

B-127

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

8-6112

Л.А.Вадачкоря

ОБОРУДОВАНИЕ

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ УСТАНОВКАМИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КАНАЛОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ЗОНЕ РЕАКТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Специальность 05.260 - приборы экспериментальной
физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1971

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени
Институте физики Академии наук Грузинской ССР

8-6112

- Научный руководитель - академик АН Грузинской ССР,
доктор физико-математических
наук
Э.Л.АНДРОНИКАШВИЛИ
- Научные консультанты - член-корреспондент
АН Грузинской ССР, доктор
технических наук
В.И.ГОМЕЛАУРИ,
кандидат физико-математических
наук
И.А.НАСКИДАШВИЛИ
- Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
И.Б.ДАНИЛОВ,
кандидат технических наук,
Л.Б.ГОЛОВАНОВ
- Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследова -
тельский институт криогенного
машиностроения (ВНИИКРИОГЕНМАШ)
г. Москва

Автореферат разослан " _____ " 1971 г.

Защита диссертации состоится " _____ " 1971 г.
на заседании Ученого Совета Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований (ЛВЭ ОИЯИ),
г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

С.В.Мухин

Л.А.Вадачкория

ОБОРУДОВАНИЕ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ УСТАНОВКАМИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КАНАЛОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА
И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
В ЗОНЕ РЕАКТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Специальность 05.260 - приборы экспериментальной
физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

В исследованиях по радиационной физике твердого тела особенно ценными являются результаты, полученные в диапазоне низких температур. Это вызвано тем, что при низких температурах большинство дефектов структуры, возникших в результате облучения, закрепляются.

Настоящая диссертация является результатом участия автора в инженерном обеспечении работ в области низкотемпературной радиационной физики твердого тела и низкотемпературного радиационного материаловедения в Институте физики АН Грузинской ССР.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов.

Глава 1. Рассматриваются специфические условия глубокого охлаждения в зоне реакторного излучения и приводится краткий обзор методов и установок, применяемых для этой цели.

Глава 2. Проводится теплотехнический анализ установок, предназначенных для глубокого охлаждения в зоне реакторного излучения, с целью оценки их возможностей. Выводятся основные зависимости, характеризующие установки разных типов. Обсуждаются возможности развития применяемых схем установок с целью улучшения тех или других их показателей. Предлагаются новые схемы.

В установках используются либо привозные, либо производимые на месте (в холодильной машине, подключенной к установке) хладагенты: жидкий кислород, воздух, азот, неон, водород или гелий.

Основными показателями работы установок являются: минимальная температура образца, диапазон управляемого изменения температуры образца, стабильность фиксированной температуры образца и расход хладагента.

В соответствии с применяемым методом охлаждения, установки разбиты на три группы.

1. Установки, в которых образцы охлаждаются непосредственно омывающим хладагентом: а) образцы в жидкой среде хладагента; б) образцы обдуваются парами хладагента.

2. Установки, в которых образцы охлаждаются теплоносителем, циркулирующим между хладагентом и зоной облучения: а) охлаждение естественно циркулирующим сжижаемым теплоносителем; б) и

в) охлаждение принудительно циркулирующим сжижаемым и газообразным теплоносителем.

3. Установки, в которых хладагент охлаждает образцы при помощи теплопроводности промежуточной среды: а) через газовую среду; б) через металлический теплопроводник.

Для каждого из перечисленных типов установок получены формулы для расчета температуры образца, расходов хладагента и теплоносителя, а также диапазона возможного управляемого изменения температуры образца в зависимости от изменения какого-либо параметра, удобного для этой цели в данной установке.

Охлаждение непосредственно омывающим образцы хладагентом относительно просто в исполнении и эксплуатации. Установки, в которых образцы находятся в жидкой среде хладагента, характеризуются высокой эффективностью охлаждения, но в них затруднено изменение температуры образца в широком диапазоне. Установки, в которых образцы обдуваются парами хладагента, имеют удобную возможность изменения температуры образца в широком диапазоне, посредством изменения расхода паров хладагента, но достигаемая в них минимальная температура образца значительно выше, чем в установках, в которых образцы находятся в жидкой среде хладагента.

