

ВЕСТНИК

Белорусско-Российского университета

*Научно-методический журнал
Издается с октября 2001 г.*

Периодичность 4 раза в год

4 (37) 2012

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

БЕЛОКОНЬ В. М., КОРОТЕЕВ А. О. О сварке в двух струях защитного газа	6
БЕРЕЗИЕНКО В. П., БЕНДИК Т. И. Определение параметров режима контактной рельефной сварки на основе математических моделей процессов	15
КАЗАКОВ А. В., ЖОЛОБОВ А. А. Оптимизация режимов резания технологических переходов наружной токарной обработки ступенчатых валов на станке с ЧПУ	23
КАПИТОНОВ А. В., ЧЕРНЯКОВ С. Г. Обеспечение точности сборки планетарного эксцентрикового редуктора с модифицированными зубьями сателлита методами расчета линейных размерных цепей.....	32
МЕЛЬНИКОВ А. С., САЗОНОВ И. С., КИМ В. А., БИЛЫК О. В., ВАСИЛЕВСКИЙ В. И. Алгоритм системы активной безопасности двухколесной мобильной машины	40
МИНАКОВ А. П., КАМЧИЦКАЯ И. Д., ИЛЮШИНА Е. В., ЮШКЕВИЧ Н. М. Современные конструкции инструментов для упрочняющей импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей.....	50

УДК 681.7.068

И. В. Шилова

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

UDC 681.7.068

I. V. Shilova

MULTI-ELEMENT FIBER-OPTIC EXCESS PRESSURE SENSOR

Аннотация

Приведены две конструкции многоэлементных волоконно-оптических датчиков давления, использующих изменение потерь в изогнутых волоконных световодах. Проведен выбор пары источник-фотоприемник для получения линейной градуировочной характеристики датчика. Разработаны электрические принципиальные схемы датчиков и получены их градуировочные характеристики.

Ключевые слова:

волоконно-оптический датчик, датчик давления, волоконный световод.

Abstract

Two designs of multi-element fiber-optic pressure sensors using the change of losses in bent optical fibers are presented. The choice of the pair, a radiation source - a photodetector, has been performed in order to obtain linear calibration characteristics of the sensor. The electrical circuit diagrams for the sensors have been developed and their calibration characteristics have been obtained.

Key words:

fiber-optic sensor, pressure sensor, optical fiber.

В некоторых областях промышленности, например в энергетике, высокий уровень электромагнитных полей создает помехи и наводки в обычных датчиках давления, что препятствует точному измерению давления в тех или иных технических системах. Наглядным примером тому могут служить маломасляные выключатели на электростанциях. В промышленности нередко возникает задача измерения давления горючих и взрывоопасных жидкостей или газов, а также в технических системах атомных электростанций.

Все эти задачи наиболее оптимально могут быть решены с помощью волоконно-оптических датчиков давления. В настоящее время разработано немалое количество волоконно-опти-

ческих первичных преобразователей различных физических величин [1–4]. Из разнообразия конструкций волоконно-оптических датчиков наиболее простыми и надежными являются амплитудные датчики, использующие изменение потерь в изогнутых волоконных световодах. Главный их недостаток – низкая чувствительность по сравнению с интерференционными и поляризационными волоконно-оптическими датчиками. Поэтому не прекращаются поиски возможностей повышения чувствительности изгибных датчиков. Исследования идут в направлении использования многоэлементных конструкций, содержащих в одном датчике различные типы оптических волокон [5], с применением микроструктурных волоконных свето-

водов [6] и регистрацией изменения спектральных характеристик излучения при механическом воздействии на изогнутый световод [7].

