

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕРКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

*Голев Д.М., Савочкина М.М.*

*ФГБОУ ВПО Пензенский государственный университет,  
440026, г. Пенза, ул. Красная, д.40.*

*e-mail: golevdm@gmail.com, marisavochkina@mail.ru*

*поступила в редакцию 10 сентября 2013 года*

### Аннотация

Основанием к написанию данной статьи послужило стремление снизить себестоимость волоконно-оптических датчиков, упростить и удешевить этап разработки и отладки. Данная статья является результатом научного исследования, в результате которого была разработана измерительная установка для экспериментальной проверки механической преобразующей системы волоконно-оптического датчика давления, а также даны рекомендации по конструктивному исполнению дифференциального волоконно-оптического датчика разности давления.

**Ключевые слова:** *измерительная установка, волоконно-оптический датчик, давление, механическая преобразующая система, мембрана, аттенуатор, экспериментальная проверка.*

**Введение.** Потребность в датчиках стремительно растет в связи с бурным развитием автоматизированных систем контроля и управления, внедрением новых технологических процессов, переходом к гибким автоматизированным производствам. Помимо высоких метрологических характеристик датчики должны обладать высокой надежностью, долговечностью, стабильностью, малыми габаритами, массой и энергопотреблением, совместимостью с микроэлектронными устройствами обработки информации при низкой трудоемкости изготовления и небольшой стоимости. Этим требованиям в максимальной степени удовлетворяют волоконно-оптические датчики давления (ВОДД).

Существующие в настоящее время датчики и системы измерения давления, основанные на таких физических принципах как емкостный, тензорезистивный, индуктивный и т.п. требуют в конструкции изделия дополнительных систем и контуров защиты от случайного проскакивания искры, так как в качестве передающей физической среды используется электричество.

Авторы работы в рамках научного студенческого кружка «Волоконно-оптическое приборостроение» на основе известного технического решения по патенту РФ № 2290605, в котором описан волоконно-оптический датчик избыточного давления аттенуаторного типа, разрабатывают волоконно-оптический датчик разности давлений (ВОДРД).

Рассматриваемая в работе установка позволяет исключить оптоволоконно из конструкции датчика на начальных этапах проектирования, тем самым существенно снижая его себестоимость за счет исключения процедур юстировки и настройки оптической системы датчика на этапе отработки мембранного блока. Также данная установка может быть использована для проверки и уточнения математических расчетов параметров мембран волоконно-оптических датчиков других видов давления (избыточного, абсолютного, гидростатического).

### Основная часть.

**1. Априорные сведения о дифференциальном волоконно-оптическом датчике давления аттенуаторного типа по патенту РФ № 2290605 [1].** На рисунке 1 приведена упрощенная конструктивная схема волоконно-оптического датчика избыточного давления аттенуаторного типа, который является прототипом разрабатываемого дифференциального ВОДД с предельным аттенуатором.

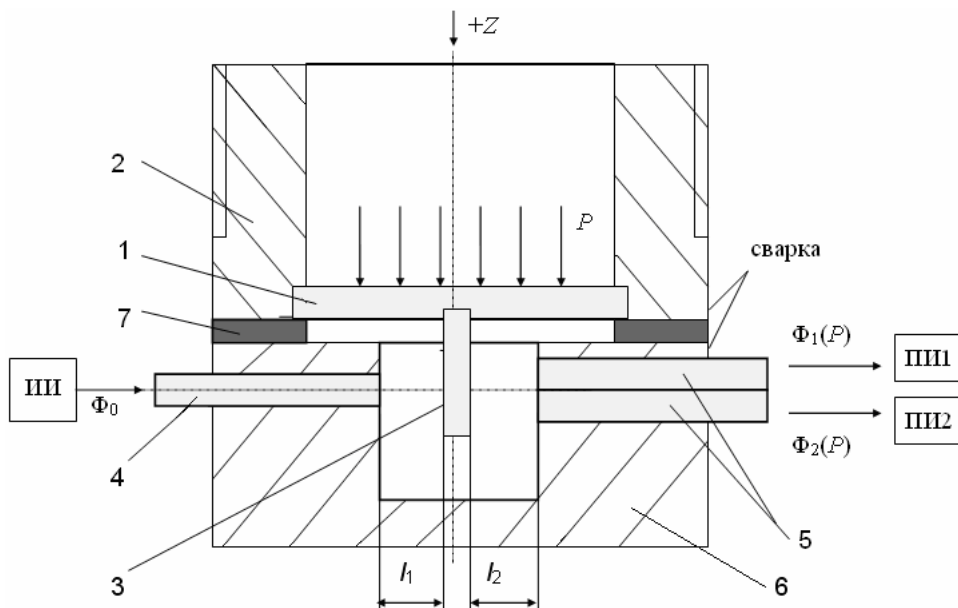


Рисунок 1. – Упрощенная конструктивная схема одного из вариантов дифференциального ВОДД с предельным аттенуатором.

