

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 86-226
ОУНК

А.И.Агеев, Ю.Г.Божко, А.В.Жирнов,
В.А.Кренделев, Е.Г.Прощаев, А.В.Тарасов,
В.Н.Федорченко, В.П.Фомин

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОГО ГЕЛИЯ
КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Направлено в ПТЭ

Серпухов 1986

Аннотация

Агеев А.И. и др. Измерение расхода жидкого гелия калориметрическим методом: Препринт ИФВЭ 86-226. - Серпухов, 1986. - 10 с., 2 рис., 2 табл., библиогр.: 10.

Описана система измерения расхода жидкого гелия с использованием расходомера калориметрического типа. Система предназначена для измерения расхода однофазного жидкого гелия в диапазоне от 3 до 50 г/с. Основная погрешность измерений составляет около 6%. Описаны конструкция датчика расхода, измерительная аппаратура и программное обеспечение. Приводится анализ влияния погрешностей измеряемых параметров на точность определения расхода жидкого гелия.

Abstract

Ageev A.I. et al. Calorimetric Method of Measuring Liquid Helium Flow IHEP Preprint 86-226. - Serpukhov, 1986. - p. 10, figs. 2, tables 2, refs.: 10.

A calorimetric method of measuring liquid helium flow is treated. The system is implied for measuring single-phase helium ranging from 3 to 50 g/s. The main measuring error is 6%. The pickup design, measuring apparatus and program software are described. The influence of the measured parameters errors on the accuracy of helium flow has been analyzed.

Программа исследований моделей сверхпроводящих диполей УНК^{/1/} предусматривает проведение экспериментов при криостатировании сверхпроводящих обмоток однофазным гелием. При этом для определения статических и динамических тепловых нагрузок необходимо измерять расход, температуру и давление однофазного потока гелия. Для определения расхода в одном из испытательных стендов был использован датчик калориметрического типа. Преимуществами использования такого датчика являются высокая надежность, низкие требования к точности изготовления, а также изменение им массового расхода хладагента, в то время как большинство датчиков других типов^{/2,3,4/} измеряют объемный расход.

ДАТЧИК РАСХОДА

Широко распространенная схема калориметрического расходомера^{/2/} включает в себя нагреватель и два термопреобразователя для измерения температур потока T_1 до и T_2 после нагревателя. При известных параметрах потока - давлении P , температурах T_1 и T_2 и мощности Q , рассеиваемой на нагревателе, массовый расход определяется по формуле

$$G = k \frac{Q}{H_2(P, T_2) - H_1(P, T_1)}, \quad (1)$$

где $H_1(P, T_1)$ и $H_2(P, T_2)$ - энтальпии потока соответственно до и после нагревателя; k - коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду, неравномерность температурного профиля по сечению потока и т.д.

При таком методе измерений точность определения величины расхода G в большой степени будет определяться соотношением между абсолютной погрешностью калибровки термодатчиков и измеряемой разностью температур. Так, например, абсолютная погрешность измерения температуры жидкого гелия датчиками типа "Аллен-Бредли", обусловленная только погрешностью калибровки термопреобразователей, составляет $\Delta T_{\text{кал}} \approx \pm 0,02 \text{ K}^{/5/}$. Если требуемая величина относительной погрешности измерения разности температур

равна 10%, то для обеспечения такой точности необходим нагрев потока на величину не менее $\Delta T_{\text{наг}} = 2 |\Delta T_{\text{кал}}| \left(\frac{100\%}{10\%} \right) = 0,4 \text{ К}$.

Помимо того что не всякий поток имеет такой запас по температуре до состояния равновесного кипения, реализация такого способа для измерения расхода на стенде сводит на нет затраты по получению однофазного переохлажденного потока гелия, требующегося для криостатирования СП-магнитов. При меньших же нагревах потока существенно возрастает погрешность измерения расхода.