Помимо всего прочего, при использовании волоконных световодов в датчиках возникает задача ввода излучения в световод. Этим недостатком лишен разработанный нами датчик давления, содержащий волоконно-оптическую светопередающую часть в виде волоконно-оптического жгута, состоящую из нескольких волоконных световодов, круглую на концах и плоскую в середине. Применение светопередающей части в виде волоконно-оптического жгута значительно упрощает конструкцию датчика, т. к. в этом случае исчезает задача ввода излучения в световоды. Это позволяет использовать в качестве источника излучения светодиода простой пристыковкой без применения юстирующего устройства [8, 9].

Для решения вышеизложенных задач сначала был разработан макет многоэлементного волоконно-оптического датчика давления, схема которого приведена на рис. 1.

Основой предлагаемой конструкции макета волоконно-оптического датчика давления является основание 4 с крышкой 5, которая может перемещаться вдоль направляющих 6 с помощью

микрометрического винтового механизма и сдавливать резиновую втулку 3 с волоконными световодами 2, закрепленными на ней с помощью клея. Каждый волоконный световод намотан в 10 витков на резиновую втулку 3. Первичным преобразователем и устройством для передачи излучения от источника к фотоприемнику этого датчика является волоконно-оптический жгут 2, содержащий несколько отрезков многомодового кварц-кварцевого волоконного световода в полимерной защитной оболочке диаметром 300 мкм с диаметром сердцевины 50 мкм и диаметром стеклянной оболочки 125 мкм. При разработке конструкции датчика были выбраны многомодовые волоконные световоды, поскольку они имеют невысокую стоимость и большой радиус сердцевины, что облегчает ввод излучения в жгут. На концах жгута волокна собраны и склеены вместе в виде цилиндра. Диаметр втулки 3 был выбран 10 мм, т. к. проведенные эксперименты показали, что для данного типа волоконного световода при таком радиусе изгиба датчик такой конструкции имеет наибольшую чувствительность. Также проведенные эксперименты показали, что радиус изгиба используемого в работе многомодового волоконного световода более 3 мм не приводит к его разрушению.

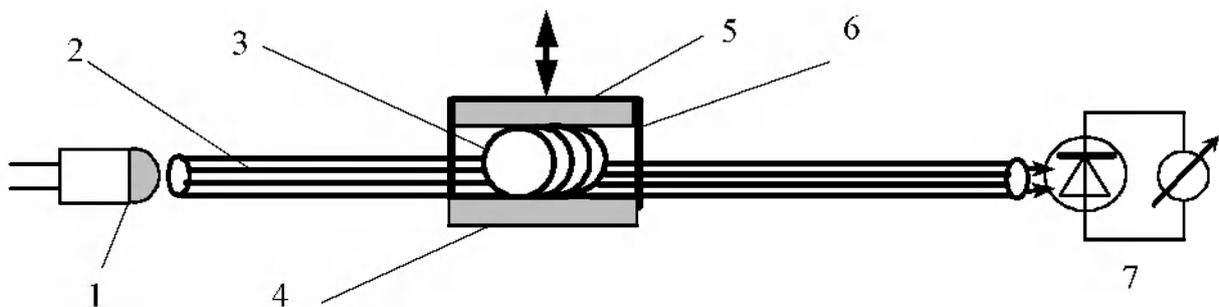


Рис. 1. Схема макета многоэлементного волоконно-оптического датчика давления: 1 – светодиод; 2 – волоконно-оптический жгут; 3 – резиновая втулка с волоконными витками; 4 – основание; 5 – крышка; 6 – направляющие; 7 – устройство регистрации излучения

Макет волоконно-оптического датчика работает следующим образом. Микрометрический механизм сплющивает резиновую втулку с наклеенными на нее волоконными световодами. В этом случае в волоконном световоде кривизна витков изменяется, что приводит к преобразованию мод и выходу энергии мод высших порядков в защитную полимерную оболочку с поглощением излучения в ней. Вследствие этого поток излучения, попадающий на устройство регистрации, уменьшается. Чувствительность датчика увеличивается с увеличением числа витков [10].