Охлаждение циркулирующим теплоносителем сложнее в исполнении и эксплуатации, чем охлаждение непосредственно омывающим образцы хладагентом, но имеет то существенное преимущество, что предусматривает присутствие в зоне облучения радиационно стойкого вещества теплоносителя, который циркулирует в замкнутом контуре. Установки с сжижаемым теплоносителем характеризуются более высокой эффективностью охлаждения, чем установки с газообразным теплоносителем, но имеют тот недостаток, что в них выбор хладагента и теплоносителя ограничен условием близости температур сжижения. Недостатком существующих установок с естественно циркулирующим теплоносителем является то, что в них не имеется возможности изменения температуры образца в широком диапазоне.

Охлаждение при помощи теплопроводности газовой среды или металлического теплопроводника просто в исполнении и эксплуатации, но имеет низкую эффективность охлаждения при более или

менее значительных тепловых нагрузках и расстояниях. Такое охлаждение удобно использовать в комбинации с другими методами охлаждения, когда в этом есть необходимость, например, когда надо, чтобы образцы находились в определенной нециркулирующей газовой среде или в вакууме.

Предлагается схема установки, в которой имеется возможность как хорошего предельного охлаждения образца в жидкой среде хладагента, так и охлаждения парами хладагента с широким диапазоном изменения температуры. Это достигается при помощи системы вентиля и помещенного в сосуд с жидким хладагентом теплообменника - испарителя, в который извне подается газ хладагента.

Предлагается схема установки с естественно циркулирующим теплоносителем, в которой имеется возможность изменения температуры образца в широком диапазоне. Особенностью этой установки является то, что здесь теплоноситель в рабочей камере движется только снизу вверх. Сжиженный на поверхности конденсатора теплоноситель через сборник поступает в рабочую камеру снизу, а из ее верхней части пары теплоносителя возвращаются к конденсатору. Находящиеся выше уровня жидкой среды детали охлаждаются только парами теплоносителя, а уровень жидкости в стационарном режиме зависит от общего количества циркулирующего теплоносителя, которое легко изменять в процессе работы.

Глава 3. Обсуждается вопрос теплоизоляции установок для глубокого охлаждения образцов в зоне реакторного излучения. Исследуется эффективность экранирования теплового излучения при высоковакуумной теплоизоляции - выводятся уравнения, описывающие влияние экранов на лучистый теплообмен в общих условиях и в зоне реакторного излучения, а также формулы для определения критических и оптимальных параметров экранирования.

Теплоприток от окружающей среды является одним из основных факторов, определяющих эффективность работы установок для глубокого охлаждения в зоне реакторного излучения, в которых обычно предпочтение отдается высоковакуумной теплоизоляции. Эффективность высоковакуумной теплоизоляции, при которой теплопередача, в основном, происходит за счет теплового излучения,

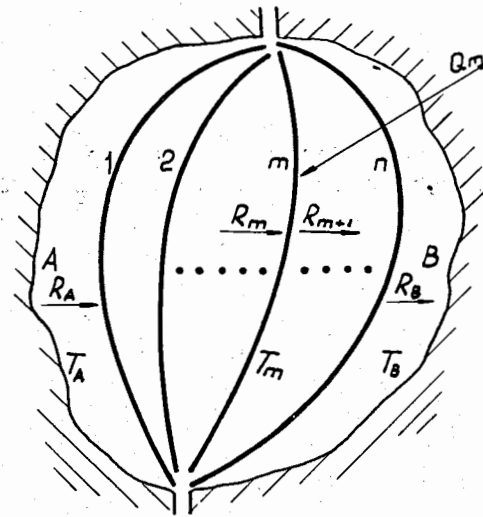
можно существенно повысить посредством экранирования теплового излучения.

Выведены общие уравнения, описывающие влияние совокупности m экранов на лучистый теплообмен между изолированными друг от друга поверхностями A и B в стационарном режиме (рис.1).

Допускается, что температура поверхности A больше температуры поверхности B : $T_A > T_B$. Все поверхности, участвующие в теплообмене, предполагаются серыми, а температура любого экрана T_m допускается постоянной по поверхности и равной той средней величине, при которой данный экран влиял бы на общий теплообмен так же, как при действительном распределении его температуры. Пренебрегается теплопроводностью остаточных газов и термическим сопротивлением стенок экранов. Вид и характеристика дополнительных (кроме теплового излучения) тепловых воздействий на любой экран (нагрев от проникающего излучения или от электрического тока, нагрев или охлаждение проточными жидкостями или газами, а также через механический контакт) не рассматриваются, а вводится их результирующий тепловой поток Q_m (поток, направленный к экрану - положительный). Направление от A к B принято за положительное. В этом же направлении отсчитываются экраны и образованные ими замкнутые системы лучистого теплообмена.

