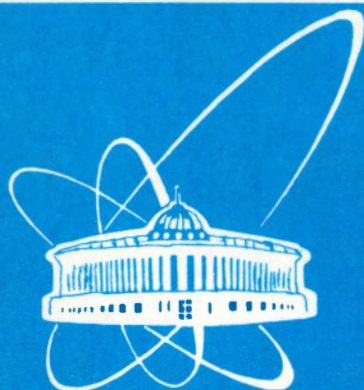


94-184.



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P8-94-184

Ю.Г.Аленицкий, А.Л.Беляев, А.П.Буздавин,
Н.Л.Заплатин, А.В.Новиков, В.И.Пряничников,
В.А.Саенко, В.И.Суханов

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «КРИО-Д»
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПАРОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ ХЛАДОАГЕНТА

1994

Для успешной эксплуатации криогенных циркуляционных систем необходимо знать важнейшие характеристики потока хладагента - температуру, давление, массовый расход, а при двухфазном состоянии хладагента - плотность и паросодержание. В ЛЯП ОИЯИ создана и исследована диагностическая система "КРИО-Д", обеспечивающая одновременное определение всех вышеперечисленных характеристик. Система использует высокочастотный метод измерения плотности и паросодержания и автокорреляционный метод измерения скорости потока^{1/}. Высокочастотный метод измерения плотности и паросодержания основан на зависимости диэлектрической проницаемости хладагента от плотности при известной температуре и давлении. Для измерения диэлектрической проницаемости хладагент пропускается через сосредоточенные емкости ВЧ-резонатора, что делает резонансную частоту ВЧ-резонатора зависящей от диэлектрической проницаемости хладагента. Автокорреляционный метод измерения расхода заключается в определении времени перемещения плотностной неоднородности потока между двумя сосредоточенными емкостями ВЧ-резонатора, отстоящими друг от друга на фиксированном расстоянии, путем нахождения абсциссы второго максимума автокорреляционной функции случайного процесса изменения плотности потока. Для реализации этого метода были разработаны оригинальные алгоритмы и программы расчета автокорреляционной функции методом быстрого Фурье-преобразования. Датчики и идеология определения параметров потока для системы "КРИО-Д" были разработаны в ИАЭ и МИЭМ^{2/} в соответствии с нашим техническим заданием. Для отладки и исследования системы "КРИО-Д" был создан специальный стенд.

Стенд состоит из следующих основных частей: криостата

КГ-60/300 с помещенными в него двумя модулями "КРИО-Д", криогенной гелиевой установки КГУ-150/4,5, системы сбора и обработки информации, вспомогательной вакуумной системы и гелиевых дьюаров. Каждый из модулей "КРИО-Д" состоит из коаксиального ВЧ-резонатора с двумя сосредоточенными емкостями, датчика температуры типа "ТСУ-1" и тензометрического датчика давления типа "КРИОС". Габаритные размеры модуля: длина - 380 мм, максимальный диаметр - 85 мм. Вес - около 2,5 кг. Ориентация модулей - вертикальная. Один модуль установлен в зоне опускного течения двухфазного гелия, другой - подъемного. Между модулями установлен нагреватель. Общий вид модулей "КРИО-Д" в сборе представлен на рис.1. Циркуляция парожидкостного потока гелия через ВЧ- резонатор

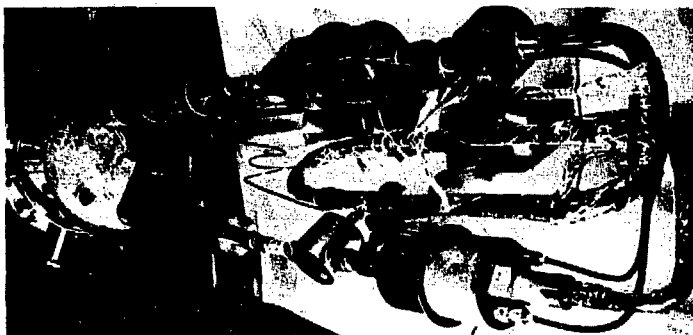


Рис.1. Общий вид модуля "КРИО-Д" в сборе

обеспечивается с помощью установки КГУ-150/4,5, работающей в рефрижераторном режиме. Исследования проводились в диапазоне температур - $(4,3+4,9)K$, давлений - $(1,1+1,8) \times 10^5 Pa$, массовых расходов - $(3+8) г/с$, массовых паросодержаний - $(0,2+1)$.