В качестве источника излучения (ИИ) в экспериментах использовались светодиоды, которые непосредственно, без использования согласующих устройств, приставлялись к входному концу волоконно-оптического жгута. В качестве приемника излучения (ПИ) применялся фотодиод.

Проведен анализ зависимости выходного сигнала фотоприемника от величины перемещения крышки 5 относительно основания 4, результаты которого приведены на рис. 2 для различных комбинаций применяемых источников и фотоприемников.

Из приведенных зависимостей видно, что наибольшая линейность наблюдается для случая со светодиодом $\lambda = 630 \dots 640$ нм в качестве источника излучения и ФД-256 в качестве приемника излучения.

При проведении экспериментов с макетом влияние внешней засветки было исключено.

На основании полученных экспериментов была разработана структурная схема двухканального волоконно-оптического датчика давления, представленная на рис. 3, которая позволяет избавиться от погрешности, связанной с изменением потока излучения источника.

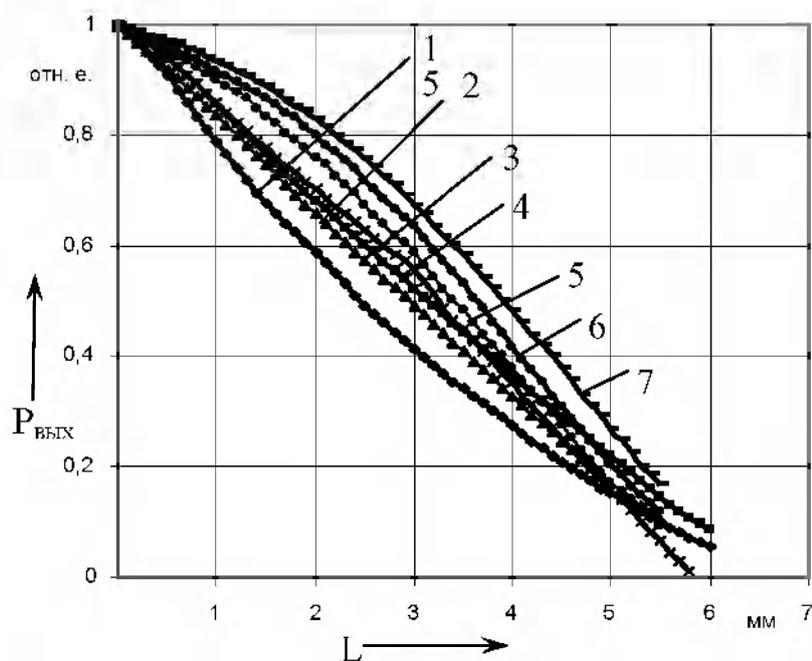


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала фотоприемника от величины перемещения крышки относительно основания: 1 – ИИ – светодиод $\lambda = 938 \dots 968$ нм; ПИ – ОМЗ-65; 2 – ИИ – светодиод $\lambda = 470 \dots 480$ нм; ПИ – ФД-256; 3 – ИИ – светодиод $\lambda = 630 \dots 640$ нм; ПИ – ФД-256; 4 – ИИ – светодиод $\lambda = 630 \dots 640$ нм; ОМЗ-65; 5 – ИИ – светодиод, излучающий белый свет; ПИ – ФД-256; 6 – ИИ – ИК светодиод; ПИ – ФД-265А; 7 – ИИ – светодиод белого света; ПИ – ФД-265А