Здесь R_m - результирующий поток теплового излучения m -ой замкнутой системе; $R_A = R_1$ - результирующий поток теплового излучения от поверхности A к первому экрану, а $R_B = R_{n+1}$ - от n -го экрана к поверхности B ; $\epsilon_{np,i}$ и H_i - приведенная степень черноты и взаимно-излучающая поверхность i -ой замкнутой системы; ϵ_{AB} , ϵ_{Am} , ϵ_{mB} и т.д. - приведенные степени черноты совокупностей замкнутых систем $A-B$, $A-m$, $m-B$ и т.д.; H_{AB} , H_{Am} , H_{mB} и т.д. - взаимно-излучающие поверхности замкнутых систем AB , Am , mB и т.д., когда между соответствующим индексом телами нет других тел.

Получены расчетные формулы для разных, практически важных вариантов совокупностей дополнительных тепловых воздействий на экраны и совокупностей геометрических и оптических характеристик поверхностей.



Когда экраны "плавающие", т. е. когда

$$Q_1 = \dots = Q_m = \dots = Q_n = 0,$$

тогда

$$R_A = \dots = R_m = \dots = R_B = R;$$

$$R = \epsilon \cdot \epsilon_{AB} \cdot H_{AB} \cdot (T_A^4 - T_B^4);$$

$$T_m' = \left(\frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{mB} \cdot H_{mB}} \cdot T_A^4 + \frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{Am} \cdot H_{Am}} \cdot T_B^4 \right)^{\frac{1}{4}}$$

Когда

$$Q_1 \neq \dots \neq Q_m \neq \dots \neq Q_n,$$

тогда

$$R_m = R + \sum_{k=1}^{m-1} Q_k \cdot \frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{Ak} \cdot H_{Ak}} - \sum_{k=m}^n Q_k \cdot \frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{kB} \cdot H_{kB}}; \quad T_m = \left[(T_m')^4 + \frac{\sum_{k=1}^{m-1} Q_k \cdot \frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{Ak} \cdot H_{Ak}}}{\epsilon \cdot \epsilon_{mB} \cdot H_{mB}} + \frac{\sum_{k=m}^n Q_k \cdot \frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{kB} \cdot H_{kB}}}{\epsilon \cdot \epsilon_{Am} \cdot H_{Am}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$R_A = R_1 = R - \sum_{k=1}^n Q_k \cdot \frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{kB} \cdot H_{kB}}; \quad R_B = R_{n+1} = R + \sum_{k=1}^n Q_k \cdot \frac{\epsilon_{AB} \cdot H_{AB}}{\epsilon_{Ak} \cdot H_{Ak}}$$

Здесь

$$\epsilon_{AB} \cdot H_{AB} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n+1} \frac{1}{\epsilon_{np,i} \cdot H_i}}; \quad \epsilon_{Am} \cdot H_{Am} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\epsilon_{np,i} \cdot H_i}}; \quad \epsilon_{mB} \cdot H_{mB} = \frac{1}{\sum_{i=m+1}^{n+1} \frac{1}{\epsilon_{np,i} \cdot H_i}} \text{ и т. д.}$$

Рис. 1

Следует отметить, что из предлагаемой методики, как частное следствие, вытекают известные в литературе решения для простых случаев экранирования.

Когда экран находится в неравномерном поле нагрева от проникающего излучения, тогда его температурное поле также будет неравномерным. В этом случае важно правильно оценить влияние на теплопередачу не только всего экрана, но и его отдельных участков. Удобным способом оценки эффективности отдельных участков экрана является изучение температурного поля рассматриваемого экрана и его сравнение с температурами затеняемых экраном поверхностей.

С целью оценки эффективности отдельных участков наиболее типичных экранов в зоне проникающего излучения, выведены уравнения температурного поля тонкого "плавающего" экрана, охлаждаемого с торца цилиндрического экрана и охлаждаемого проточным газом цилиндрического экрана. Из этих уравнений получены формулы для расчета критических и оптимальных параметров экранирования.