Значительного повышения точности измерения массового расхода гелия можно достигнуть, используя режим, в котором температура потока измеряется при двух различных значениях мощности тепловыделений на нагревателе – нулевой и некоторой наперед заданной. В этом случае измеряется температура потока в отсутствие тепловыделений на нагревателе, затем включается нагреватель и после установления режима измеряется температура нагретого потока. При таком способе измерений отпадает необходимость в использовании термопреобразователя, расположенного перед нагревателем – все измерения температуры проводятся датчиком, расположенным за нагревателем. По этой причине существенно снижается влияние абсолютной погрешности калибровки термодатчиков на погрешность измерения разности температур, которая будет определяться в основном различием чувствительности истинной и отградуированной характеристик термопреобразователя. Если принять зависимость сопротивления от температуры линейной, то относительная погрешность измерения разности температур внутри калибровочного интервала будет определяться, как отношение величины доверительного интервала $2|\Delta T_{\text{кал}}|$ к величине калибровочного интервала $\Delta T_{\text{инт}}$. Для упомянутых выше датчиков "Аллен-Бредли" при величине калибровочного интервала $\Delta T_{\text{инт}} = 3 \text{ К}$, относительная погрешность измерения разности температур одним термопреобразователем будет составлять $\frac{2|\Delta T_{\text{кал}}|}{\Delta T_{\text{инт}}} \times 100\% = 1,3\%$.

Независимость относительной погрешности измерения разности температур от величин нагрева потока позволяет свести к минимуму мощность на нагревателе и соответственно величину нагрева потока. В этом случае погрешность при измерении разности температур будет в основном определяться лишь аппаратными средствами.

Такой метод измерения массового расхода жидкого гелия был реализован на стенде испытаний СП-диполей. Датчик расхода был установлен в криостат-переохладитель между основной и дополнительной секциями теплообменника. Дополнительная секция предназначена для снятия тепла, вносимого в поток гелия нагревателем датчика расхода.

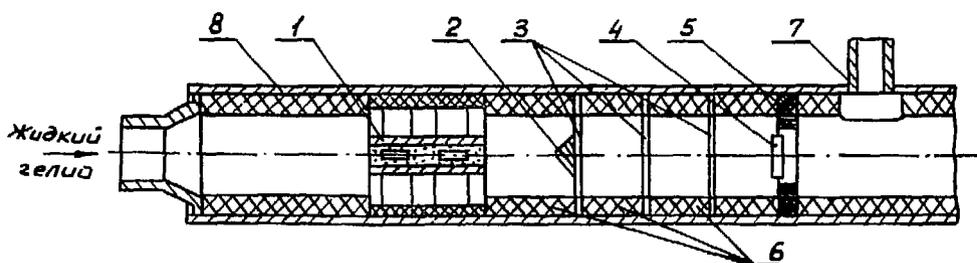


Рис. 1. Конструктивная схема датчика расхода: 1 - нагреватель, 2 - конус, 3 - сетка, 4 - температурный датчик, 5 - фторопластовое кольцо, 6 - текстолитовое кольцо, 7 - штуцер под разъем, 8 - труба.

Конструкция датчика представлена на рис.1. Датчик выполнен в виде участка трубы с наружным диаметром $\varnothing 25$ мм и длиной 350 мм. Внутренняя поверхность трубы выложена текстолитовыми кольцами с диаметром проходного сечения для гелия $\varnothing 15$ мм. В качестве нагревателя используются два резистора типа МЛТ-1 по 24 Ом каждый. Резисторы помещены в медную гильзу с теплоотдающими ребрами. Общая площадь поверхности нагревателя составляет ~ 25 см². Свободное пространство между гильзой и резисторами заполнено высокотеплопроводной силиконовой смазкой^{/6/}. На расстоянии 250 мм от нагревателя в потоке установлен температурный датчик - угольный резистор типа "Аллен-Бредли", имеющий сопротивление при комнатной температуре ~ 100 Ом. Между нагревателем и температурным датчиком имеется перемешивающее устройство^{/7/}, состоящее из конического рассекателя, установленного на мелкоячеистой латунной сетке, и двух дополнительных сеток. Рассекатель способствует размыванию теплого ядра потока, сетки - выравниванию температурного профиля по всему сечению.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Блок-схема измерений представлена на рис.2. Измерительная аппаратура включает в себя блок измерения давления ИД, блок измерения температур ИТ, управляемый источник мощности ИМ, аналоговый коммутатор АК, 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь с пределами преобразования входного сигнала 0-5 В, 12-разрядный цифроаналоговый преобразователь ЦАП, усилитель У и фильтры Ф1 и Ф2. Вся измерительная аппаратура выполнена в стандарте СУММА^{/8/}. Коммутация сигналов, управление величиной

мощности на нагрузке и считывание информации осуществляется через аппаратный комплекс связи ЭВМ СМ-4 с аппаратурой СУММА.

