

# Волоконно-оптический датчик давления на основе туннельного эффекта

Елена Бадеева, Сергей Бростилов, Ольга Юрова (Пенза)

В статье описана новая конструкция волоконно-оптического датчика давления (ВОДД) на туннельном эффекте, рассмотрена схема прохождения светового потока от источника до приёмника излучения. Выведены функции преобразования оптической системы. Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта Министерства образования и науки.

В последние годы наметилась тенденция развития и совершенствования волоконно-оптических датчиков. Они используются в тех случаях, когда определяющими являются малые размеры, масса и возможность работы в условиях воздействия электромагнитных полей, а также в агрессивных и взрывоопасных средах.

Авторами статьи предлагается использовать «туннельный эффект» в новом волоконно-оптическом датчике давления (ВОДД), разработанном на основе [1]. Описываемый датчик (см. рис. 1) содержит мембранный

блок 1, в который входит мембрана 2 и несущая её деталь 3, «подушка» 7 представляет собой деталь треугольной формы с углом при вершине, равным  $2\theta$ , с углублением, повторяющим форму оптического волокна; глубина и ширина углубления соответствуют внешним размерам оптического волокна. Для исключения полумов оптических волокон угол при вершине треугольника закруглён. Штуцер 10 и блок оптических волокон 4. Концы подводящих и отводящих оптических волокон 5 и 6, срезанные под некоторым углом, расположены во втулке 9 на детали треугольной формы 7 и прижаты крышкой 8; другие концы оптических волокон подсоединены к источнику излучения (ИИ) и приёмнику излучения (ПИ). Штуцер 10 имеет три полости, причём в полости меньшего размера на кольцевом выступе закреплён мембранный блок, на котором во второй полости установлен блок оптических волокон, закреплённый в корпусе. Внутренний размер последнего равен внешним размерам блока оптических волокон, а штуцер и корпус жёстко соединены между собой с помощью сварки.

Для обеспечения туннельного эффекта зазор между мембраной 2 и полированной поверхностью оптических волокон 5 и 6 должен быть примерно равным длине оптического излучения ИИ. Соответственно, размеры мембраны выбираются таким образом, чтобы прогиб её под действием давления был меньше длины волны. Например, если используется инфракрасное излучение на длине волны 0,85 мкм, то зазор должен быть примерно равным 1 мкм, а прогиб мембраны не должен превышать этого значения.

Возможность использования в качестве мембраны кварцевой пластины малых габаритов является особенно привлекательной, поскольку радиус мембраны при измерении давления в диапазоне 0...300 кгс/см<sup>2</sup> составляет приблизительно 4...5 мм. Такое конструктивное решение позволяет до минимума снизить погрешность, обусловленную изменением конструктивных параметров датчика при изменении температуры окружающей среды, особенно если использовать кварцевое стекло. Так, например, температурный коэффициент линейного расширения кварцевого стекла марки С5-1 составляет  $5 \times 10^{-7}$  1/°С, и при изменении температуры в диапазоне от -100 до +500°С относительное расширение материала составит приблизительно 0,0025%, изменение модуля Юнга приведёт к дополнительной погрешности, не превышающей в данном диапазоне температур 1%.

Датчик работает следующим образом. От ИИ световой поток по подводящим оптическим волокнам направляется в сторону мембраны под углом  $\theta$ , значение которого задаётся формой и размерами «подушки». Под действием контролируемого давления мембрана прогибается, и в центральной части зазор между ней и скошенными торцами оптических волокон будет меньше первоначального значения  $X_0$ . В результате этого изменяется отражательная способность для электромагнитных волн в области скошенных торцов оптических волокон. Соответственно, изменяется интенсивность отражённого под углом  $\theta$  от данной области светового потока, несущего информацию об измеряемом давлении  $P$  и поступающего по отводящим оптическим волокнам на ПИ. Последний преобразует световой поток в эквивалентный фототок  $I(P)$ , который затем преобразуется в напряжение  $U(P)$  с помощью преобразователя «фототок-напряжение» ПФН, здесь же  $U(P)$  усиливается до необходимой величины.