Глава 4. Описывается внутриканальный криостат, в котором бериллиевый фильтр медленных нейтронов охлаждается жидким азотом путем теплопередачи по медному теплопроводнику. Приводятся расчет и результаты испытания установки.

На рис.2 показана схема криостата, построенного нами для охлаждения бериллиевого фильтра. Криостат вмонтирован в корпус шибера I. Излучение активной зоны 2 проходит через канал 3, тонкие алюминиевые перегородки 4 и 5 и попадает на бериллиевый фильтр 6 (диаметр 10 см, а длина 30 см). Отраженные нейтроны поглощаются кадмиевым экраном 7 и защитой 8. После фильтра нейтроны проходят через перегородки 9 и 10, коллиматор II и перегородку 12.

Охлаждение фильтра осуществляется теплопередачей через медный теплопроводник 13, который с одной стороны находится в контакте с ванной жидкого азота 14 (емкость ~20 л), а с другой стороны через кадмиевый экран с бериллием. Температура измеряется медь-константановыми термопарами.

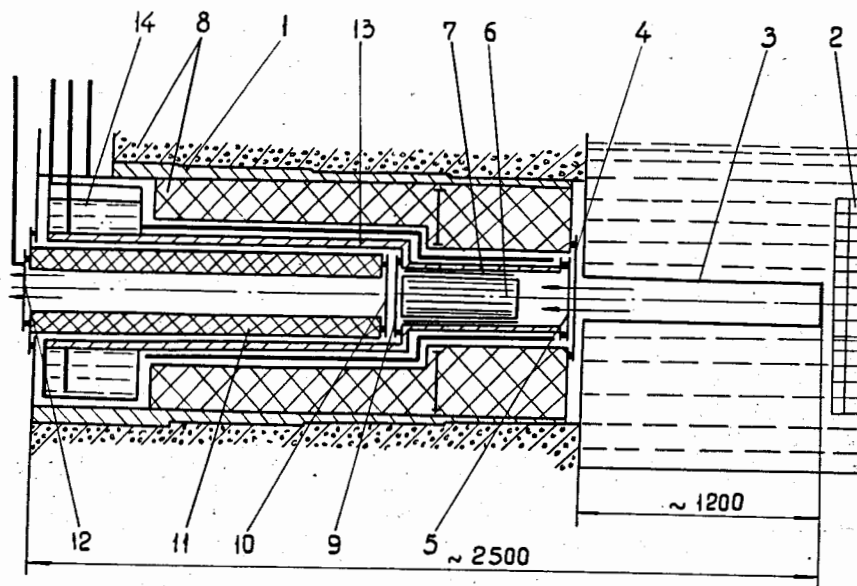


Рис. 2

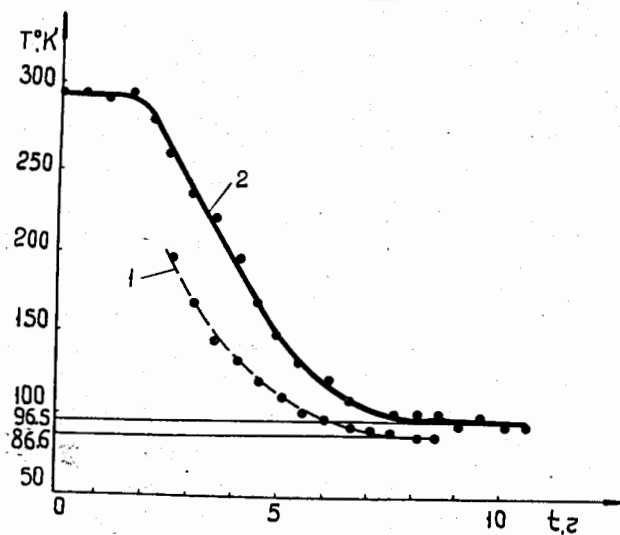


Рис. 3

На рис.3 приводятся кривые охлаждения бериллиевого фильтра. Кривая 1 снята при выключенном реакторе, а кривая 2 при мощности реактора 1 Мвт. Среднее значение теплового потока, сообщаемого проникающим излучением единице массы вещества в месте расположения бериллиевого фильтра при мощности реактора 1 Мвт, составляет $\sim 2 \cdot 10^{-3}$ вт/г.

