

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

P8-94-15

А.Х.Ангелов, Ю.И.Романов

ДИСКРЕТНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬ УРОВНЯ
КРИОГЕННОЙ ЖИДКОСТИ

1994

**Дискретный волоконно-оптический измеритель
уровня криогенной жидкости**

В работе описан дискретный волоконно-оптический измеритель уровня жидкого азота с чувствительным элементом в виде *U*-образного изгиба волокна. Абсолютная погрешность срабатывания прибора (+0,5 ... -0,4) мм, потери в погруженном датчике 20 дБ. В качестве чувствительного элемента использовано градиентное оптическое волокно КК-125/50. Прибор предназначен для работы с криостатами емкостью 12,5 л жидкого азота.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

**Angelov A.Kh., Romanov Yu.I.
Discrete Fibre-Optical Measuring Device
of Liquid Nitrogen Level**

P8-94-15

A discrete fibre-optical measuring device of liquid nitrogen level with the a sensitive element as a *U*-fibre bend is described in this paper. The absolute error in device operation is (+0.5...-0.4) mm, the losses in the sensor immersed in the nitrogen ~20 dB. The КК-125/50 gradient optical fibre is used as a sensitive element. The device is aimed to operate with cryostats of a 12.5 l liquid nitrogen capacity.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. ВВЕДЕНИЕ

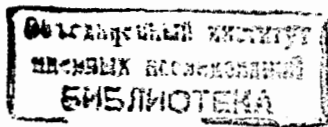
При работе на электрофизических установках (ЭФУ) с устройствами, использующими жидкие азот и гелий, например, криогенные мишени, сверхпроводящие магниты и т.д. необходимо достаточно точно и надежно измерять уровень криогенной жидкости при минимальных тепловыделениях в жидкости. Во многих случаях при работе с азотными и гелиевыми криостатами требуется не только периодически измерять уровень криогенной жидкости, но и регистрировать момент достижения определенного уровня во время подлива жидкости в условиях сильного парения.

В литературе описано большое количество различных датчиков уровня и уровнемеров [1—5], обладающих рядом недостатков: недостаточной надежностью, чрезмерными тепловыделениями, влиянием магнитных полей, большими габаритами и т.д. Однако возрастающие требования к техническим характеристикам измерителей, расширение номенклатуры измеряемых криогенных жидкостей, экстремальные условия эксплуатации заставляют искать новые технические решения в этой области измерительной техники. Одним из перспективных направлений развития является использование оптических, в частности, волоконно-оптических уровнемеров для криогенных сред.

Ниже описан дискретный уровнемер жидкого азота с использованием волоконного световода с чувствительным элементом в виде *U*-образного изгиба волокна [6].

2. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК УРОВНЯ

Волоконные световоды, ранее использовавшиеся в основном в линиях связи, в настоящее время находят широкое применение в измерительной технике в качестве первичных преобразователей информации при измерении физических и механических величин [7]. Они обладают рядом уникальных свойств, обеспечивающих измерения в тех случаях, когда применение другого рода преобразователей неэффективно или невозможно. Бесспорным преимуществом преобразователей на основе элементов волоконной оптики являются их малые размеры и масса, помехозащищен-



ность, полная взрыво- и пожаробезопасность, способность контролировать процессы в агрессивных и криогенных средах, в труднодоступных местах.

Проблема контроля уровня криогенных жидкостей является одной из наиболее важных на современных ускорительных установках.

Волоконно-оптические измерители уровня, отвечающие современным требованиям, должны:

- а) иметь высокую чувствительность;
- б) быть простыми по конструкции, в монтаже, наладке и обслуживании;
- в) иметь малые размеры и массу;
- г) обладать высокой надежностью и малой восприимчивостью к воздействию внешних факторов;
- д) иметь возможность работы в системах автоматического контроля и управления ЭФУ.