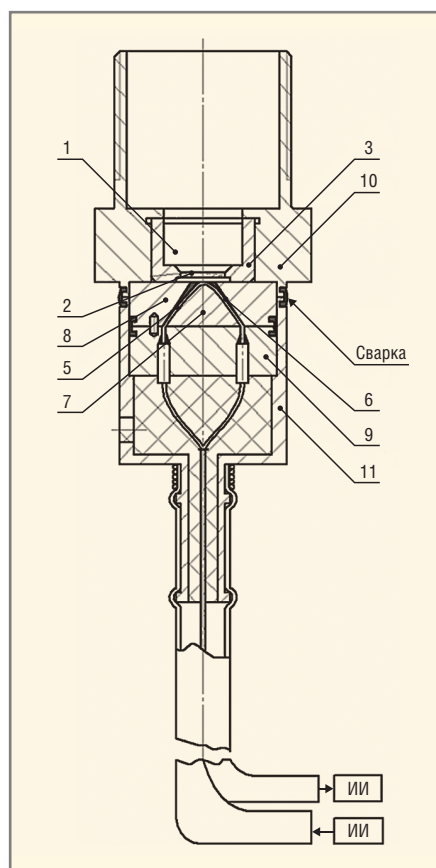


Рис. 1. Волоконно-оптический датчик давления на основе оптического туннельного эффекта

Математическую основу ВОДД составляет модель функции преобразования, которая представляет зависимость светового потока, попадающего на фотоприёмник, от измеряемого параметра  $P$  и внешних факторов  $\xi$ :

$$\Phi(P) = \Phi_0 K(P) \xi, \quad (1)$$

где  $\Phi_0$ ,  $\Phi(P)$  – световой поток, излучаемый источником излучения и попадающий на приемник излучения соответственно;  $K(P)$  – коэффициент передачи тракта «выходной торец подводящего волокна – мембрана – входной торец отводящего волокна».

На рисунке 2 показаны зоны пересечения скошенных торцов подводящего и отводящего оптических волокон и светового потока, прошедшего через эту зону. Коэффициент передачи определяется как:

$$K(P) = \frac{S_{\text{ОСВАHFEDB}}}{S_{\text{ООВ}}}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{ОСВАHFEDB}}$  – площадь освещённости светового пятна (см. рис. 2);  $S_{\text{ООВ}}$  – площадь сечения отводящего оптического волокна (эллипса):

$$S_{\text{ОСВАHFEDB}} = 2abarccos \frac{a^2 - 3aZ_i \text{tg}\theta}{2} - \frac{a - 3Z_i \text{tg}\theta}{2} \times \sqrt{\frac{3a^3 ab^2 - 6b^2 a^2 Z_i \text{tg}\theta + 9b^2 aZ_i \text{tg}\theta}{4}} - abarccos a^2 - aZ_i \text{tg}\theta - a - Z_i \text{tg}\theta \times \sqrt{-2b^2 a^2 Z_i \text{tg}\theta + ab^2 Z_i \text{tg}\theta}, \quad (3)$$

$$S_{\text{ООВ}} = abarccos \frac{Z}{a} - Z \frac{\sqrt{a^2 b^2 - Z^2 b^2}}{a}, \quad (4)$$

где  $a$  – большая полуось эллипса;  $b$  – малая полуось эллипса. С другой стороны,

$$Z = \frac{a - 3Z_i}{2} \quad (5)$$

и

$$Z_i = 1 - \frac{3(1 - \mu^2)}{16} \frac{PR^4}{Eb^3} \text{tg}\theta, \quad (6)$$

где  $Z_i$  – прогиб мембраны под действием давления;  $P$  – давление, действующее на мембрану;  $R$  – радиус мембра-

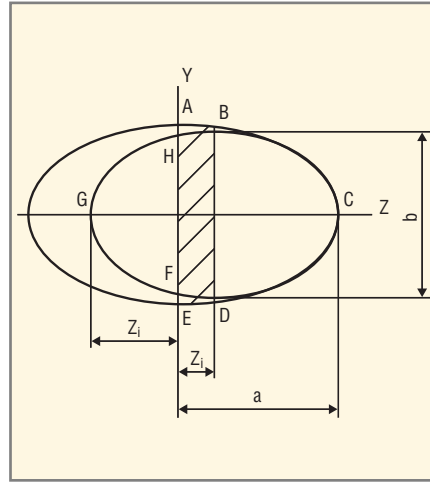


Рис. 2. Площадь освещённости светового пятна, отражённого от мембраны

ны;  $E$  – модуль упругости материала мембраны;  $b$  – толщина мембраны;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Полученное выражение для коэффициента передачи тракта  $K(P)$  позволяет определить зависимость светового потока  $\Phi(P)$ , попадающего на фотоприёмник, от измеряемого давления  $P$ . Графические зависимости  $\Phi(P)$  при различных значениях угла  $\theta$  позволяют выбрать оптимальный угол скоса оптических волокон для получения максимальной чувствительности ВОДД; в рассмотренном случае  $\theta \approx 47^\circ$  (см. рис. 3).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная конструкция ВОДД по своим габаритам приблизительно-