Глава 5. Описываются низкотемпературные петли с принудительно циркулирующим газообразным теплоносителем (гелий) и с жидким азотом, в качестве хладагента – вертикальные петли для внутриканальных исследований механических свойств материалов и горизонтальная петля с пневмопочтой для холодной выгрузки облученных образцов. Приводятся расчет и результаты испытания установок.

На рис.4 показана схема вертикальной петли с теплообменником в ванне с жидким азотом. Циркулирующий посредством мембранного компрессора I (производительность $\sim 0,5$ г/сек гелия при газгольдерном давлении на входе) гелий проходит теплообменники 2 и 3. После этого гелий через трубопроводы 4 и 5 поступает в рабочую камеру 6 снизу, где охлаждает образец 7 и датчик 8. Из рабочей камеры гелий через трубопроводы 9 и 10 и теплообменник 2 возвращается в компрессор. Расход циркулирующего гелия изменяется посредством байпасного вентиля II. Из газгольдера I2 в установку запускается гелий, а из сосуда Дьюара I3 подается жидкий азот. I4 – активная зона. Канал-криостат длиной 7,5 м имеет рабочую камеру диаметром 74 мм, охлаждаемую в зоне облучения на высоте 1 м.

Канал-криостат этой установки был помещен в бак реактора касательно к активной зоне, где средний тепловой поток, сообщаемый проникающим излучением единице массы вещества при мощности реактора 1 Мвт, равен $\sim 0,05$ вт/г. В этих условиях петля успешно эксплуатировалась в течение нескольких лет. В зависимости от расхода гелия, суммарной массы облучаемого объекта и мощности облучения образцы охлаждались до $85 \pm 120^\circ\text{K}$.

В дальнейшем, когда канал-криостат такой петли был помещен в активную зону реактора, где мощность нагрева от проникающего