Проблема контроля уровня криогенных сред с учетом перечисленных требований к измерителям может быть решена с помощью первичных преобразователей на основе элементов волоконной оптики, имеющих, как указывалось выше, неоспоримые преимущества перед традиционными механическими и электрическими преобразователями [1—5].

В работе приведены результаты экспериментальных исследований измерителя уровня, свидетельствующих о работоспособности датчика в среде с показателем преломления $n_{ж} \geq 1,21$. Методика экспериментов с датчиком сводится к измерению интенсивности светового потока на выходе световода в двух положениях: когда датчик (чувствительный элемент) погружен в измеряемую среду и когда он находится выше границы раздела газ — жидкость.

Предельно простой (по конструкции) датчик уровня изготавливается следующим образом: на участке чувствительного элемента с волоконного световода удаляются защитная и отражающая оболочки, в результате чего сердцевина световода контактирует с окружающей средой. Изгиб световода приводит к конверсии части мод низшего порядка (находящихся вдали от “отсечки”) в моды высшего порядка (находящиеся вблизи “отсечки”), которые распространяются под углами, близкими к критическим. При контакте чувствительного элемента с криогенной жидкостью для световых лучей, распространяющихся под углами, близкими к критическим, нарушается условие полного внутреннего отражения. Они покидают световод и выходят в жидкость, что приводит к резкому уменьшению интенсивности светового сигнала, падающего на фотоприемное устройство.

В описываемом датчике уровня применен двухслойный волоконный световод, имеющий сердцевину и оболочку, у которого на участке длиной

15 мм удалено защитное полиэтиленовое покрытие, а сам он изогнут и имеет радиус R , определяемый как [6]

$$\frac{n_1 + 1}{n_1 - 1} r < R < \frac{n_0 + n_1}{n_0 - n_1} \rho,$$

где: n_0, n_1 — показатели преломления материала сердцевины и оболочки соответственно; r — радиус оболочки; ρ — радиус сердцевины волокна.

При изгибах с такими радиусами в оболочку из сердцевины «выдавливается» 10...100% светового излучения. Световые лучи в месте крутого изгиба распространяются в оболочке благодаря выполнению условия полного внутреннего отражения на границе раздела оболочка — воздух. Изменение уровня имитируется перемещением чувствительного элемента перпендикулярно поверхности криогенной жидкости. При контакте датчика с жидкостью для большинства лучей, распространяющихся по оболочке в месте изгиба, условие полного внутреннего отражения нарушается и они выходят в криогенную жидкость, что фиксируется фотоприемным устройством. Перепад уровня мощности при контакте датчика с криогенной средой в случае его выполнения из двухслойного волоконного световода типа КК-125/50 с числовой апертурой $NA = 0,2$ и радиусом изгиба 1 мм составил 30 дБ при погрешности измерения $\pm 0,4$ мм. Принцип работы датчиков криогенных сред на основе изогнутого световода может быть описан приближенно следующим выражением:

$$K = \begin{cases} 1 & \text{при } n = n_г \\ 0 & \text{при } n = n_{ж}, \end{cases}$$

где: K — коэффициент передачи чувствительного элемента, под которым понимается отношение мощностей на выходе и входе устройства; n — показатель преломления среды в пространстве между торцами световода; $n_г$ и $n_{ж}$ — показатели преломления воздуха и криогенной жидкости.

В качестве измеряемых сред использовались сжиженные газы: азот ($n_{ж} = 1,21$), кислород ($n_{ж} = 1,18$), гелий ($n_{ж} = 1,025$). Радиус изгиба чувствительного элемента определяет глубину модуляции и потери световой энергии. Однако даже при очень крутых изгибах $R \leq 0,5—0,2$ мм U -образный датчик не реагировал на жидкий гелий. В то же время он с высокой точностью регистрировал уровни жидких азота и кислорода.

