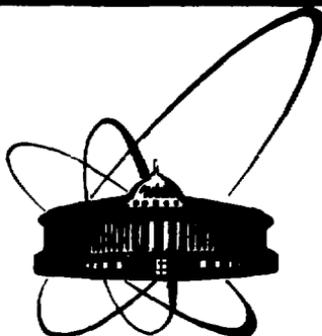


04020-1653



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P8-91-26

**А.И.Алексеев, В.М.Микляев, А.В.Скрыпник,  
Ю.П.Филиппов**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ  
К ВЫНУЖДЕННЫМ ПОТОКАМ ГЕЛИЯ**

**1991**



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение сверхпроводящих (СП) систем, криостатируемых гелием, обусловило необходимость исследования теплофизических процессов, влияющих на динамику возникновения и распространения нормальной зоны в СП-материале. К таким процессам относятся, например, термоконвекция однофазного криоагента, расслоение двухфазного потока, локальный разогрев СП-обмотки. Эти процессы исследуются как при полномасштабных экспериментах, так и путем экспериментального или компьютерного моделирования<sup>1/1</sup>. Большое влияние на процессы разогрева обмотки и, следовательно, возникновения и распространения нормальной зоны оказывает динамика нестационарной теплоотдачи к криоагенту.

В настоящее время имеется довольно обширный материал по нестационарной теплопередаче к гелию в большом объеме, например,<sup>2-4/</sup>. Ведутся исследования, ориентированные на системы с охлаждением вынужденными потоками криоагента<sup>5-6/</sup>. Становится существенным интерес к СП-системам, в которых криостабилизация СП-обмоток обеспечивается двухфазным гелием<sup>7-8/</sup>, однако экспериментальные данные по теплопередаче в условиях вынужденного движения этих потоков весьма ограничены, например,<sup>9-10/</sup>.

В настоящей работе приведена довольно подробная информация об экспериментальном оборудовании, используемом для изучения нестационарной и стационарной теплопередачи к одно- и двухфазным потокам гелия. Горизонтальная ориентация охлаждаемых каналов и кольцевая форма их поперечных сечений обусловлены стремлением максимально приблизиться к условиям реальных конструкций.

В состав экспериментального оборудования входят: малоинерционные тепловыделяющие элементы (ТВЭ), электронное оборудование для импульсного нагрева ТВЭ и динамического измерения температур, проточные криостаты, система циркуляции гелия.

## 2. ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЕРМОМЕТРИЯ

### 2.1. Выбор методики измерения температур

Суть эксперимента по нестационарной теплопередаче при импульсном нагреве поясняется рис.1, где приведены зависимости мощности тепло-

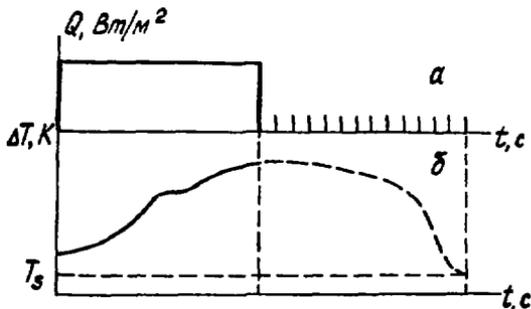


Рис.1. Характеристики импульса мощности  $Q(t)$  и пробных импульсов для режима релаксации (а); динамика изменения перегрева поверхности  $\Delta T(t)$  относительно температуры  $T_s$  криоагента (б).

выделения и изменения температуры поверхности объекта в среде криоагента от времени. Для

таких экспериментов необходимы ТВЭ и термодатчики, которые отличаются относительно низкой тепловой инерционностью и сравнительно высокой чувствительностью. Известны различные решения этой задачи, удовлетворяющие условиям тех или иных конкретных экспериментов.

Например, в работах<sup>1,3,9</sup> используют отдельные схемы питания ТВЭ и измерения температуры. В этом случае роль ТВЭ играет электропроводящая поверхность (металлическая трубка или пластина), а роль измерителя температуры — термопара (или термодатчик), укрепленная на ТВЭ. В таких схемах применяется серийное электронное оборудование для питания ТВЭ, однако типичные недостатки термопар приводят к довольно высокой погрешности определения температуры поверхности, особенно в нестационарном случае.