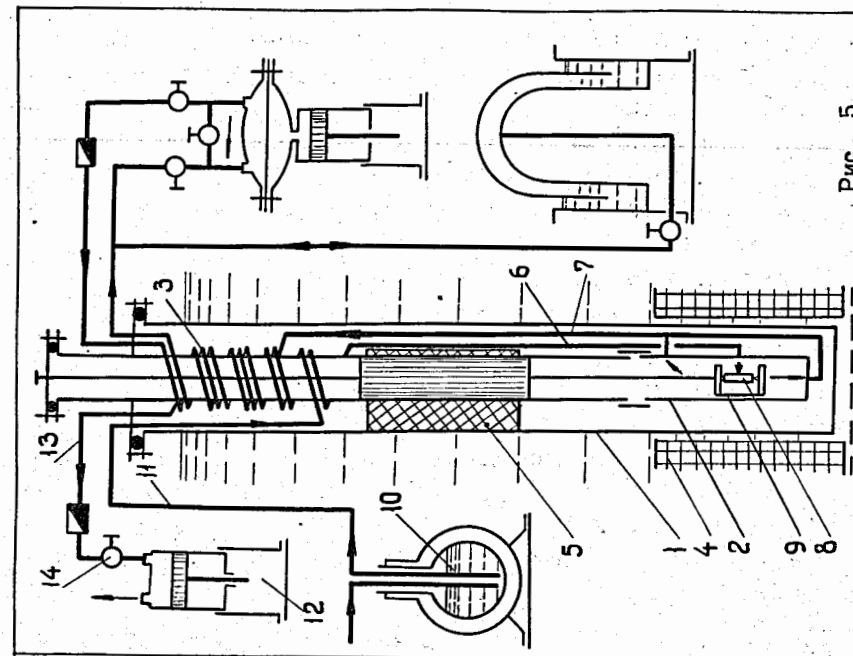


Рис. 5

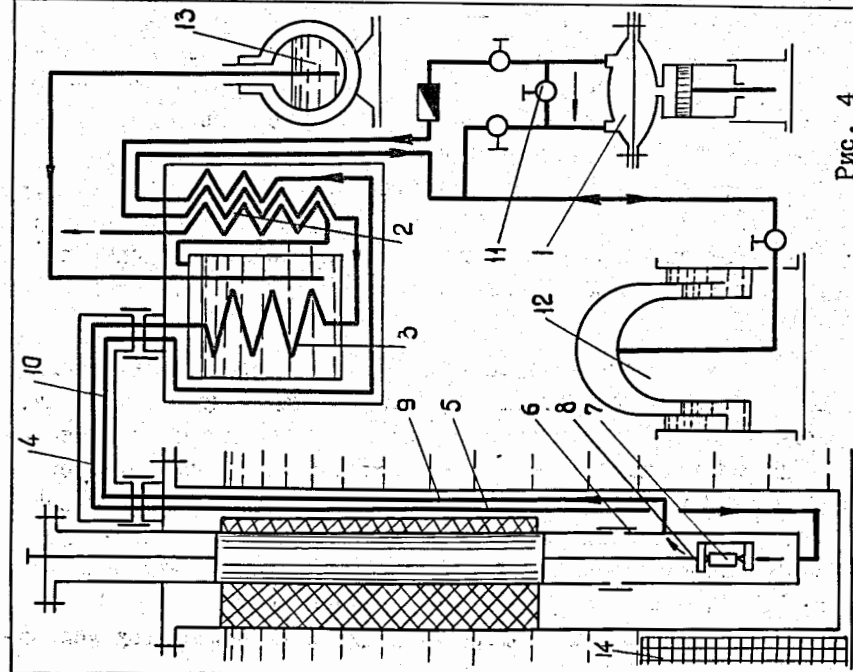


Рис. 4

излучения при мощности реактора I Мвт. повысилась до $\sim 0,21$ вт/г, эта установка оказалась малоприменной из-за низкой эффективности охлаждения образца и ее пришлось заменить установкой, показанной на рис.5. В канале I рабочая камера 2 и теплообменник 3 размещены таким образом, что рабочая камера находится в активной зоне 4, а теплообменник защищается от облучения блоком 5. В теплообменнике производится полный цикл охлаждения циркулирующего гелия, т.е. предварительное охлаждение своим обратным потоком и парами азота и окончательное - жидким азотом.

Размещение теплообменного аппарата в канал-криостате определило значительное сокращение пути движения охлажденного гелия до поступления в рабочую камеру. Это, со своей стороны, определило уменьшение теплопритока от окружающей среды к поверхности подводющего трубопровода. Теплоприток здесь уменьшается и посредством экранизации подводющего трубопровода отводящим.

Подводящий трубопровод 6 соединяется с рабочей камерой на уровне центра активной зоны против места расположения образца, а с теплообменником - на уровне подачи жидкого азота. Отводящий трубопровод 7 соединен с рабочей камерой двумя отверстиями на ее верхнем и нижнем концах, а с теплообменником - в точке соответствующего температурного уровня. Это определило повышение эффективности охлаждения образца за счет того, что гелий сперва охлаждает образец, а потом стенки камеры и детали датчика. Здесь влияние на температуру образца 8 тепловых потоков, выделяемых рабочей камерой и датчиком 9, практически исключается.

В установке предусмотрена возможность изменения температуры образца посредством изменения расхода жидкого азота, необходимость которого возникает при работе на одной компрессорной линии нескольких установок. Система подачи азота состоит из сосуда Дьюара 10, соединенного с канал-криостатом трубкой II, и поршневого вакуумнасоса 12, соединенного с канал-криостатом трубопроводом 13. Жидкий азот подается в теплообменник непрерывно, его расход изменяется вентилем 14.

В обеих установках, которые находились в одинаковых услови-

ях облучения, были загружены одинаковые образцы с датчиками. Средний тепловой поток, сообщаемый проникающим излучением единице массы вещества в рабочих камерах при мощности реактора I Мвт, составлял $\sim 0,21$ вт/г. Общая масса датчика составляет 160 г, а масса образца - 66 г. Температура измерялась закрепленной на образце медь-константановой термопарой. Расход гелия в течение 100-часового облучения в обеих установках был постоянным и составлял $\sim 0,25$ г/сек.

Результаты приводятся в таблице I.

Таблица I

Мощность реактора	кВт	0	200	400	600	800
Температура в установке по рис. 4	°К	89,2	100,5	112,5	124,5	137,2
Температура в установке по рис. 5	°К	84,4	87,7	91,1	94,8	98,6

Таблица 2

Мощность реактора	Мвт	0	1,0	1,5	2,0
Температура образца	°К	83,2	104,5	109	118,5

В таблице 2 приведена зависимость температуры образца от мощности реактора, снятая во второй установке в эксперименте с массивным датчиком для растяжения микрообразцов. В барабане датчика закрепляется восемь образцов. Их общая масса вместе с барабаном - 40 г, а общая масса датчика - 2 кг. Расход гелия в течение 50-часового облучения был постоянным и составлял $\sim 0,375$ г/сек.