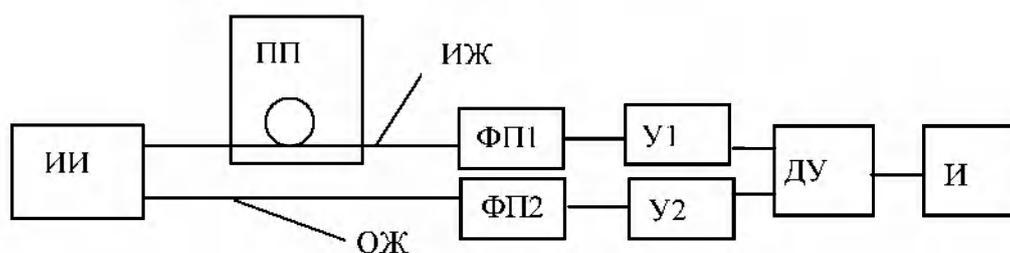


Рис. 3. Структурная схема волоконно-оптического датчика давления: ИИ – источник излучения; ФП – фотоприемник; ОЖ – опорный жгут; ИЖ – измерительный жгут; ПП – первичный преобразователь; У – усилитель; ДУ – дифференциальный усилитель; И – индикатор

Под действием измеряемого давления в первичном преобразователе деформируются кольца волоконных световодов в светопередающей части измерительного жгута датчика, что приводит к изменению кривизны колец световодов. Поток излучения, попадающий на фотоприемник ФП1 излучения, уменьшается. Поток излучения, проходящий

через опорный жгут, не изменяется. В дифференциальном усилителе вычитается из сигнала опорного канала сигнал измерительного. Результат отображается на индикаторе.

Схема преобразования прогиба мембраны датчика давления в величину изменения кривизны колец волоконных световодов приведена на рис. 4.

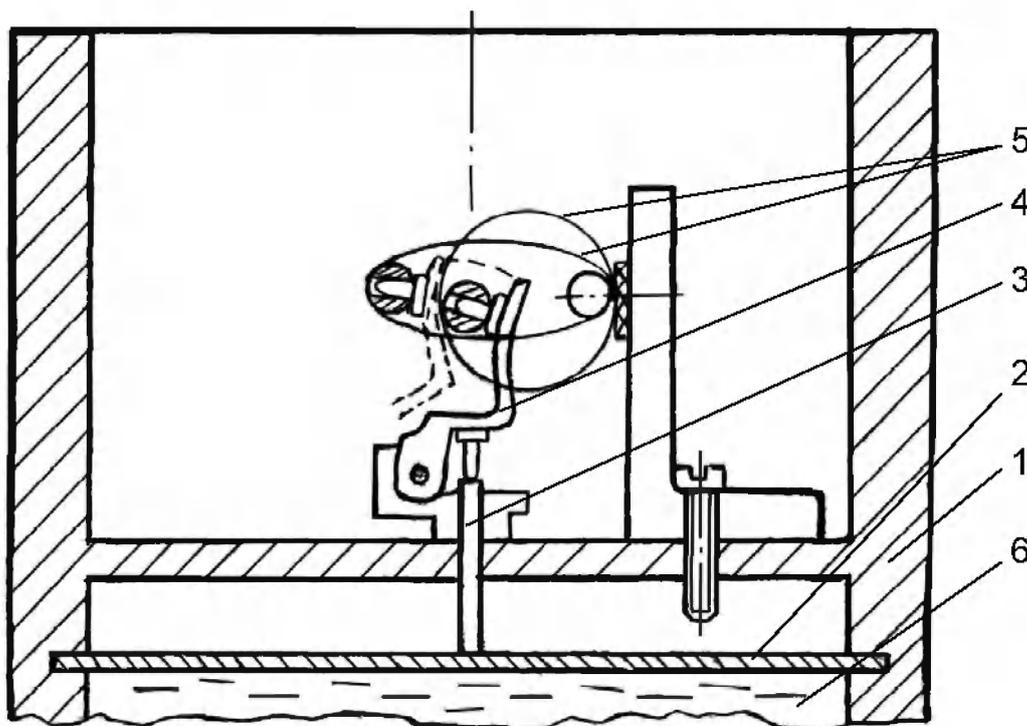


Рис. 4. Схема преобразования прогиба мембраны датчика давления в величину изменения кривизны колец волоконных световодов: 1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – шток; 4 – поворотный механизм; 5 – светопередающая часть; 6 – измеряемая среда (жидкость или газ)

