $\lambda_{(k-1)}$ — параметр движения по градиенту [6]; $p^{(0)}$ относится к начальному расположению блоков.

Для определения значений функции $F[p^{(k)}]$ и $\text{grad } F[p^{(k)}]$ необходимо при каждом k решать задачу нейтроннофизического расчета гетерогенного реактора. Ограничимся рассмотрением цилиндрического гетерогенного реактора с отражателем (рис. 1).

Для каждой из зон записывается система многогрупповых уравнений диффузии [4, 5]. Принимается, что поток нейтронов обращается в нуль на эффективных торцовых границах реактора, а также на радиальной поверхности внешней зоны. На границах раздела между зонами используются обычные условия непрерывно-

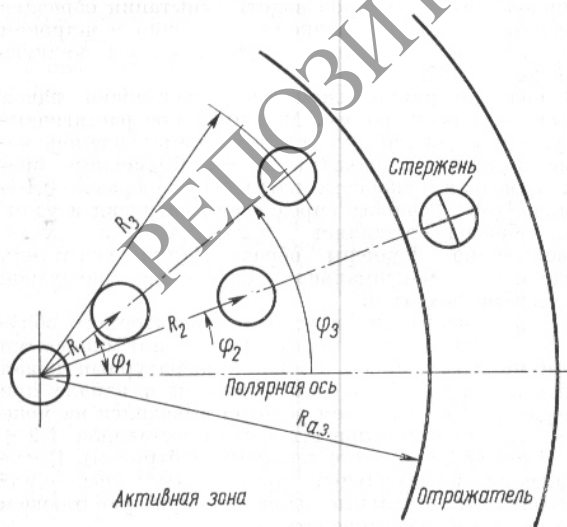


Рис. 1. Схема расположения блоков в координатно-угловом пространстве.