На рис.2 изображена структурная схема аппаратной части системы сбора и обработки информации. Блоки "Резонанс" отслеживают резонансную частоту ВЧ-резонаторов и формируют на выходе частотный сигнал диапазона $10+100$ МГц. Измерение частоты осуществляется счетчиками и таймером. Датчики температуры и давления запитываются от блока прецизионных источников тока $10\mu A$ и $1mA$ соответственно. Источник тока $10\mu A$ реверсивный, что позволяет снизить влияние контактных термоЭДС и повысить точность измерения температуры. Измерение сигналов с датчиков температуры и давления осуществляется цифровым вольтметром. Коммутация необходимого сигнала производится аналоговым коммутатором. Управление всеми

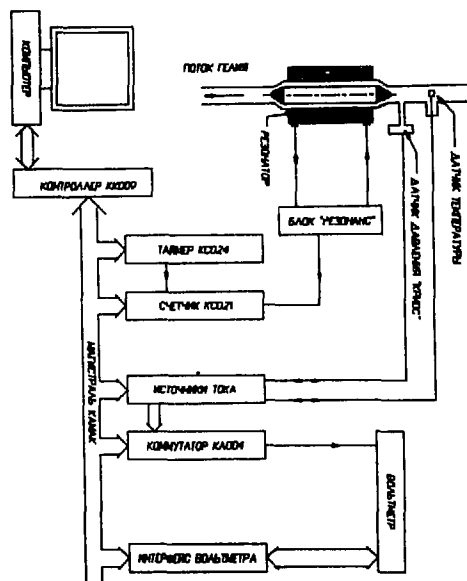


Рис. 2. Структурная схема аппаратной части системы измерений "КРИО-Д"

блоками и передача информации в ПЭВМ осуществляется через крейт КАМАК. Измерение частоты резонаторов производится каждые 10мс.

Программное обеспечение (ПО) системы сбора и обработки информации написано на языке TURBO Paskal и представляет собой гибкое средство для исследований. В начале работы оператор задает параметры системы, такие как количество измерений резонансной частоты для автокорреляционной функции, параметры фильтрации и т.п. Эта информация может быть сохранена для последующего использования. Функционально программное обеспечение можно разделить на следующие части:

- программное обеспечение организации измерений,
- программное обеспечение расчета,
- программное обеспечение визуализации,
- программное обеспечение для работы с архивом.

Программное обеспечение организации измерений осуществляет сбор и накопление массива информации с сенсоров через аппаратуру КАМАК. Программное обеспечение расчета по измеренным данным производит расчет плотности, паросодержания, расхода хладагента. Скорость потока хладагента определяется автокорреляционным способом на основе быстрого фурье-преобразования. Программное

обеспечение визуализации позволяет выдавать на экран монитора и печатающее устройство параметры парожидкостного потока хладогента, графики временных зависимостей сигналов резонансной частоты ВЧ-резонаторов, спектров частот, сигналов резонансной частоты после фильтрации (частотной и амплитудной), автокорреляционной функции с определением абсциссы второго максимума. По выбору оператора архивизация может производиться как в "сыром" (необработанном), так и в обработанном, сжатом виде.