Конструкция первичного преобразователя волоконно-оптического датчика давления содержит корпус 1, прикрепляемый с помощью штуцера к объекту, давление жидкости или газа в котором измеряется. В корпусе 1 закреплена мембрана 2, которая при увеличении давления изгибается и смещает шток 3, который, в свою очередь, с помощью поворотного механизма 4 растягивает кольца волоконных световодов светопередающей части 5. При этом в волоконном световоде кривизна витков изменяется, что приводит к уменьшению выходного сигнала вследствие выхода энергии мод высших порядков в защит-

ную полимерную оболочку. В качестве источника излучения используется светодиод с длиной волны 630...640 нм, в качестве приемника излучения – фотодиод ФД-256.

Были изготовлены две конструкции многоэлементных волоконно-оптических датчиков давления (МВОДД-01 и МВОДД-02), рассчитанные на два диапазона: 0...1,5 и 0...1 МПа соответственно, которые отличались лишь применением мембран с разной жесткостью.

Была разработана электрическая принципиальная схема датчика МВОДД-01, представленная на рис. 5.

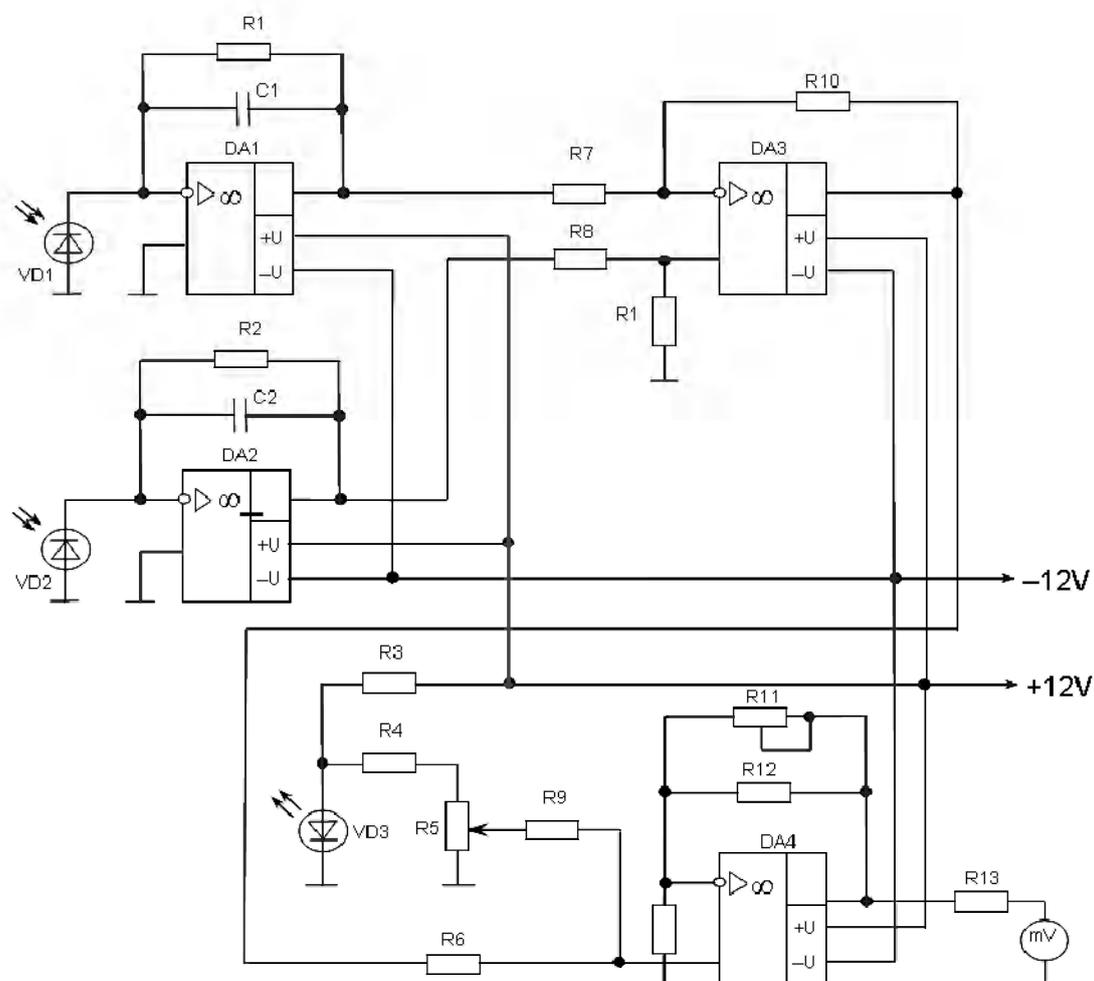


Рис. 5. Электрическая принципиальная схема МВОДД-01