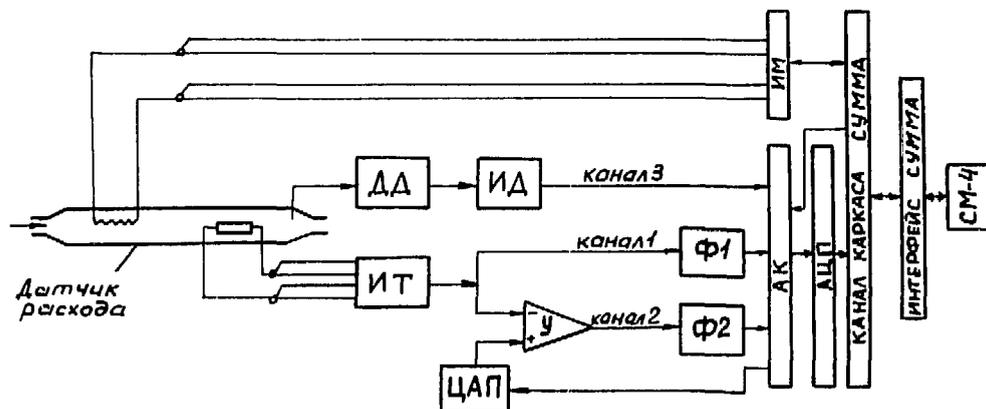


Рис. 2. Принципиальная схема системы измерений: ДД - датчик давления, ИД - преобразователь "ток-напряжение", ИТ - блок измерения температуры, У - усилитель, ЦАП - цифроаналоговый преобразователь, ИМ - источник мощности, Ф1 и Ф2 - фильтры, АК - аналоговый коммутатор, АЦП - аналого-цифровой преобразователь.

Давление потока измеряется с помощью преобразователя с пределом измерений 1 кгс/см^2 и классом точности 1,5. Нормализованный токовый сигнал с преобразователя в блоке ИД преобразуется в напряжение и полученный сигнал подается на вход 3 аналогового коммутатора.

Блок измерения температуры состоит из стабилизатора постоянного тока и усилителя с коэффициентом усиления $K = 200$. Величина тока через датчик температуры составляет $I_{\text{дат}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ А}$. Напряжение с датчика после усиления подается на вход фильтра Ф1 с частотой среза 2 Гц и далее на вход аналогового коммутатора. Погрешность преобразования АЦП, равная 1,25 мВ, соответствует для данного канала погрешности в измерении температуры жидкого гелия $\sim 1,5 \text{ мК}$. Для уменьшения этой погрешности при измерении разности температур в схеме реализован компенсационный метод измерения. Для этого сигнал с ИТ подается на неинвертирующий вход дифференциального усилителя с коэффициентом усиления $K = 5$, на другой вход которого подается напряжение с цифроаналогового преобразователя такой величины, чтобы после усилителя У уровень сигнала был близок к верхнему пределу преобразования АЦП - порядка 4,8 В. После усилителя У напряжение подается на вход фильтра Ф2, имеющего частоту среза 2 Гц,

и далее на вход 2 аналогового коммутатора. По каналу 1 проводятся измерения температуры потока до включения нагревателя, по каналу 2 – измерения разности температур.

Нагреватель расходомера подключается к источнику мощности ИМ, управляемому от ЭВМ.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Управляющая подпрограмма реализует алгоритм измерения расхода: осуществляет сбор и обработку измеряемых параметров, управляет величиной мощности на нагрузке и вычисляет значение расхода. Величина мощности на нагрузке задается оператором. Процесс измерения включает в себя измерения давления и температур T_1 и T_2 соответственно до и после включения нагревателя.

С целью уменьшения влияния случайных погрешностей измерения температуры проводятся 50 раз с частотой 50 Гц. Истинное значение сигнала определяется как среднеарифметическое измеренных значений.