На рис.6 показана схема горизонтальной петли с пневмопоч-

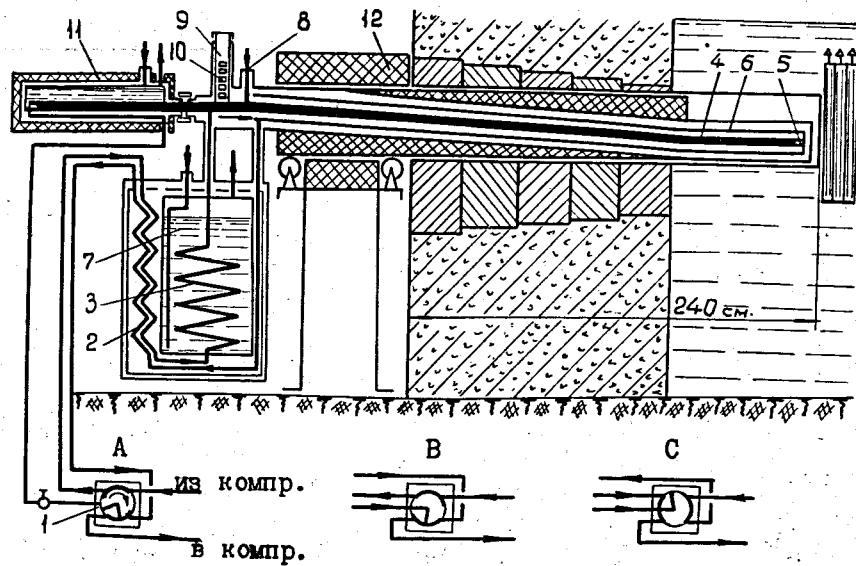


Рис. 6

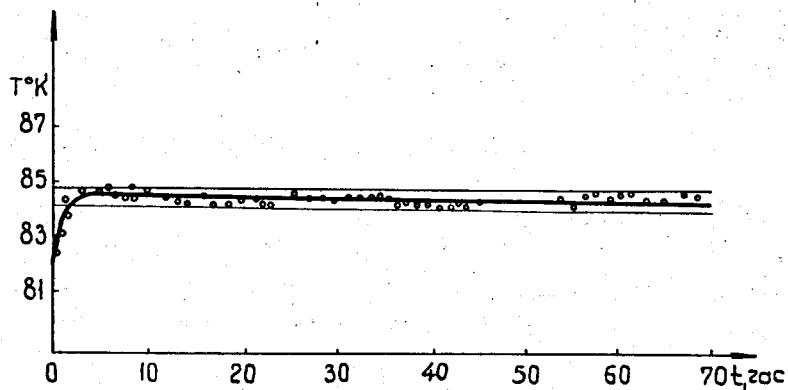


Рис. 7

той. Она разработана для 100 мм канала. Из компрессора через кран I, теплообменники 2 и 3 гелий поступает в рабочую камеру 4 и охлаждает образец 5. Затем, через экранный газопровод 6, теплообменник 2 и кран гелий возвращается в компрессор. В режиме охлаждения кран находится в положении "А". 7 - ванна с жидким азотом.

Кроме охлаждения циркулирующим гелием, предусмотрено охлаждение жидким гелием, который при отключении компрессора можно подавать через трубку 8. Температура измеряется медь-константановыми термопарами и газовым термометром постоянного объема. В процессе 150-часового совместного облучения не были замечены расхождения в показаниях этих термометров.

Кроме внутриканальных низкотемпературных исследований, установка предусматривает возможность удаления холодных образцов из зоны облучения для исследования в лабораторных условиях. При этом введение образца в зону облучения и его удаление можно производить в процессе облучения. В магазин 9 помещаются ампулы 10 с образцами. Диаметр ампулы - 12 мм, а длина - 30 мм. Освобожденная из магазина ампула падает в рабочую камеру и потоком гелия доставляется в зону облучения. Для перегрузки ампулы из зоны облучения в контейнер II с жидким азотом кран переводится в положение "В", в результате чего поток гелия после теплообменника 3 раздваивается. Часть потока проходит через трубопровод, соединяющий контейнер с криостатом, и охлаждает его. Переводом крана в положение "С" достигается изменение направления движения гелия, который выдувает ампулу из криостата в контейнер.