Сигнал с измерительного канала поступает на усилитель DA1, с опорного – на усилитель DA2. Затем оба сигнала поступают на дифференциальный усилитель DA3. Таким образом, показания датчика не зависят от изменения характеристик светодиода с течением времени. После этого сигнал переворачивается, т. к. изначально самое большое значение сигнала соответствует нулевому избыточному давлению. Рези-

стор R9 служит для установки нуля датчика, резистор R11 на усилителе DA4 – для калибровки датчика. Выходной сигнал МВОДД-01 является вольтовым от 0 до 1,5 В, что соответствует измеряемому давлению от 0 до 1,5 МПа.

Внешний вид МВОДД-01 представлен на рис. 6.

Градуировочная характеристика МВОДД-01 представлена на рис. 7.



Рис. 6. Внешний вид МВОДД-01: 1 – первичный преобразователь; 2 – блок обработки сигнала

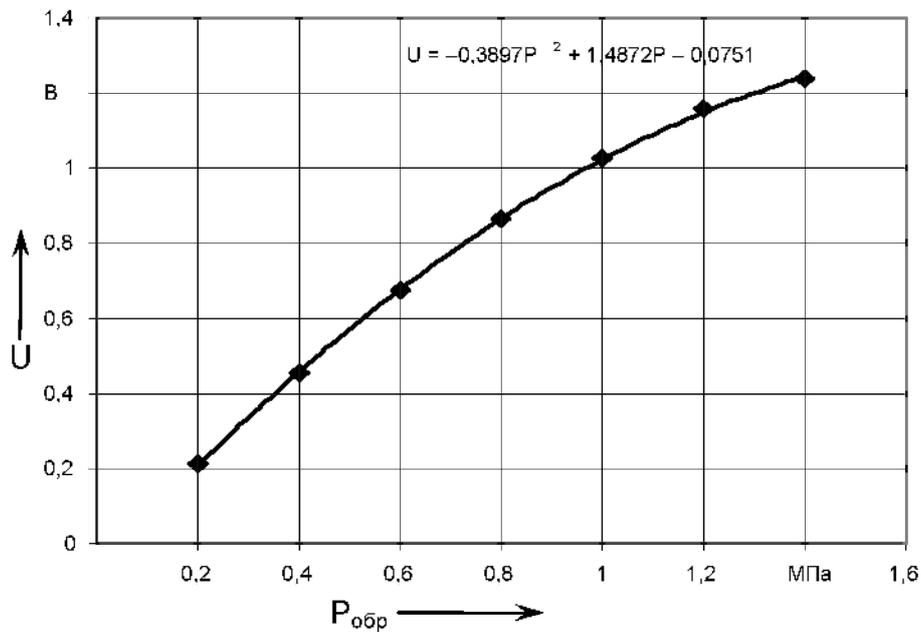


Рис. 7. Градуировочная характеристика МВОДД-01

Полученную градуировочную характеристику можно аппроксимировать квадратичной зависимостью по методу наименьших квадратов с помощью программы Excel:

$$U = -0,3897P^2 + 1,4872P - 0,0751. \quad (1)$$

Разработанный датчик МВОДД-01 прошел испытания на станке специальным токарном 1А751Ф3.Н248 на РУП завод «Могилевлифтмаш». На этом же предприятии датчик прошел поверку на специальном стенде для поверки манометров. Результаты измерений сравнивались с данными, полученными с образцового манометра МО-11202 с классом точности 0,4.

