

12162



**объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна**

Экз. чит. зала

13 - 12162

**А.И.Агеев, В.Ф.Буринов, В.И.Пряничников,
Н.Б.Рубин**

**КРИОГЕННЫЙ СТЕНД
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОТОКОВ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ**

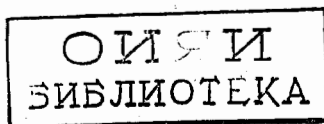
1979

13 - 12162

А.И.Агеев, В.Ф.Буринов, В.И.Пряничников,
Н.Б.Рубин

КРИОГЕННЫЙ СТЕНД
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОТОКОВ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ

*Направлено в журнал "Химическое и нефтяное
машиностроение"*



Агеев А.И. и др.

13 - 12162

Криогенный стенд для экспериментального исследования потоков жидкого гелия

Приводится описание криогенного стенда для исследования процессов теплообмена и гидродинамики при вынужденном течении как двухфазного, так и однофазного гелия в протяженных каналах.

В стенде предусмотрено использование сменных криогенных имитаторов, что позволяет моделировать процессы в различных криогенных системах.

Представлены первые экспериментальные результаты по теплообмену и гидродинамике двухфазных потоков гелия.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1978

Использование явления сверхпроводимости в ускорительной технике позволяет значительно повысить основные физические параметры ускорителей и сократить эксплуатационные затраты.

Поэтому следует ожидать, что в крупных ускорителях с энергией ускоренных протонов выше 1000 ГэВ будут применены сверхпроводящие магнитные системы, причем это будут системы большой протяженности. Так, например, в проекте ускорительно-накопительного комплекса /УНК/ сверхпроводящие магниты должны быть расположены в кольцевом канале длиной около 20 км^{1/}. Наиболее целесообразно криостатирование подобных систем осуществлять путем продавливания жидкого гелия^{2/}, как некипящего, так и в виде парожидкостной смеси, непосредственно через обмотки магнитов. Однако ряд вопросов, связанных с вынужденным течением потока кипящего гелия в протяженных каналах, пока изучен недостаточно.

Для исследования процессов теплообмена и гидродинамики двухфазных и однофазных потоков гелия на базе серийной криогенной установки ХГУ-250/4,5^{3/} в ОИЯИ создан стенд /рис. 1/, состоящий из криогенного имитатора магнита 1/КИМ/, криостата 2, криогенных гелиевых магистралей /КГМ/ 3, 4, 5, арматуры, вакуумной системы и контрольно-измерительных приборов.

Жидкий гелий из установки ХГУ-250/4,5 проходит последовательно через вентиль Д3, КГМ-3, КИМ, КГМ-4, вентиль Д4 и сепарируется в криостате 2 на пар и жидкость. Пары из криостата подаются через магистраль КГМ-5 в установку ХГУ-250/4,5.

Вентиль Д4 позволяет путем изменения давления потока получить в КИМе двухфазный или однофазный гелий. В криоген-

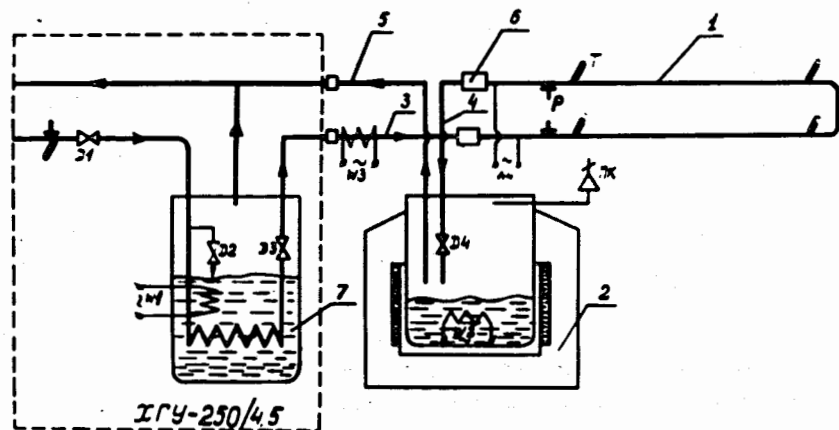


Рис.1. Принципиальная схема стенда. 1 - криогенный имитатор магнита; 2 - криостат гелиевый; 3, 4, 5 - криогенные гелиевые магистрали; 6 - соединительная муфта; 7 - гелиевый сосуд установки ХГУ-250/4,5; Д1, Д2, Д3, Д4 - дроссельные вентили; W1, W2, W3, W4 - электрические нагреватели; ПК - предохранительный клапан; P - измерение давления; T - измерение температуры.

ном имитаторе магнита тепловой поток передается жидкому гелию непосредственно от стенок каналов, для чего через них пропускается электрический ток. Подобный процесс наиболее близок к условиям криостатирования сверхпроводящих магнитов, где тепловой поток передается к жидкому гелию непосредственно от обмоток магнита, являющихся стенками каналов^{1/}.

Конструкция криогенного имитатора магнита /рис. 2/ и его размеры были выбраны согласно условиям подобия относительно процессов в УНК. Гелиевые каналы КИМа выполнены из четырех нержавеющей трубочек 1 /рис. 2/. Длина гелиевых каналов составляет 13,2 м; что эквивалентно длине двух диполей УНК. Каналы 1 электрически изолированы от вакуумного кожуха 2 керамической 3 и фторопластовыми 4 проставками.