При измерении расхода выполняется следующая последовательность операций. По каналу 1 (рис.2) измеряется величина напряжения U_1 с выхода ИТ. В ЦАП записывается код такой величины, чтобы напряжение после усилителя $У$ составило $\sim 4,8$ В. Затем по каналам 2 и 3 измеряются соответственно сигналы U_2 и U_3 и после окончания измерений включается источник мощности с заданной величиной мощности тепловыделений Q на нагревателе. По истечении промежутка времени, необходимого для установления стационарного режима теплоотдачи между нагревателем и потоком гелия (примерно 5+6 с), измерения проводятся только по каналу 2 и определяется значение сигнала U'_2 . После окончания измерений нагреватель выключается. По измеренным сигналам вычисляются сопротивления датчика температуры R_1 до и R_2 после включения нагревателя:

$$R_1 = (U_1/K_1)/I_{\text{дат}}, \quad (2)$$

$$R_2 = R_1 + [(U'_2 - U_2)/K_2]/I_{\text{дат}}, \quad (3)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты усиления по каналам 1 и 2 соответственно. По калибровочной зависимости датчика вычисляются значения температуры нагретого T_2 и ненагретого T_1 потока и после пересчета сигнала U_3 в давление P по уравнениям состояния для гелия^{/9/} определяются значения энтальпии $H_1(P, T_1)$ и $H_2(P, T_2)$. Расход жидкого гелия определяется по формуле (1) при $k=1$. После окончания процедуры вычисления расхода и после охлаждения потока (примерно через 3с) процесс измерений повторяется.

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки влияния погрешностей измеряемых величин на конечный результат формулу (1) удобно представить в виде

$$G = k \frac{Q}{\bar{C}_p(P, T_{ин}) \Delta T}, \quad (4)$$

где $\Delta T = T_2 - T_1$; $\bar{C}_p(P, T_{ин})$ - среднеинтегральное значение теплоемкости гелия в интервале температур $T_1 \div T_2$ при давлении P ; $T_{ин}$ - соответствующая этой теплоемкости температура.

Относительная погрешность при измерении расхода будет определяться как ¹⁰⁷

$$\frac{\Delta G}{G} \approx \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta \bar{C}_p(P, T_{ин})}{\bar{C}_p(P, T_{ин})} + \frac{\Delta(\Delta T)}{\Delta T} + \frac{\Delta k}{k}. \quad (5)$$

Рассмотрим вклад каждой составляющей уравнения (5) на величину погрешности $\Delta G / G$.

1. Погрешность измерения мощности $\Delta Q / Q$

Погрешность измерения мощности полностью определяется классом точности используемого измерительного прибора и в данном случае не превышает 0,4%.

2. Погрешность измерения разности температур $\Delta(\Delta T) / \Delta T$

Погрешность измерения разности температур складывается из погрешности, связанной с неточностью градуировочной кривой датчика и погрешности, вносимой используемой аппаратурой. Для упрощения предположим, что зависимость сопротивления датчика от температуры является линейной функцией. Тогда, как было показано выше, погрешность измерения разности температур, обусловленная градуировочной кривой датчика, будет постоянна внутри калибровочного интервала и равна ~1,3%. Для определения погрешности, вносимой используемой аппаратурой, экспериментально была измерена величина шумов по каналу 2, которая составила ~2,5 мВ. Чувствительность датчика "Аллен-Бредли" при температуре жидкого гелия равна ~400 Ом/К, поэтому указанная величина шумов в пересчете на температуру составляет не более 0,62 мК. При нагреве потока на величину $\Delta T = 0,05$ К относительная погрешность измерения такой величины составит $\frac{0,00062}{0,05} \cdot 100\% \approx 1,2\%$.

Таким образом, суммарная погрешность измерения разности температур для $\Delta T = 0,05$ К составляет

$$\frac{\Delta(\Delta T)}{\Delta T} \approx 1,3 + 1,2 = 2,5\%.$$

3. Погрешность определения теплоемкости $\frac{\Delta \bar{C}_p(P, T_{ин})}{\bar{C}_p(P, T_{ин})}$

Влияние погрешностей измерения давления и температуры на величину $\Delta \bar{C}_p(P, T_{ин})/\bar{C}_p(P, T_{ин})$ можно оценить расчетным путем. Для этого в качестве исходных данных задается ряд относительных погрешностей измерения давления и температуры и при фиксированном давлении или температуре рассчитывается соответствующий ряд погрешностей определения теплоемкости. Значения теплоемкости вычисляются по уравнениям состояния^{9/}. При небольших нагревах потока целесообразно заменить погрешности определения среднеинтегральной температуры $T_{ин}$ погрешностями измерения температуры T_1 . Такой расчет был проведен для рабочих режимов: давления $P = 0,16$ МПа и температуры $T_1 = 4,3$ К. Результаты расчетов сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1. Ошибка определения $(\Delta C_p/C_p)$ при различной точности измерений давления P