Мембрана 1 жестко соединена со штуцером 2 (например, с помощью сварки) или является его частью. В центре мембраны жестко закреплен (например, с помощью сварки) дифференциальный предельный аттенуатор 3 (шторка) с круглым отверстием на расстояниях  $l_1$  и  $l_2$  относительно излучающего торца подводящего оптического волокна ПОВ 4 и приемных торцов отводящих оптических волокон ООВ 5 первого и второго измерительных каналов соответственно. ПОВ 4 и ООВ 5 жестко закреплены в корпусе 6. Юстировка волокон относительно отверстия в аттенуаторе 3 осуществляется с помощью металлической прокладки 7, толщина которой подбирается в процессе настройки датчика.

Измеряемое давление воспринимается мембраной 1, при этом аттенуатор 3 смещается относительно подводящих и отводящих волокон, что ведет к изменению интенсивности световых потоков, поступивших в отводящие оптические волокна. Таким образом, преобразователем измерительной информации является дифференциальный волоконно-оптический преобразователь микроперемещений (ВОПМП).

На рисунке 2 приведена расчетно-конструктивная схема дифференциального ВОПМП с предельным аттенуатором, являющегося базовым элементом ВОДД.

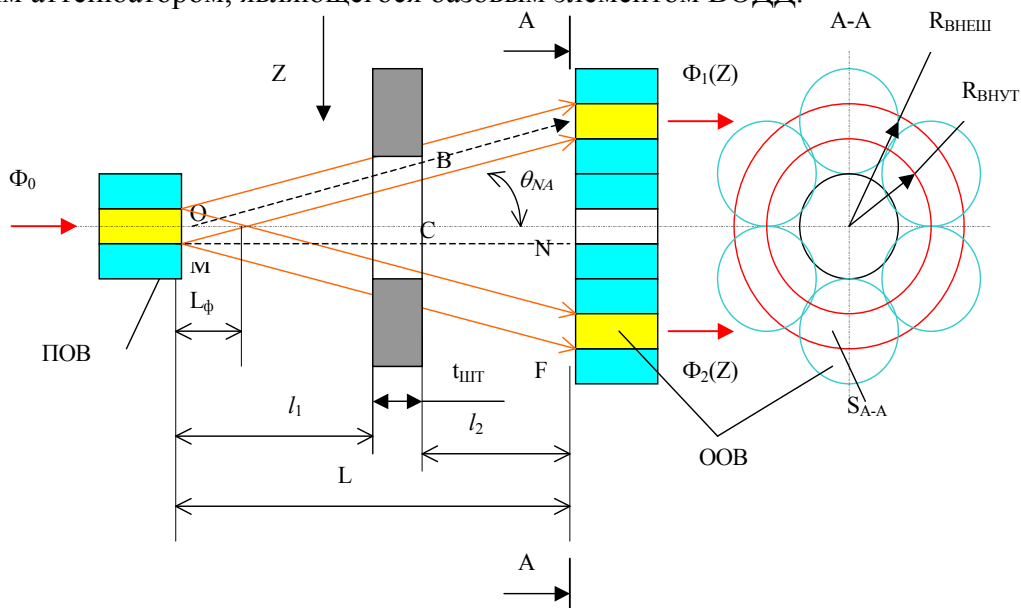


Рисунок 2. – Упрощенная расчетно-конструктивная схема дифференциального ВОПМП с предельным аттенуатором с круглым отверстием

ВОПМП содержит аттенуатор 1 толщиной  $t_c$  круглым отверстием, расположенный на расстоянии  $l_1$  относительно излучающего торца подводящего оптического волокна ПОВ, и отводящие оптические волокна ООВ первого и второго измерительных каналов, расположенные на расстоянии  $L$  от ПОВ.

ВОПМП работает следующим образом (см. рисунки 1 и 2).

От источника излучения ИИ по подводящему оптическому волокну ПОВ 4 световой поток  $\Phi_0$  направляется в сторону аттенуатора 3. Под действием измеряемой физической величины (давления) аттенуатор перемещается на величину  $Z$  относительно торцов отводящих оптических волокон ООВ 5, что ведет к изменению интенсивности световых потоков  $\Phi_1(Z)$  и  $\Phi_2(Z)$ , поступающих по отводящим оптическим волокнам на светочувствительные площадки приемников излучения (фотодиодов) ПИ1 и ПИ2 первого и второго измерительных каналов соответственно. Приемники излучения преобразуют оптические сигналы в электрические  $I_1$  и  $I_2$ , поступающие на вход блока преобразования информации (БПИ).