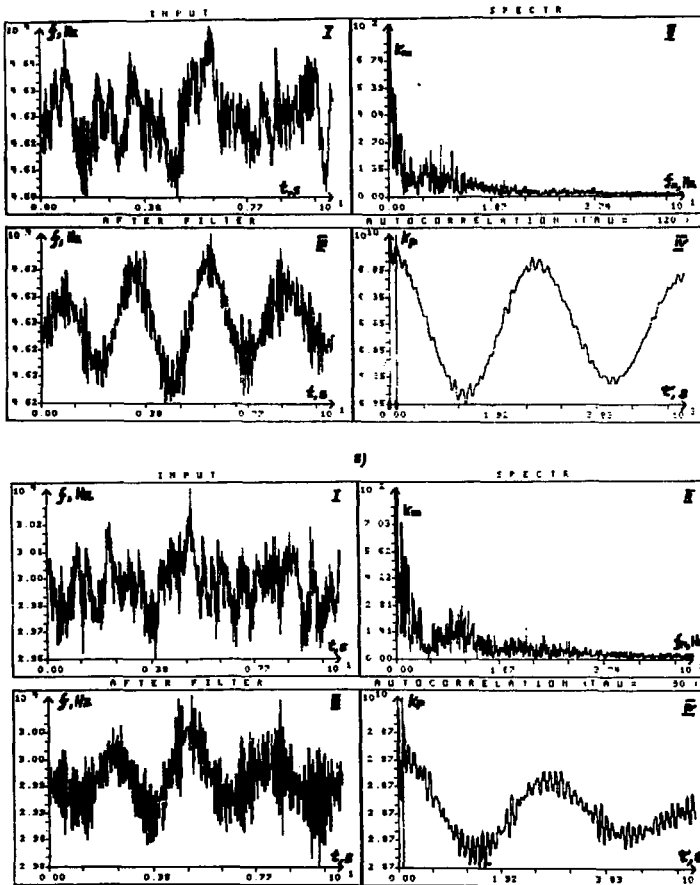


Рис. 3. Характерные сигналы с ВЧ-резонаторов и результаты их обработки для двух различных режимов течения двухфазного гелия: а) и б), ($G_a < G_b$, где: G - массовый расход гелия):

I - измеренный сигнал с ВЧ-резонатора в зависимости от времени;

II - спектр частот измеренного сигнала;

III - то же после фильтрации;

IV - автокорреляционная функция сигнала с ВЧ-резонатора

При исследовании системы получены некоторые результаты, характеризующие ее возможности. Так, например, при подаче в ВЧ-резонатор двухфазного потока с высоким паросодержанием (выше 0,8) и скоростью менее 0,5м/с второй максимум автокорреляционной функции был выражен менее резко, что привело к снижению точности полученных результатов. Этот факт, вероятно, объясняется возможным изменением структуры потока и профилей скоростей обеих фаз в пределах ВЧ-резонатора, увеличением термодинамической неравновесности фаз потока, присущих режимам течения с высоким паросодержанием, а также большей нестабильностью этого потока на входе в ВЧ-резонатор. На рис.3 представлены характерные сигналы с ВЧ-резонаторов и результаты их обработки для двух различных режимов течения двухфазного гелия. Видно, что при больших скоростях потока и меньшем паросодержании полученные результаты более четко выражены. Этот факт должен быть учтен при выборе режима криостатирования сверхпроводниковых устройств с высокими тепловыми нагрузками.

Впервые был измерен температурный уход нулевой частоты f_0 ВЧ-резонатора в диапазоне температур 4,2÷80 К, который составил в этом диапазоне не более 60 кГц, что в соответствии с приведенными ниже формулами вносит в расчет плотности среды погрешность не более 0,02% :

$$\epsilon = [f_0 / f]^2 ,$$

$$\frac{\epsilon-1}{\epsilon+2} - \frac{1}{\rho} = \beta ,$$

где: ϵ - диэлектрическая проницаемость среды; f и f_0 - резонансная частота ВЧ-резонатора в измеряемой среде и вакууме соответственно; β - удельная поляризуемость среды; ρ - плотность среды.