Погрешность измерения давления P , $(\Delta P/P) \cdot 100\%$	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	-1.	-2.	-3.	-4.	-5.	-6.	-7.	-8.	-9.	-10.
$(\frac{\Delta C_p}{C_p}) \cdot 100\%$	-0,3	-0,6	-0,8	-1,1	-1,4	-1,6	-1,9	-2,2	-2,4	-2,7	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,1

Таблица 2. Ошибка определения $(\Delta C_p/C_p)$ при различной точности измерений температуры T_1

Погрешность измерения температуры T_1 , $(\Delta T_1/T_1) \cdot 100\%$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-1.0
$(\frac{\Delta C_p}{C_p}) \cdot 100\%$	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	-0,4	-0,7	-1,1	-1,5	-1,8	-2,2	-2,5	-2,9	-3,2	-3,6

Погрешность измерения давления для $P = 0,16$ МПа, определяемая классом датчика и используемой измерительной аппаратуры, составляет $\sim 2,5\%$. Погрешность определения температуры T_1 складывается из погрешности калибровки термопреобразователя и аппаратурной погрешности. Измеренная величина шумов по каналу 1 (рис.2) составила $\sim 2,5$ мВ, что соответствует $\sim 3,2$ мК. Так как погрешность калибровки термодатчика составляет $\pm 0,02$ К, то относительная погрешность измерения температуры $T_1 = 4,3$ К будет составлять $\frac{0,02+0,0032}{4,3} \cdot 100\% = 0,55\%$.

По таблицам 1 и 2 определяется вклад погрешностей измерения давления P и температуры T_1 на величину $\frac{\Delta \bar{C}_p(P, T_{ин})}{\bar{C}_p(P, T_{ин})}$:
 для давления $P \sim 0,7\%$, для температуры $T_1 \sim 2,1\%$. Тогда погрешность $\frac{\Delta \bar{C}_p(P, T_{ин})}{\bar{C}_p(P, T_{ин})}$ составит $\frac{\Delta \bar{C}_p(P, T_{ин})}{\bar{C}_p(P, T_{ин})} = 0,7 + 2,1 = 2,8\%$.

Следует отметить, что с повышением температуры по мере приближения к критической области значение производной $\left(\frac{\partial C_p}{\partial T}\right)_p$ возрастает на порядок по сравнению с производной при рабочих параметрах, поэтому в этой области погрешность определения теплоемкости $\frac{\Delta \bar{C}_p(P, T_{ин})}{\bar{C}_p(P, T_{ин})}$ может значительно превысить найденную выше величину.

4. Погрешность $\Delta k/k$

Величина погрешности $\Delta k/k$ для данной методики измерений определяется изменением статического теплопритока из окружающей среды вследствие нагрева потока при измерении расхода. Влияние неравномерности температурного профиля по сечению потока устраняется использованием в расходомере перемешивающего устройства.

Определим величину погрешности измерения расхода из-за изменения теплопритока из окружающей среды. В отсутствие тепловыделений на нагревателе уравнение теплового баланса для расходомера записывается в виде

$$G(H_2 - H_1) = Q_{ос}, \quad (6)$$

а при наличии тепловыделений Q

$$G(H'_2 - H_1) = Q'_{ос} + Q, \quad (7)$$

где $Q_{ос}$ и $Q'_{ос}$ - теплопритоки из окружающей среды соответственно в отсутствие и при наличии тепловыделений на нагревателе; H_2 и H'_2 - энтальпии потока после нагревателя; H_2 - в отсутствие и H'_2 - при наличии тепловыделений.

Вычитаем из уравнения (7) уравнение (6):

$$G(H'_2 - H_2) = Q + (Q'_{ос} - Q_{ос}). \quad (8)$$

В соответствии с формулой (1)

$$G_1(H'_2 - H_2) = Q, \quad (9)$$

где G_1 - расход гелия, вычисленный при $k = 1$.

Из уравнений (8) и (9) получаем выражение для

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{G - G_1}{G} = \frac{Q'_{oc} - Q_{oc}}{Q(N'_2 - N_2)}. \quad (10)$$

Величина теплопритока из окружающей среды определяется уравнениями/7/

$$Q_{oc} = \pi l k_{из} (T_2 - T_{oc}), \quad (11)$$

$$Q'_{oc} = \pi l k_{из} (T'_2 - T_{oc}), \quad (12)$$

где l — длина участка теплообмена в расходомере; T_{oc} — температура окружающей среды; $k_{из}$ — термический коэффициент сопротивления изоляции; T_2 и T'_2 — температуры потока за нагревателем соответственно в отсутствие и при наличии тепловыделений.