Для предотвращения проникновения излучения в зал реактора трубопроводы криостата проходят через защитную среду по криволинейному профилю. После вывода криостата из канала его средняя (радиоактивная) часть попадает в блок защиты 12.

Многолетняя эксплуатация установок такого типа показала, что они удобны в работе и характеризуются высокой эффективностью охлаждения образца. В процессе многосуточных экспериментов колебание фиксированной температуры образца не превышает $\pm 0,5^\circ\text{K}$. На рис.7 показано колебание температуры образца при одном из экспериментов.

При мощности реактора 2 Мвт и расходе гелия 0,5 г/сек температура образца в этих установках обычно не превышает $82 \pm 85^{\circ}\text{K}$. Путем откачки паров жидкого азота удается понизить температуру образца до $72 \pm 75^{\circ}\text{K}$. Расход жидкого азота составляет 5 ± 7 л/час.

ВЫВОДЫ

1. Проведен теплотехнический анализ установок для глубокого охлаждения образцов в зоне реакторного излучения. Получены формулы для расчета температуры объекта исследования, расхода хладагента и теплоносителя, а также возможного диапазона управляемого изменения температуры в установках с непосредственно омываемым объектом исследования хладагентом, с естественно и принудительно циркулирующим теплоносителем и с теплопередачей через газовую среду и металлический теплопроводник.

2. Предлагаются новые схемы и конструкции установок.

3. Разработана методика расчета влияния экранов на лучистый теплообмен в общих условиях и в зоне реакторного излучения.

4. Построены и испытаны в работе: внутриканальный криостат, в котором бериллиевый фильтр медленных нейтронов охлаждается жидким азотом путем теплопередачи по медному теплопроводнику, и низкотемпературные петли с принудительно циркулирующим гелием и с жидким азотом в качестве хладагента - две вертикальные петли для внутриканальных исследований механических свойств материалов и горизонтальная петля с пневмопочтой для холодной выгрузки облученных образцов.

Результаты, приведенные в главах 2, 4 и 5, могут быть использованы при анализе тепловой обстановки в различных внутриреакторных низкотемпературных экспериментах и при проектировании установок для глубокого охлаждения в зоне реакторного излучения.

Результаты, приведенные в главе 3, могут быть использованы при анализе высоковакуумной теплоизоляции и влияния экранов на теплопередачу в общих условиях и в зоне реакторного излучения.

Материалы диссертации докладывались на IV рабочем совещании по физике и технике исследовательских реакторов в г.Будапеште (1965 г.), на Юбилейной сессии Института физики АН Грузинской ССР (1966 г.) и на нескольких всесоюзных совещаниях.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Л.А.Вадачкория, Д.Г.Кацитадзе, И.А.Наскидашвили, Г.П.Тавхелидзе, Л.С.Топчян, А.А.Чипашвили. Низкотемпературные петли на реакторе ИРТ-2000. Доклад на IV рабочем совещании по физике и технике исследовательских реакторов в г.Будапеште, Ноябрь 1965 года. Препринт Института физики АН Грузинской ССР, г.Тбилиси, заказ № 167 (1965).

2. Э.Л.Андроникашвили, Л.А.Вадачкория, Л.А.Замтарадзе. Реакторный внутриканальный криостат с дистанционным охлаждением. Сборник "Физика низких температур", вып.2, изд-во "Мецниереба", Тбилиси, 52 (1966).

3. Э.Л.Андроникашвили, Л.А.Вадачкория, Л.А.Замтарадзе. Реакторный внутриканальный криостат с дистанционным охлаждением, ПТЭ, № 3, 211 (1967).

4. Л.А.Вадачкория, Д.Г.Кацитадзе, И.А.Наскидашвили, А.А.Чипашвили. Низкотемпературная петля с пневмопочтой на ядерном реакторе ИРТ-2000. "Атомная энергия", 26, вып.3, 288 (1969).

5. Л.А.Вадачкория. Некоторые вопросы экранирования теплового излучения. ИФЖ, 18, № 1, 21 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 ноября 1971 года.