Другие авторы<sup>2,4,6</sup> применяют так называемые совмещенные схемы, когда ТВЭ одновременно служит и термодатчиком. Практически это реализуется либо в виде проволочек малого ( $\sim 60$  мкм) диаметра, либо электропроводящих пленок на подложках. Такие нагреватели-термометры (НТ) отличаются как малой тепловой инерционностью, так и способностью точно измерять температуру поверхности. Однако при использовании НТ требуется специальное электронное оборудование, ориентированное на конкретную быстро изменяющуюся величину сопротивления  $R(T)$ . Кроме того, необходимо обеспечить стабилизацию мощности джоулеа тепловыделения во времени.

В ряде случаев второй путь представляется предпочтительным, и наш выбор остановлен на нем. Предварительные исследования и опыт других исследователей<sup>2,6</sup> показали, что в качестве подходящего материала для нагревателя-термометра может быть выбран углерод в виде тонкой пленки.

Для исследования тепловых процессов на гелиевом температурном уровне пленки должны удовлетворять следующим основным требованиям:

— толщина не более 2÷3 мкм, что обусловлено, во-первых, допустимым перепадом температур (менее  $5 \cdot 10^{-3}$  К) по толщине пленки, во-вторых, тепловой инерцией ( $\epsilon < 10^{-8}$  с) слоя как термодатчика нестационарных температур ;

— чувствительность при  $T \cong 4 \div 5$  К не хуже 200 Ом/К;

— относительно медленный темп старения после многократного термоциклирования в диапазоне 4÷300 К;

— согласованность сопротивления R в рабочем диапазоне температур с максимально допустимым напряжением — около 200 В — усилителя мощности, что обусловлено прочностью на электрический пробой миниатюрных разъемов и соображениями безопасности;

— соблюдение условий автономности исследуемого процесса.

## 2.2. Тепловыделяющие элементы (ТВЭ)

В соответствии с перечисленными требованиями была разработана технология нанесения пленочных покрытий из углерода и изготовлены экспериментальные образцы трех типов, показанные на рис.2. В качестве подложки служила керамическая трубка\* диаметром 11,1 мм. Образец первого типа (рис.2-1) предназначен для экспериментов в условиях

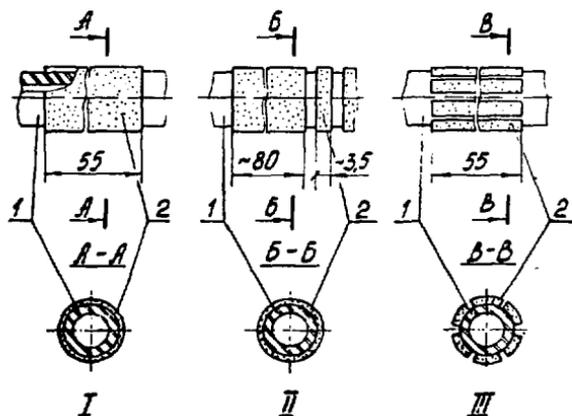


Рис.2. Экспериментальные образцы. 1 — керамическая трубка ;  
2 — углеродные плечки (размеры в мм).

\* Состав этой трубки следующий: 94,5%  $Al_2O_3$ , 2%  $TiO_2$ , 2%  $MnO_2$ , 1%  $Fe_2O_3/Fe_3O_4$ ; Mg, Ca,  $SiO_2$  — 0,5%.

так называемого большого объема. Два других (рис.2-II и 2-III) — для исследований при вынужденном движении гелия. В зависимости от требований эксперимента покрытия выполнены различно: первый тип (рис.2-I) — в виде одиночного цилиндрического пояска длиной 55 мм; второй (рис.2-II) — в виде чередующихся цилиндрических поясков (длины  $\approx 80$  мм и  $\approx 3,5$  мм, количество — 12 шт.); третий (рис.2-III) — в виде параллельных оси сегментных полосок (длина 55 мм, количество — 6 шт.).

Учитывая сходство образцов и технологии их изготовления, ограничимся детальным описанием только одного из них — образца третьего типа.