Настоящая работа, в основном, посвящена анализу экспериментальных исследований возможностей использования волоконно-оптического уровнемера жидкого азота с чувствительным элементом в виде U -образного

(крутого) изгиба волокна, поэтому в таблице исключена информация о работе уровнемера с жидким кислородом.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ ЖИДКОГО АЗОТА

Измеряемая среда (сжиженный газ)	азот
Показатель преломления жидкой фазы	1,21
Скорость изменения уровня жидкой фазы, мм/с	~1
Чувствительный элемент	U-образный
Оптическое волокно	градиентное, КК-125/50
Абсолютная погрешность срабатывания, мм	+0,5; -0,4*
Глубина модуляции, %	~20
Потери в погруженном датчике, дБ	~10

*При уменьшении уровня криогенной жидкости (+) больше, чем при ее увеличении (-), что объясняется сильным парением на границе раздела и налипанием.

При изменении уровня криогенных жидкостей наблюдается корреляция между скоростью изменения уровня и вариацией сигнала на выходе измерительного устройства. При изменении уровня жидкого азота при прямом ходе (т.е. повышении уровня) со скоростью 10 мм/с погрешность срабатывания составляет $\pm 0,4$ мм, а при обратном ходе она равна $\pm 0,5...0,6$ мм. Со снижением скорости перемещения уровня погрешность при обратном ходе уменьшается и стремится к погрешностям при прямом ходе, что объясняется техникой проведения эксперимента. При измерении уровня использовался криостат с открытой горловиной, что и определило значительный температурный градиент в вертикальном направлении: в области с более высокой температурой происходит конденсация влаги и ее испарение, что вызывает ложное срабатывание при повышении температуры.

3. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ ЧАСТЬ УРОВНЕМЕРА

Электрическая схема дискретного волоконно-оптического уровнемера, рассчитанного для работы с дьюарами объемом 17,5 л жидкого азота, показана на рис.1. Она состоит из передатчика ИК-излучения, фотоприемного устройства и датчика. Передатчик ИК-излучения с частотой модуляции ~1 кГц собран на микросхеме М3, транзисторах Т4, Т5. ИК-светодиод (VD3) типа АЛ107 и детектор оптического излучения (VD1) типа ФД256 размещены в оптических розетках. Датчик (U-образный чувствительный элемент) и световоды заключены в трубку из нержавеющей стали (диамет-