На рис.4 приведена зависимость резонансной частоты в вакууме f_0 от температуры для одного из исследованных модулей. Видно, что при температуре до 80К эта частота практически линейно возрастает до определенного значения, а при более низких температурах характер кривой меняется. Предположительно это объясняется тем, что при захлаживании модуля до азотной температуры зависимость $f_0(T)$ главным образом определяется изменением линейных размеров от температурной усадки, а ниже 80К более существенным становится влияние температурного изменения электрических свойств материалов.

Измерение давления производилось с помощью датчиков давления "Криос" конструкции НИИ Теплоприбор с погрешностью 0,25% от диапазона давлений (1-25)атм, измерение температуры потока - образцовыми термометрами сопротивления типа ТСУ-1 конструкции

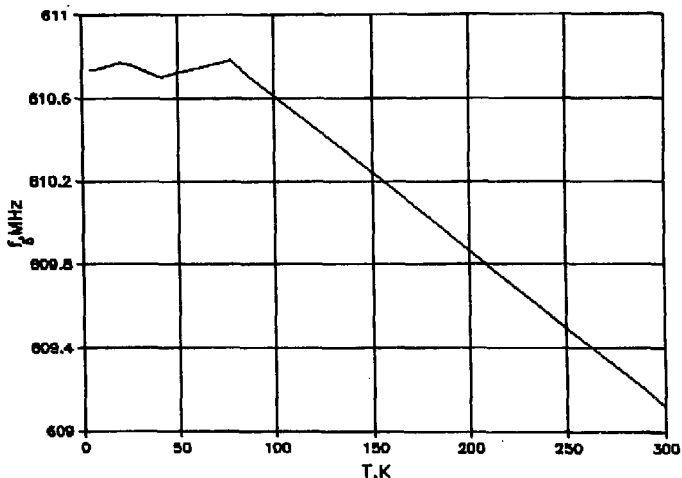


Рис. 4. Зависимость резонансной частоты в вакууме f_0 от температуры T

ВНИИФТРИ с погрешностью 1%. Относительная погрешность измерения плотности и объемного паросодержания не превышает 3% ^{/2/}, а массового расхода - 7% ^{/4/}.

В целом в ходе испытаний диагностическая система "КРИО-Д" показала надежность и удобство работы с ней.

Выводы

В ЛЯП ОИЯИ создана и исследована диагностическая система "КРИО-Д", обеспечивающая измерение и контроль важнейших характеристик двухфазного потока хладагента в каналах криогенной циркуляционной системы - температуры, давления, расхода, паросодержания.

Для отладки и исследования системы "КРИО-Д" создан специальный стенд.

Разработано программное обеспечение диагностической системы, позволяющее оперативно анализировать и архивировать полученную информацию.

Проведены исследования работы системы "КРИО-Д" при различных режимах течения хладагента. Выявлено, что в данной криогенной системе наиболее эффективна ее работа при паросодержании потока не выше 0,8.

Измерен температурный уход нулевой частоты ВЧ-резонатора при захолаживании модуля от 80К до гелиевой температуры и оценена погрешность, вносимая им в расчет плотности среды, которая составила $\approx 0,02\%$.

Диагностическая система "КРИО-Д" рекомендуется для контроля параметров потока хладагента в криогенных циркуляционных системах, в частности для криогенной гелиевой системы сверхпроводящей магнитной системы дейтронного циклотрона ДЦ-1^{/3/}.

Литература

1. Химическое и нефтяное машиностроение, 1988 г., №4, с.14-15, Архаров А.М., Гречко А.Г.
2. ПТЭ, 1988 г., №1, с.151-153, Архаров А.М. и др.
3. Сообщение ОИЯИ, 1987 г., 8-87-658, Аленицкий Ю.Г. и др.
4. Автореферат диссертации к.т.н. Гречко А.Г., М., 1988 г., с.11.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 мая 1994 года.