Технология изготовления углеродных пленок основана на методе вакуумного напыления углерода с помощью электронно-ионного испарения<sup>113</sup>. Под действием бомбардировки электронами углерод сублимируется, и частично ионизированный поток пара углерода конденсируется на равномерно-вращаемой керамической трубке при температуре около  $300^\circ\text{C}$ . В качестве испаряемого материала использовался реакторный графит. Вакуум в процессе напыления составлял  $\sim 10^{-6}$  Торр, мощность испарителя  $\sim 10$  кВт. Напыление углерода производилось на керамическую трубку через металлические маски. Толщину углеродного слоя, напыленного на керамическую трубку, измеряли с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4. Для этого одновременно напыляли пленку на стекле-"спутнике", которое использовалось для измерений. Требуемая толщина пленки  $\sim 1$  мкм была гарантирована контролем сопротивления нарастающего углеродного слоя в процессе напыления с учетом термической поправки.

Исследование структуры углеродных пленок, отделенных от стеклянных подложек, было проведено с использованием электронного трансмиссионного микроскопа JEM-7. Диффузный характер полученных электронограмм свидетельствует о том, что пленки углерода полностью аморфны. По предварительным замерам на стекле-"спутнике" неравномерность толщины пленки по длине и диаметру была соответственно не хуже 5% и 2% от номинала. Можно предположить, что неравномерность удельной электропроводности по длине и диаметру такого же порядка, как и неравномерность по толщине.

Диапазон изменения сопротивления углеродного покрытия от температуры ( $\sim 1\div 6$  кОм) был подобран так, чтобы, во-первых, обеспечить устойчивый режим работы усилителя мощности, входящего в состав электронной аппаратуры, во-вторых, обеспечить относительно широкий диапазон удельных тепловыделений с НТ ( $\sim 50\div 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>).

### 2.3. Градуировка ТВЭ

Градуировка углеродных пленок проводилась как по давлению насыщенных паров гелия (в диапазоне  $4,2 \div 5$  К), так и по показаниям германиевых термометров (в диапазоне  $5 \div 20$  К). Величина сопротивления определялась по четырехпроводной схеме на постоянном токе 1 и 10 мкА. При таких токах в пленках рассеивается мощность порядка нановатт, что не вызывает обнаруживаемого перегрева в них по отношению к температуре объема. Типичные температурные зависимости  $R(T)$  углеродных пленок приведены на рис.3. В частности, зависимость  $R(T)$  углеродных пленок третьего типа показывает приемлемость такой характеристики для работы в сверхтекучем гелии,  $T < 2,17$  К.

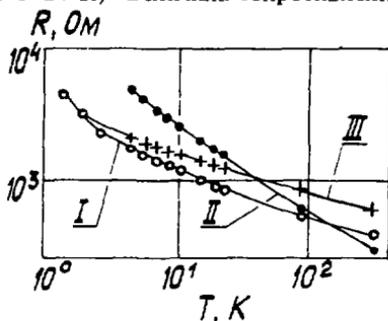


Рис.3. Температурные зависимости сопротивления  $R$  углеродных пленок от температуры  $T$ . I, II, III — образцы первого, второго и третьего типов в соответствии с рис.2.

### 3. ЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Общая схема электронного оборудования показана на рис.4. Оно выполнено в стандарте КАМАК и предназначено для проведения экспериментов на линии с ЭВМ. Измерительная система включает 6 автономных усилителей мощности, обеспечивающих плотность теплового потока в импульсе до  $10^5$  Вт/м<sup>2</sup>, 8-канальный 12-разрядный АЦП с минималь-

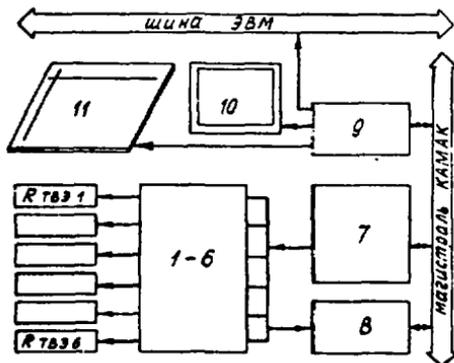


Рис.4. Схема электронного оборудования. 1-6 — усилители мощности, 7 — управляющие блоки, 8 — измерительные блоки, 9 — интерфейсы, 10 — монитор, 11 — графопостроитель, ТВЭ — тепловыделяющие элементы.