Результаты обработки проведенных испытаний показали, что относительная погрешность разработанного многоэлементного волоконно-оптического датчика давления составила не более 4 %, приведенная погрешность – не более 2,5 %.

Датчик МВОДД-02 отличается от МВОДД-01 тем, что имеет вынесенный

преобразователь за счет светопередающей части, которая собрана на концах в волоконно-оптические жгуты длиной 6 м. Данными жгутами первичный преобразователь соединен с блоком обработки сигнала. Это позволяет использовать такой датчик для измерения давления в зоне, где возможны нежелательные воздействия на этот блок, т. к. позволяет удалить его на 6 м за пределы действия высокого уровня электромагнитных полей, взрывоопасных сред, повышенного уровня вибрации и т. д.

Электрическая схема датчика МВОДД-02 отличается от электрической схемы МВОДД-01 тем, что дополнительно содержит источник тока, управляемый напряжением, что позволяет получить токовый сигнал 4...20 мА, пропорциональный воздействию давлению от 0 до 1 МПа.

Внешний вид МВОДД-02 представлен на рис. 8.

Градуировочная характеристика датчика МВОДД-02 представлена на рис. 9.

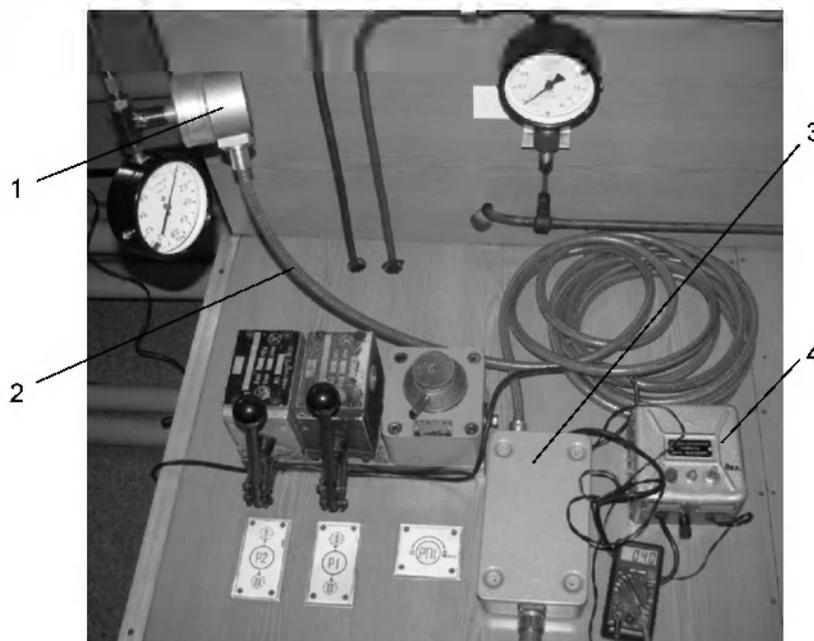


Рис. 8. Внешний вид МВОДД-02: 1 – первичный преобразователь; 2 – волоконно-оптический жгут; 3 – блок обработки сигнала; 4 – блок питания датчика