В стенде предусмотрено использование сменных имитаторов, что позволяет моделировать процессы различных криогенных циркуляционных систем. С помощью криогенных гелиевых магистралей собрана вся газовая схема стенда. КГМ представляет собой два коаксиально расположенных гибких металлических

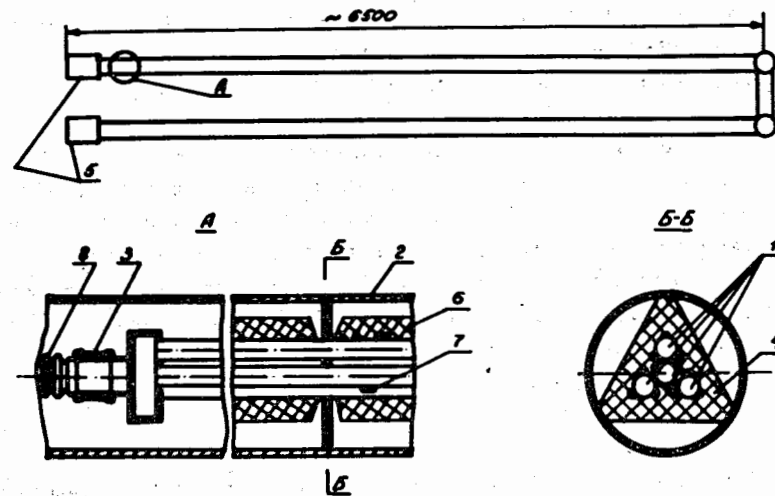


Рис.2. Криогенный имитатор магнита. 1 - каналы КИМа /нержавеющая труба 6x0,5 мм/; 2 - вакуумный кожух /нержавеющая труба \varnothing 60 мм/; 3 - керамическая проставка; 4 - фторопластовая проставка; 5 - соединительная муфта; 6 - суперизоляция; 7 - датчик температуры; 8 - сильфонный компенсатор.

рукава^{4/}: внутренний служит для прохода гелия, а внешний является вакуумной оболочкой.

В качестве датчиков температуры использовались угольные резисторы "Allen-Bradley". Температура гелия регистрировалась датчиками, установленными непосредственно в потоках гелия. Для измерения температуры стенок каналов КИМа датчики помещались в медную гильзу, которая крепилась к стенкам каналов с помощью высокотеплопроводной эпоксидной смолы "Delta-Bond-152-K-A".

Схема включения термодатчиков - четырехпроводная с использованием высокостабильного источника тока на 10 мкА. В качестве вторичного прибора применялся цифровой вольтметр. Использование цифротечки обеспечивало оперативное снятие температурной информации. Для измерения гидравлического сопротивления потока гелия в каналах КИМа использовались сильфонные дифманометры двух различных типов.

Паросодержание гелия и значение его расхода через КИМ определялись из уравнений энергетического баланса, для чего

измерялись значения тепловых потоков, создаваемых электрическими нагревателями W1, W2, W3, W4, давление и температура однофазного потока перед вентиляем Д2.

Изменение расхода гелия через КИМ осуществлялось с помощью вентиляей Д2 и Д3, а изменение паросодержания на входе в КИМ регулировалось электронагревателем W3.

Первые эксперименты проводились при весовом паросодержании $x > 0,4$. В этой области x ожидаются наименьшие значения коэффициента теплоотдачи^{/5/}. Полученные экспериментальные результаты при $Re > 10^5$ и $x > 0,4$ удовлетворительно согласуются с критериальным уравнением Крауссольда для развитого турбулентного режима^{/6/}:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

/1/

Тепловые критерии Nu и Re определялись по физическим параметрам, которые соответствовали насыщенному пару, а газодинамический критерий Re - по параметрам, соответствующим гомогенному потоку.

Анализ уравнения /1/ и экспериментальные данные показывают, что при значениях тепловых потоков, имеющих место в УНК^{/1/}, разница температур между стенкой и кипящим гелием не превышает 0,05 К.

Экспериментальные величины гидравлических сопротивлений в диапазоне средних значений паросодержания $0,57 \leq x \leq 0,7$ на 30% меньше расчетных величин, полученных для гомогенных двухфазных потоков. В процессе проведения экспериментов на криогенном стенде нестабильности течения потоков гелия и теплообмена не наблюдалось.

Авторы пользуются случаем выразить благодарность всем сотрудникам ОНМУ, принявшим участие в проектировании, создании, наладке стенда и проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балбеков В.И. и др. Ускорительно-накопительный комплекс ИФВЭ. X международная конференция по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Серпухов, 1977, т.1, с.127-141.

2. Arp. V. Force d Flow, Single-Phase Helium Cooling Systems. "Adv., Cryog. Eng.", Vol.17, New-York-London, 1972, p.342-351.
3. Агеев А.И. и др. ОИЯИ, 8-10477, Дубна, 1977.
4. Крюков А.И. и др. Гибкие металлические рукава. "Машиностроение", М., 1970.
5. Исаченко В.П. и др. Теплопередача. М., Энергия, 1975.
6. Малков М.П. и др. Справочник по физико-техническим основам криогеники. "Энергия", М., 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 марта 1979 года.