ным временем разрешения 30 мкс и буферной памятью объемом 8К на один канал. Особенность усилителя мощности состоит в обеспечении режима стабилизации мощности джоулева тепловыделения в ТВЭ (погрешность — 2÷4%). Как отмечалось, этот режим необходим в связи с тем, что величина сопротивления ТВЭ в рабочей области может изменяться от 6 до 1 кОм. Подробности приведены в <sup>11-12</sup>.

#### 4. ПРОТОЧНЫЕ КРИОСТАТЫ

Для проведения экспериментов по нестационарной теплопередаче к вынужденным потокам гелия тепловыделяющие элементы помещались в проточные криостаты горизонтальной ориентации. В одном из таких криостатов, схематично изображенном на рис.6, размещен шестиканальный секционированный ТВЭ (СТВЭ), показанный на рис.2-III и рис.5.

Углеродные пленки 2 СТВЭ (рис.5) подключены к измерительной аппаратуре с помощью электрических выводов 5, припаянных к контактным серебряным площадкам 3 в точках 4. При этом используются отверстия 6 в трубке и герморазъем 7. Керамическая трубка 1 соединена с центрирующими вставками из ковара 8 и 9 посредством эпоксидного клея и впаянного герморазъема 7, что обеспечивает вакуум внутри нее при гелиевых температурах. Для измерения температуры потока гелия с обеих сторон СТВЭ на верхней и нижней образующих установлены малогабаритные 1x1x1 мм германиевые термодатчики 10, смонтированные в углублениях заподлицо с поверхностями центрирующих вставок. Это позволяет измерять температуры жидкой и газовой фаз расслоенных потоков.

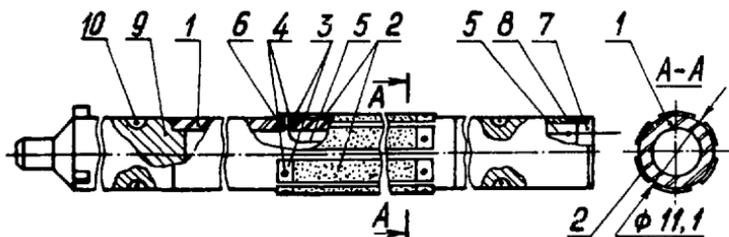


Рис.5. Секционированный тепловыделяющий элемент в сборе. 1 — керамическая трубка, 2 — углеродные пленки, 3 — контактные площадки, 4 — контакты, 5 — электрические выводы, 6 — отверстия, 7 — герморазъем; 8, 9 — центрирующие вставки, 10 — германиевые термодатчики.

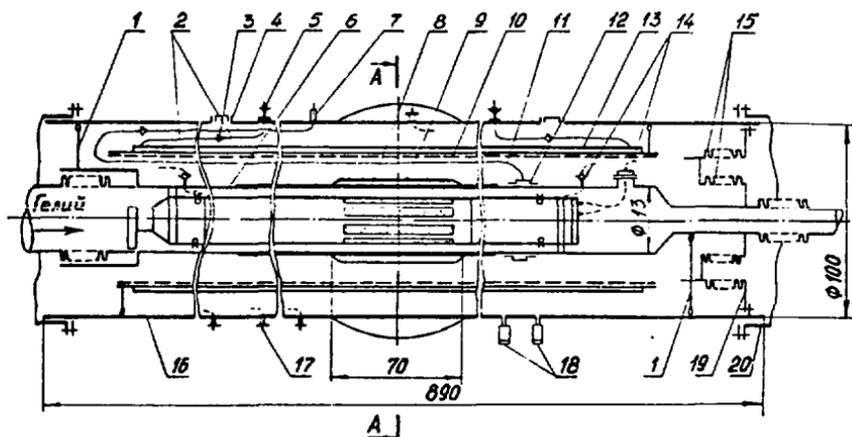


Рис.6. Схематичная конструкция проточного криостата для СТВЭ. 1 — центрирующая вставка; 2 — азотные трубки; 3 — разъемное соединение; 4 — люк; 5 — герметичный узел с тепловой развязкой; 6 — гелиевый канал; 7 — узел вывода импульсной трубки; 8 — труба из молибденового стекла; 9 — окно; 10 — промежуточный экран; 11 — импульсная трубка; 12 — камера отбора давления; 13 — азотный экран; 14, 17 — герметичные разъемы на гелиевом канале и вакуумном корпусе соответственно; 15 — тепловой мост; 16 — вакуумный корпус; 18 — средства измерения вакуума; 19 — узел уплотнения; 20 — вакуумная муфта. (Сечение А-А см. на рис.7).