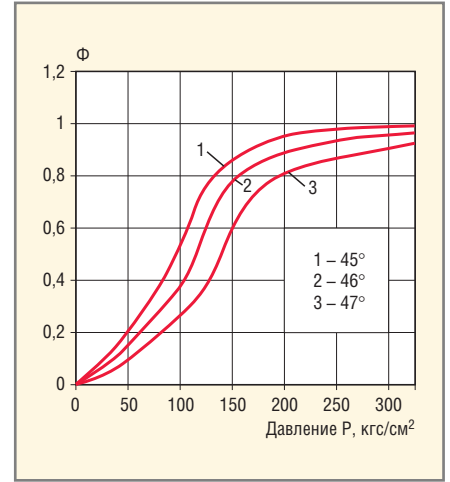
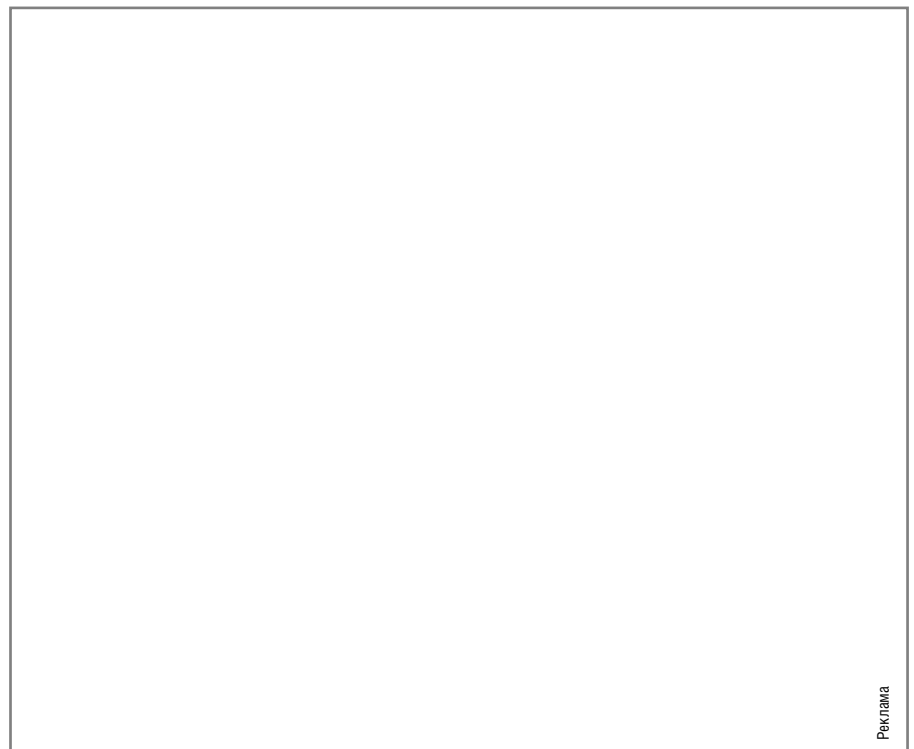


Рис. 3. Зависимость  $\Phi = f(P)$  при различных значениях угла  $\theta$

но в два раза меньше конструкции датчиков-прототипов. Упростился процесс сборки данного датчика за счёт использования унифицированной конструкции мембранного блока, а необходимое для туннелирования оптического сигнала расстояние в 1 мкм между мембраной и оптическими волокнами обеспечивается за счёт полировки до требуемого размера поверхности несущей мембраны детали.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бадеева Е.А., Горши А.В., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г. Волоконно-оптический датчик давления. Пат. 2253850 РФ, МПК6 G01 L 11/02, 19/04. Опул. 10.06.2005. Бюл. № 16.



Реклама