**2. Разработка измерительной установки для проверки достоверности результатов математического моделирования механической преобразующей системы волоконно-оптического датчика разности давления.** Для снижения себестоимости и упрощения этапа разработки была предложена установка, имитирующая воздействие разности давления на механическую преобразующую систему ВОДРД (рисунок 3).

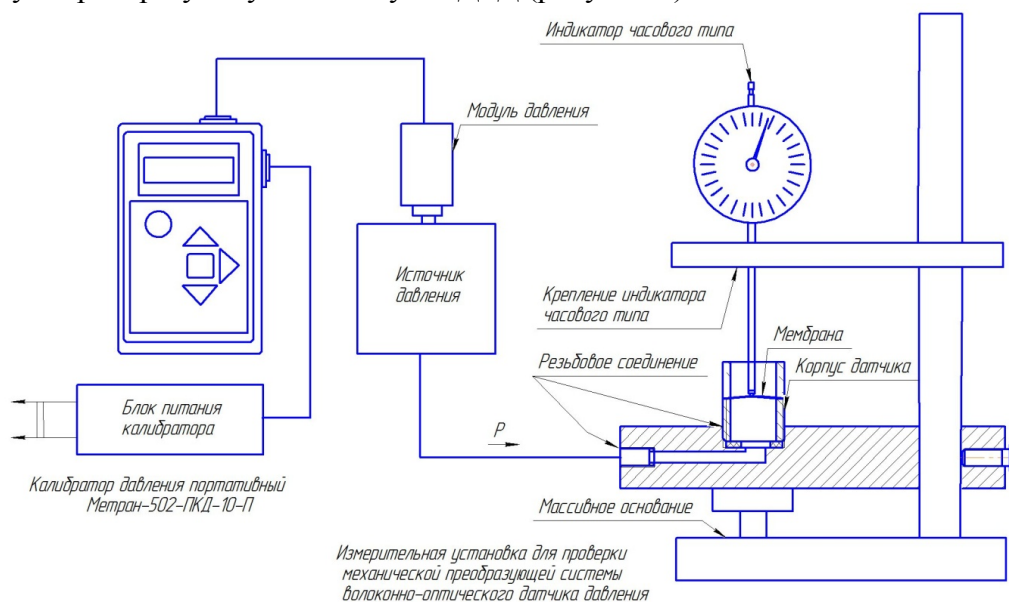


Рисунок 3. – Измерительная установка для проверки механической преобразующей системы волоконно-оптического датчика разности давления.

Измерительная установка для снятия экспериментальных зависимостей  $W=f(P)$  состоит из поверочного калибратора давления, стойки, установленной на массивном основании, индикатора часового типа (ИЧТ), исследуемого ВОДРД. На стойке неподвижно закреплены приспособления для установки ИЧТ и исследуемого ВОДРД.

Для калибровки используется поверочный калибратор давления Метран-ПКД-10 ТУ 4212-002-36897690-98, включающий: электронный блок индикации (ЭБИ), внешний модуль давления, источник создания давления (помпа ручная пневматическая), кабель электрический для подключения к сети и кабель пневматический для подачи измеряемой среды, давление которой измеряется (рисунок 4).



Рисунок 4. – Поверочный калибратор давления Метран-502-ПКД-10П.

Портативный калибратор давления Метран-502-ПКД-10П предназначен для точного измерения и воспроизведения избыточного давления и разрежения в диапазоне 0...25000 кПа с погрешностью не более 0,1%. Применяется в качестве эталона при поверке и калибровке – поверке средств измерений давления: датчиков давления, разности давлений по ГОСТ 22520 (например, датчиков серий Метран, Сапфир), показывающих и самопишущих манометров и других аналогичных приборов и устройств и в качестве цифрового манометра при мониторинге процессов измерения давления.

В состав калибратора давления входит ручной пневматический насос Н2,5М, предназначенный для создания избыточного давления в образцовом и поверяемом средстве измерений давления. Диапазон задания давления: от 0 до 2,5 МПа.

В установке используется индикатор часового типа с погрешностью не более 0,5 мкм. Измерительный шток ИЧТ в нейтральном положении (0 на шкале) контактирует с верхней мембраной (мембраной минусовой камеры). Мембрана нижней (плюсовой) камеры расположена со стороны основания для крепления датчика.