В криостате, показанном на рис.6, СТВЭ размещен коаксиально внутри трубы 8 из молибденового стекла, позволяющего регистрировать структуру двухфазного потока. В этом случае для вынужденного потока образуется канал кольцевого сечения. Величина кольцевого зазора  $\delta$  может меняться. Углеродные пленки расположены в канале на расстояниях  $\sim 160\delta$  и  $\sim 60\delta$  от входа и выхода соответственно, что обеспечивает гидродинамически стабилизированный поток гелия. Электрические провода СТВЭ и термодатчиков выведены к измерительной аппаратуре через герметичные разъемы 14, 17 соответственно на гелиевом канале и вакуумном корпусе. Для измерения давления потока предусмотрена камера отбора давления 12, соединенная с преобразователем давления "Сапфир-22" (на рис.6 не показан) посредством тонкостенной импульсной трубки 11 и узла ее вывода 7. Гелиевый канал 6 и азотный экран 13 установлены коаксиально в вакуумном корпусе 16 с помощью центрирующих вставок 1. Внутри азотного экрана размещен промежуточный

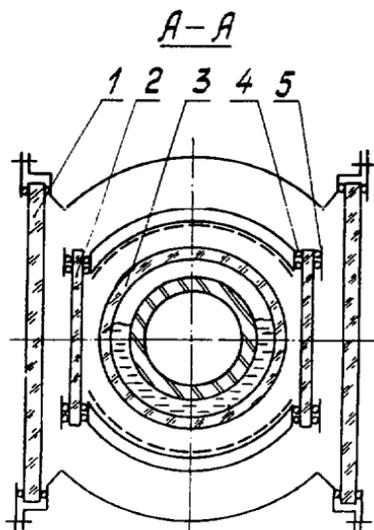


Рис.7. Конструкция иллюминатора для визуализации процессов в гелиевом канале. 1,2 — стекла; 3 — трубка из молибденового стекла; 4 — индиевые прокладки; 5 — пластина.

экран 10 из листовой полированной меди. Он имеет только точечные контакты с азотным экраном. Азот подается на экран через герметичный узел с тепловой развязкой 5 на вакуумном корпусе, разъемное соединение 3 и азотные трубки 2, монтаж которых производится из люков 4. Криостат снабжен средствами измерения вакуума 18, имеет автономный вакуумный объем, который образован узлом уплотнения 19 с тепловым мостом 15 и вакуумными муфтами 20.

Для визуализации структуры двухфазных потоков гелиевый канал (см. рис.7) сделан из стеклянной трубки 3 (молибденовое стекло). Наблюдение осуществляется через иллюминаторы 1 и 2 на вакуумном корпусе и азотном экране. Отметим, что стекла 2 выполняют функции как оптических окон, так и радиационных экранов. Надежный тепловой контакт пары стекло-металл (12Х18Н10Т) обеспечивают индиевые прокладки 4 диаметром менее 1 мм, прижимаемые к азотному экрану пластинами 5.

В другом проточном криостате размещен тепловыделяющий элемент, показанный на рис.2-11. Оба криостата во многом аналогичны, однако второй не содержит участка для наблюдения за структурой потока.

В заключение раздела отметим, что рассмотренные проточные криостаты и тепловыделяющие элементы позволяют исследовать динамику нестационарной теплопередачи как по длине, так и по образующей канала, обеспечивая визуализацию гидродинамических процессов. При этом удовлетворяются следующие требования:

- обеспечение условий гидродинамического подобия;
- обеспечение надежности контакта пленок с электрическими выводами в условиях "термоударов";
- отсутствие возмущений потока гелия на измерительном участке;
- устранение трудно учитываемого конвективного теплообмена;

— реализация гидродинамически стабилизированного потока гелия в зоне углеродных пленок.