Подставляя в уравнение (10) выражение для теплопритоков и заменяя $(N'_2 - N_2)$ на $C_p(T'_2 - T_2)$, получаем

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{G - G_1}{G} = \frac{\pi l k_{из}}{Q C_p}. \quad (13)$$

Максимальное значение правой части уравнения (13) достигается при минимальном значении произведения $G \cdot C_p$ и максимальной величине $k_{из}$. Максимальное значение произведения $Q C_p$ равно 12 Вт/К при $G = 3$ г/с и $C_p = 4$ Дж/г·К. Максимальное значение коэффициента термического сопротивления $k_{из} = 0,126$ Вт/м·К достигается при бесконечно больших коэффициентах теплоотдачи внутри и снаружи расходомера и определяется геометрическими размерами изоляции расходомера и её теплофизическими свойствами. При этом для $l = 250$ мм величина погрешности измерения расхода вследствие изменения теплопритока из окружающей среды не превышает $\frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta G}{G} \approx 0,8\%$.

Таким образом, суммарная относительная погрешность измерения массового расхода жидкого гелия составляет

$$\frac{\Delta G}{G} = 0,4 + 2,5 + 2,8 + 0,8 = 6,5\%.$$

Работа датчика расхода и системы измерений была проверена на установке с сосудом, имеющим калиброванную площадь поперечного сечения. Жидкий гелий вытеснялся из сосуда через датчик расхода. В диапазоне расходов от 0,007 до 0,03 кг/с основная погрешность измерений составила $\sim 5\%$ при нагреве потока на величину не менее $\Delta T = 0,05$ К. Полный цикл одного измерения расхода калориметрическим способом (измерение начальной температуры — нагрев потока — повторное измерение температуры — охлаждение) составляет около 12 с.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что при применении схемы калориметрического расходомера с двумя термодатчиками^{/2/} значительно возрастает погрешность измерения расхода жидкого гелия вследствие соизмеримости абсолютной погрешности калибровки термопреобразователей с величиной температурного перепада на нагревателе.

2. Разработана система измерения расхода жидкого гелия калориметрическим методом с использованием одного температурного датчика. В диапазоне расходов от 3 до 50 Г/с погрешность измерения составляет ~6% при температурном нагреве не менее $\Delta T = 0,05$ К. Постоянная времени системы около 12 с.

Система разработана и внедрена на стенде исследования моделей СП-магнитов УНК.

Авторы выражают благодарность Е.Б.Суслову за помощь при исследовании датчика расхода и В.А.Потехину за помощь при подготовке эксперимента.

Литература

1. Агеев А.И. и др. - Препринт ИФВЭ 80-96, Серпухов, 1980.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. - Л.: Машиностроение, 1975, с.444-450.
3. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. - М.: Энергия, 1978.
4. Чистяков С.В., Радун Ф.В. Теплотехнические измерения и приборы. - М.: Высшая школа, 1972.
5. Козуб С.С., Эшер У. - Препринт ИФВЭ 81-61, Серпухов, 1981.
6. Козуб С.С., Колюковский В.Л., Эшер У. - Препринт ИФВЭ 80-44, Серпухов, 1980.
7. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981, с.36-37, 146-147.
8. Рыбаков В.Г. - Препринт ИФВЭ 75-141, Серпухов, 1975.
9. McCarty R.D. - J. Phys Chem Ref Data, 1973, v.2, p.923-1041.
10. Драксел Р. Основы электроизмерительной техники. - М.: Энергоиздат, 1982, с.25-32.

Рукопись поступила 18 декабря 1986 года.

А.И.Агеев и др.

Измерение расхода жидкого гелия калориметрическим методом.

Редактор М.Л.Фоломешкина. Технический редактор Л.П.Тимкина.
Корректор Т.Д.Галкина.

Подписано к печати 30.12.86. Т-25516. Формат 60x90/16.

Офсетная печать. Печ.л. 0,62. Уч.-изд.л. 0,83. Тираж 250.

Заказ 197. Индекс 3624. Цена 12 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов Московской обл.

12 коп.

Индекс 3624.

П Р Е П Р И Н Т 86-226, И Ф В Э, 1986.