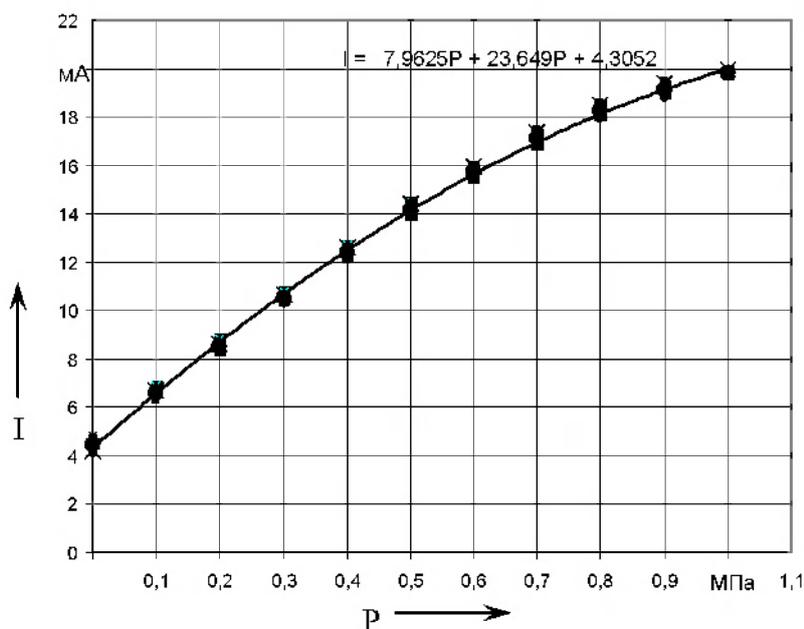


Рис. 9. Градуировочная характеристика МВОДД-02

Градуировочная характеристика МВОДД-02 также была аппроксимирована:

$$I = -7,962P^2 + 23,649P + 4,3052. \quad (2)$$

МВОДД-02 по предварительным оценкам имеет приведенную погрешность около 4 %.

Таким образом, был разработан волоконно-оптический датчик для измерения избыточного давления жидкостей или газов, являющийся взрывобезопасным, помехозащищенным в условиях высокого уровня электромагнитных полей и имеющий невысокую стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fiber Optic Sensors. London / Yin Shizhuo [etc.]. – New York : CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2008.
2. Окоси, Т. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу ; под ред. Т. Окоси. – Л. : Энергоатомиздат, 1990.
3. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / Под ред. Э. Удда. – М. : Техносфера, 2008.
4. Бусурин, В. И. Волоконно-оптические датчики. Физические основы, вопросы расчета и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов – М. : Энергоатомиздат, 1990.
5. Donlagic, D. Fiber-optic microbend sensor structure / D. Donlagic, M. Zavrsnik // Opt. Lett. – 1997. – Vol. 22, № 11. – P. 837–839.
6. Tunable fiber grating fabricated in photonic crystal fiber by use of mechanical pressure / J. H. Lim [etc.] // Opt. Lett. – 2004. – Vol. 29, № 4. – P. 331–333.
7. Ivanov, O. V. Wavelength shift and split of cladding mode resonances in microbend long-period fiber gratings under torsion / O. V. Ivanov // Opt. Commun. – 2004. – Vol. 232, № 1–6. – P. 159–166.
8. Борисов, В. И. Многоканальный микроизгибный волоконно-оптический датчик механического усилия / В. И. Борисов, И. В. Шилова // Вестн. МГТУ. – 2004. – № 1. – С. 19–21.

9. **Борисов, В. И.** Многоканальный микроизгибный волоконно-оптический датчик температуры / В. И. Борисов, И. В. Шилова // Вестн. МГТУ. – 2004. – № 2. – С. 21–24.

10. **Борисов, В. И.** Волоконно-оптический тензодатчик / В. И. Борисов, Е. М. Силутина, И. В. Шилова // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 3. – С. 39–43.

Статья сдана в редакцию 30 июня 2012 года

Ирина Владимировна Шилова, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-293-49-91-23. E-mail: irina.schilova@tut.by.

Irina Vladimirovna Shilova, senior lecturer, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-293-49-91-23. E-mail: irina.schilova@tut.by.