## 5. СИСТЕМА ЦИРКУЛЯЦИИ ГЕЛИЯ

Проточные криостаты смонтированы в криогенном стенде, схема которого приведена на рис.8. Прямой поток гелия из установки КГУ-250/4,5 проходит регулирующий вентиль 1, теплообменник 3 в криостате 6, последовательно соединенные проточные криостаты 7, 8 и возвращается в КГУ. За счет разности давлений в криостате 6 и теплообменнике 3 поток гелия охлаждается до состояния недогретой жидкости. При необходимости создать разрежение в криостате 6 включается эжектор 9. В криостате также установлены диафрагмы 4 для измерения расхода и формирователь входного паросодержания 5. Наполнение криостата гелием осуществляется через магистраль 2 из сборника КГУ. Для измерения и контроля термодинамических параметров криоагента в криостате 6 и криостатах 7, 8 установлены германиевые термометры сопротивления и преобразователи абсолютного давления типа "Сапфир-22ДА".



Система циркуляции гелия обеспечивает диапазон изменения режимных параметров в следующих пределах:

- расход криоагента  $(0,3 \div 13) \cdot 10^{-3}$  кг/с;
- относительная энтальпия потока (расходное массовое паросодержание)  $0,15 \div 1$ ;
- давление  $\geq 120$  кПа.

Рис.8. Схема криогенного стенда. 1 — регулирующий вентиль; 2 — магистраль пополнения гелием; 3 — теплообменник; 4 — расходомерные диафрагмы; 5 — формирователь входного паросодержания; 6 — криостат; 7, 8 — проточные криостаты; 9 — эжектор.

## 6. ХАРАКТЕРНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанное оборудование использовалось для исследования нестационарных теплофизических процессов в одно- и двухфазных потоках гелия<sup>110/</sup>.

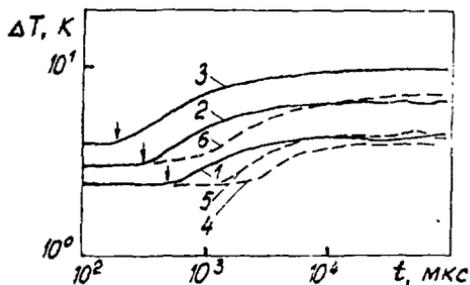


Рис.9. Зависимости перегрева  $\Delta T$  от времени  $t$  при дисперсно-кольцевом режиме течения (кривые 1-3) и гомогенизированном распределении фаз (4-6) ( $P = 0,13$  МПа,  $m = 120$  кг/м<sup>2</sup>с): 1 -  $q = 6,9 \times 10^3$  Вт/м<sup>2</sup>,  $x = 0,8$ ; 2 -  $1,31 \times 10^4$  и  $0,8$ ; 3 -  $2,13 \times 10^4$  и  $0,8$ ; 4 -  $6,9 \times 10^3$  и  $0,3$ ; 5 -  $6,9 \times 10^3$  и  $0,5$ ; 6 -  $q = 1,31 \times 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>,  $x = 0,3$ .

В качестве примера на рис.9 приведены зависимости перегрева теплоотдающей поверхности  $\Delta T$  цилиндрического образца (рис.2-11) от времени  $t$  после подачи теплового импульса при различных значениях массовой скорости  $m$  и относительной энтальпии  $x$ . Форма импульса — ступенчатая, длительность переднего фронта  $\sim 20$  мкс. Из рис.9 видно, что структура двухфазного потока существенно влияет на динамику и интенсивность нестационарной теплопередачи к гелию. Так, при дисперсно-кольцевом режиме (кривые 1-3) четко фиксируется время перехода к кризису (отмечено стрелками ↓), что объясняется динамикой высыхания пленки на теплоотдающей поверхности. В условиях гомогенизированного распределения фаз (кривые 4-6) зависимости  $\Delta T(t)$  не имеют характерных изломов, которые можно было бы интерпретировать как качественное изменение механизма теплопередачи. Как показано в [10], начальный процесс нестационарного кипения при этих режимах автомоделен относительно переменных  $[T(t) - T_0] / (1 - x); q / \sqrt{T(1 - x)}$ . В экспериментах при расслоенном течении обнаружено [10], что на верхней образующей нагревателя возможно образование пленки жидкости, интенсифицирующей теплоотдачу в начальные моменты.