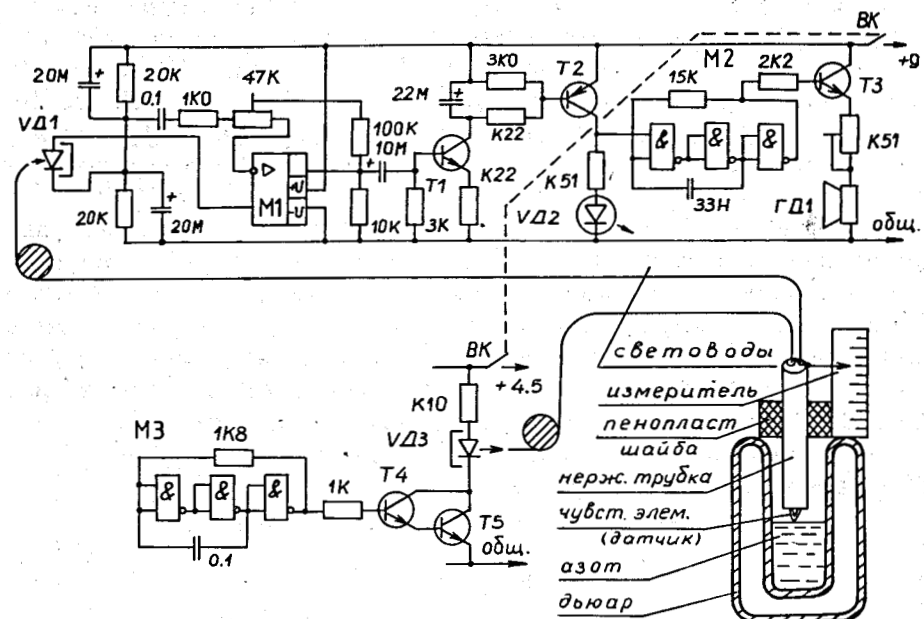


Рис.1. Электрическая схема уровнемера жидкого азота (VD1 — ФД256; М3 — К140УД6; Т1, Т3, Т4, Т5 — КТ315; Т2 — КТ361; VD2 — АЛ307; М2 — К176ЛА7; ГД1 — ДЭМШ-1; М3 — К155ЛАЗ; VD3 — АЛ107Б).

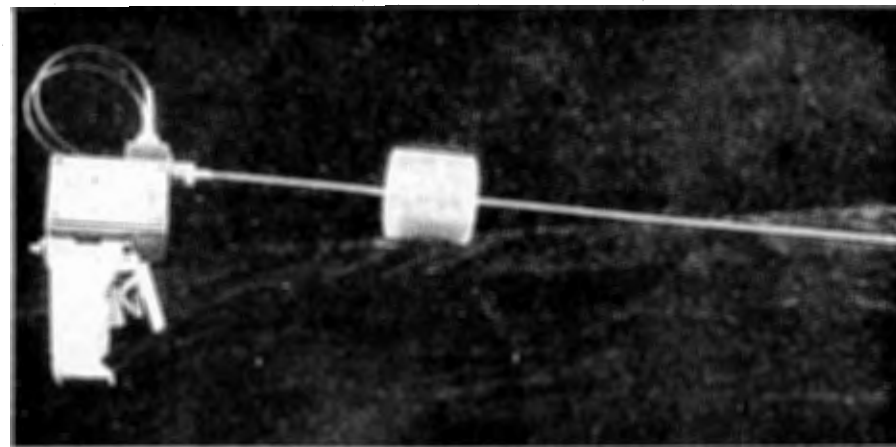


Рис.2. Внешний вид уровнемера

ром 5 мм, длиной — 60 см). Для подключения к электрическим блокам концы световодов снабжены оптическими вилками. Фотоприемник собран на микросхеме М1 и транзисторах Т1, Т2. Модулированное ИК-излучение передатчика через юстируемый соединитель [8] и световод КК-125/50 с чувствительным элементом подводится к фотоприемнику VD1 уровнемера. Электрический сигнал усиливается микросхемой М1 и поступает на вход интегратора (Т1, Т2).

Световой (VD2) и акустический (ГД1) индикаторы служат для регистрации уровня криогенной жидкости (по прерыванию светового и акустического сигналов). Электрическая схема уровнемера размещена в металлическом корпусе размером 80×60×40 см. Звуковой сигнализатор смонтирован в ручке — манипуляторе. Прибор имеет встроенный источник питания от батарей, включаемый курковым механизмом. Внешний вид дискретного волоконно-оптического уровнемера показан на рис.2.

В заключение авторы выражают признательность П.Н.Буйлову и Л.А.Ефимовой за помощь в работе.

Литература

1. Михайлов Г.А. — ПТЭ, 1981, 2, с.264.
2. Волохов В.Н. и др. — ПТЭ, 1981, 6, с.197.
3. Ширков А.К. и др. — ПТЭ, 1982, 2, с.232.
4. Пелих Н.И. и др. — ПТЭ, 1981, 5, с.246.
5. Лаврентьев В.И., Чураков В.В. — ИФВЭ, 83-131, Серпухов, 1983.
6. Волохов В.Н. и др. — ПТЭ, 1981, 6, с.197—198.
7. Охоси Т. и др. — Волоконно-оптические датчики. Пер. с япон. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990.
8. Гусаков Ю.В., Романов Ю.И. — Препринт ОИЯИ Р13-91-148, Дубна, 1991.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 января 1994 года.