Калибратор соединен с датчиком с помощью пневматического кабеля через резьбовое соединение в основании для крепления датчика.

В процессе экспериментальных исследований используется имитационная модель датчика без волоконно-оптического тракта (то есть отсутствуют оптические волокна), включающего только механическую преобразующую систему, параметры которой соответствуют расчетным. Такое техническое решение снижает стоимость разработки.

**3. Методика выполнения исследований по определению экспериментальных зависимостей  $W=f(P)$ .** Максимальное перемещение центра мембраны  $W_{max}$  и максимальные напряжения  $\sigma_{max}$ , возникающие в материале мембраны под действием давления  $P$ , определяются по следующим известным формулам [2]:

$$W_{max} = \frac{3(1 - \mu^2)R_m^2 P}{16Eh^3},$$

$$\sigma_{max} = \frac{3r^4 P}{4h^2} \leq [\sigma],$$

где  $W_{max}$  – максимальный прогиб мембраны под действием давления, мкм;

$R_m, h$  – радиус и толщина мембраны, мм;

$E$  – модуль упругости материала мембраны, Н/мм<sup>2</sup>, для сплава 36НХТЮ:

$E = 195000 \text{ Н/мм}^2 = 1988,4 \text{ кгс/мм}^2$ ;

$\mu$  – коэффициент Пуассона материала мембраны; для сплава 36НХТЮ:  $\mu=0,3$ ;

$\sigma$  – допустимое максимальное напряжение, Н/мм<sup>2</sup>;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение справочное, Н/мм<sup>2</sup>, для сплава 36НХТЮ:

$[\sigma] = 1200 \text{ Н/мм}^2 = 122,3 \text{ кгс/мм}^2$ .

На основании расчета строится расчетная зависимость  $W_{расч}=f(P)$ .

Первоначально проводится калибровка измерительной установки с помощью образцового манометра в соответствии с инструкцией по эксплуатации на поверочный калибратор давления Метран-ПКД-10 ТУ 4212-002-36897690-98.

Затем образцовый манометр отсоединяется, и к калибратору подключается разрабатываемый ВОДРД. С помощью калибратора воспроизводится давление  $P$  в заданном диапазоне измерения (например 0,1...25 кгс/см<sup>2</sup> с шагом 1 кгс/см<sup>2</sup>), которое по пневматическому кабелю передается на мембрану плюсовой камеры, соединенную с помощью штока с мембраной минусовой камеры. Прогиб  $W$  центра этой мембраны с помощью ИЧТ измеряется. По результатам измерений строится зависимость экспериментальная зависимость  $W_{эксп}=f(P)$ , которая сравнивается с расчетной зависимостью  $W_{расч}=f(P)$ .

При степени совпадения результатов расчета и эксперимента до 90%, расчетные параметры механической преобразующей системы принимаются окончательно и закладываются в конструкцию ВОДРД. В противном случае необходимо уточнить параметры механической преобразующей системы и повторить эксперимент.

**Заключение.** Разработана измерительная установка для экспериментальной проверки механической преобразующей системы волоконно-оптического датчика разности давления.

Даны рекомендации по конструктивному исполнению дифференциального волоконно-оптического датчика разности давления.

Использование имитационной модели датчика, включающего только механическую преобразующую систему, снижает цену разработки вследствие отсутствия волоконно-оптического тракта и дорогостоящего электронного блока преобразования информации, а также неэффективных затрат на проведение многочисленных испытаний ВОДРД в процессе проектирования.

**Благодарность.** Выражаем благодарность нашему научному руководителю д.т.н., проф. Татьяне Ивановне Мурашкиной.

#### Список литературы

- 1) Пивкин А.Г., Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А. Патент РФ № 2290605, МПК6 G01 L 19/04 Волоконно-оптический преобразователь перемещения. Оpubл.27.12.2006 Бюл. №36.
- 2) Бадеева Е.А., Пивкин А.Г., Мурашкина Т.И. Технологические основы проектирования ВОД давления для искро-, взрыво-, пожароопасных инженерно-технических объектов. // Надежность и качество: Тр. Междунар. симп. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та. 2011. Т.2.
- 3) Коломиец Л.Н., Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г. Функция преобразования дифференциального ВОД давления отражательного типа // Авиакосмическое приборостроение. 2007. №8.
- 4) Коломиец Л.Н., Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И. Определение условий реализации дифференциального преобразования сигналов в волоконно-оптических преобразователях давления отражательного типа. // Авиакосмическое приборостроение. 2007. №11.