В заключение авторы выражают благодарность Н.И.Балалыкину за содействие в работах по тонкопленочной технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Funaki K. et al. — Cryogenics, 1985, v.25, No.3, p.139.
2. Steward W.G. — Int. J. Heat and Mass Transfer, 1978, v.21, No.7, p.863.
3. Grigoriev V.A. et al. — Cryogenics, 1985, v.25, p.81.
4. Ito T., Kubota H., Uesone M. — Proc. 11th Int. Cryog. Engng. Conf., West Berlin, 1986.
5. Steward W.G. — Helium Transient Heat Transfer. Part. Two. NBS IR-78, Oct., 1, 1977.

6. Джирратано П.Дж., Стюард В.Дж. — Теплопередача, 1983, т.105, № 2, с.129.
7. Green M.A., Burns W.A., Taylor J.D. — Advances in Cryogenic Engineering, 1980, v.25, p.420.
8. Forster S. et al. — Proc. Ninth Magnetic Technology Conf. Zurich, 1985, p.32.
9. Павлов Ю.М., Антипов В.И., Романов В.И. — Труды МЭИ, М., вып.478, 1980, с.73.
10. Алексеев А.И., Микляев В.М., Филиппов Ю.П. — ИФЖ, 1990, т.58, № 6, с.885.
11. Минашкин В.Ф. и др. — Сообщение ОИЯИ, P10-88-902, Дубна, 1988.
12. Минашкин В.Ф. — Сообщение ОИЯИ, P10-89-547, Дубна, 1989.
13. Технология тонких пленок. Справочник. М.: Радио, 1977.

**Рукопись поступила в издательский отдел  
16 января 1991 года.**

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р. 20 к.
Д17-87-85	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.
Д14-88-838	Труды рабочего совещания "Современные направления в активационном анализе ОИЯИ". Дубна, 1988	2 р. 40 к.
Д13-88-938	Труды XIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1988	4 р. 30 к.
Д10-89-70	Труды Международной школы по вопросам применения ЭВМ в физических исследованиях. Дубна, 1988.	2 р. 60 к.
Р2-89-139	Труды семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1988	1 р. 10 к.
Д19-89-143	Труды рабочего совещания по генетическому действию корпускулярных излучений. Дубна, 1988	4 р. 30 к.
Д4-89-221	Труды рабочего совещания по разработке и созданию излучателя и детектора гравитационных волн. Дубна, 1988	1 р. 60 к.
Д9-89-52	Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1988 (2 тома)	14 р. 35 к.
Д4,6,15-89-638	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1989	3 р. 76 к.
Д9-89-708	Труды II Международного совещания по циклотронам и их применению. Бехин, СССР, 1989	4 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Алексеев А.И. и др.

P8-91-26

**Экспериментальное оборудование для исследования нестационарной теплопередачи к вынужденным потокам гелия**

Представлено экспериментальное оборудование для исследования стационарных и нестационарных тепловых режимов при вынужденном движении двухфазных потоков гелия. Для обеспечения циркуляции гелия использовался рефрижератор мощностью 300 Вт. Описана технология изготовления тонкопленочных нагревателей-термометров, детали криостатов с каналами кольцевого поперечного сечения, принципиальная схема электронного оборудования. В качестве примеров представлены некоторые экспериментальные результаты.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

#### Перевод авторов

Alexeyev A.I. et al.

P8-91-26

**Experimental Setup for Investigation of Transient Heat Transfer into Forced Helium Flows**

The experimental setup designed to study the steady state and transient heat transfer under forced helium flow conditions is presented. The flow circulation was maintained with the use of a 300 W helium refrigerator. The paper reports some details of preparative technology of the thin film heater-thermometers, the constructional features of the horizontal flow cryostats with annular channels, and the principle circuit of the electronic system. Some experimental results are given as examples.

The investigation has been performed at the Particle Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

39 коп.

Редактор Е.К.Аксенова. Макет Н.А.Киселевой.  
Набор Л.В.Пахомовой.

Подписано в печать 05.04.91.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 1,05.

Тираж 275. Заказ 44231.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.