

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА.

**д.т.н. Сидоренко В.Д., к.ф.-м.н. Здешиц В.М., инж. Кагатько О. Н. (КТУ, г. Кривой Рог)**

Воспламенение метана ( $\text{CH}_4$ ) при отбойке угля является одной из наиболее серьезных опасностей в угольных шахтах Украины. Отсутствие надежной системы дистанционного непрерывного контроля уровня концентрации метана в шахтах приводит к взрывам, число которых достигает 250 и более в год [1]. Людские и финансовые потери можно было бы уменьшить, обладая руководством шахт надежной системой дистанционного наблюдения за концентрацией метана.

В данной работе рассматривается возможность создания такой системы наблюдения на основе волоконно-оптической технологии. На рис 1 представлена структура метанового датчика. Монохроматический свет излучателя (светодиода) через волоконно-оптический световод поступает в шахту, где размещаются газовые детекторы в виде устройств, передающих направленный пучок света через воздушный зазор к приемному световоду, сигналы с которого на дневной поверхности подаются через анализатор спектра на световой детектор. Длина волны светового излучения совпадает с одной из линий поглощения метана, поэтому появление метана приведет к поглощению и соответствующему уменьшению

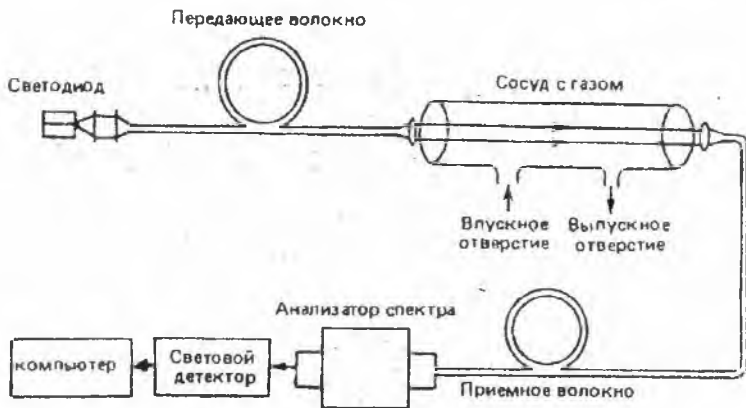


Рис. 1 Структура метанового датчика

тока фотоприемника. Превышение безопасной концентрации метана приведет к запуску программы оповещения, заложенной в компьютер.

Эта система наблюдения взрывобезопасна, так как информация попадает непосредственно руководству шахты немедленно.

Рассмотрим конструкции газовых детекторов. Согласно за кону Бугера-Ламберта-Бера

$$I = I_0 \exp(-\mu l) \quad (1)$$

Излучение, прошедшее путь  $l$  в газовой среде с коэффициентом поглощения  $\mu$ , ослабляется в  $\exp(\mu l)$  раз. Поэтому при  $l = \text{const}$  изменение коэффициента поглощения  $\mu = A \cdot C$  можно связать с концентрацией метана  $C$  ( $A = \text{const}$  – коэффициент, не зависящий от концентрации и характеризующий взаимодействие молекул  $\text{CH}_4$  со светом с длиной волны  $\lambda$ ). Показатель экспоненты зависит также и от величины  $l$ , поэтому необходимо обеспечить максимально большую длину пути оптического излучения в газовой среде. Таким образом, газовый детектор должен быть выполнен в виде многопроходной кюветы, линейные размеры которой не должны сильно зависеть от температуры, давления, влажности и т.д.

Полосы поглощения водяного пара в инфракрасной области [2]:  $\lambda = 944$  нм, 1128 нм, 1157 нм, 1367 нм, 1411 нм, 1480 нм, 1843 нм, 1870 нм.

Поэтому используемая длина световой волны должна удовлетворять трём условиям: 1) минимальности потерь световой энергии при передаче по оптическим волокнам ( $< 1$  дБ/км); 2) расположения в области линий поглощения  $\text{CH}_4$ ; 3) отдаленности линий поглощения воды (влажность воздуха в шахтах достигает 100%). Как следует из рис. 2, этим условиям удовлетворяют  $\lambda_1 = 1155$  нм,  $\lambda_2 = 1337$  нм,  $\lambda_3 = 1655$  нм. Длина волны  $\lambda_2 = 1337$  нм и  $\lambda_3 = 1655$  нм – это область излучения светодиода  $\text{InGaAsP} - \text{InP}$ , который используется в стандартных оптических измерителях световой мощности типа ОМКЗ-76 в качестве излучателя. Фотоприёмником могут служить германиевые фотодиоды типа ФД7Г ( $\lambda = 1,2 \div 1,6$  мкм), фотодиоды на основе  $\text{InGaAs}$ ,  $\text{InGaAsP}$ . Расстояние, на которое возможно дистанционное наблюдение за концентрацией метана при выполнении всех вышеперечисленных условий более 20 км при применении кварцевых световодов в качестве передающих линий (см рис. 2).

Для отыскания оптимальной конструкции чувствительного элемента газового детектора были проведены эксперименты, в которых в качестве кюветы использовался кварцевый капилляр внутренним диаметром  $\varnothing 130$  мкм (рис. 3). Преимущества кварцевого капилляра – в отсутствии сильной зависимости линейных размеров кюветы от температуры ( $l = \text{const}$  в формуле (1)), что позволяет соз-

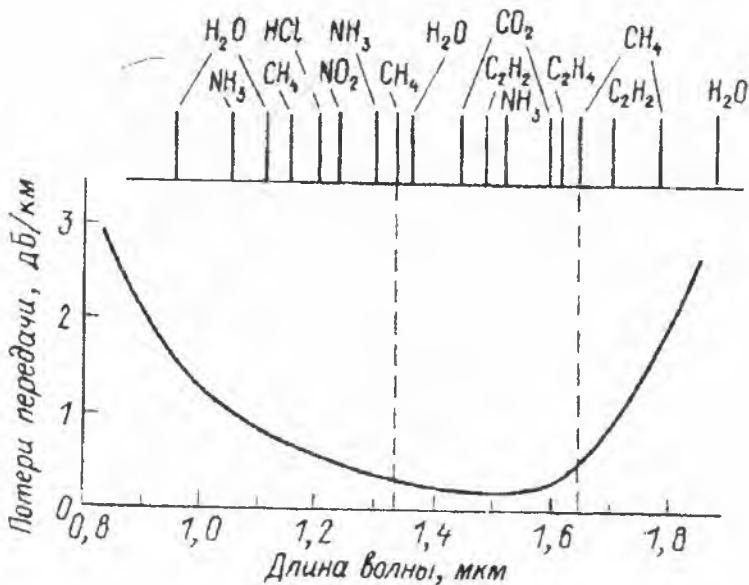


Рис. 2. Зависимость поглощения кварцевого оптического волокна от длины волны и спектра поглощения некоторых газов [3]

давать миниатюрные датчики концентрации метана. Кроме, этого, как показали эксперименты (см. график на рис. 3), капилляр играет роль полого световода, позволяющего транспортировать свет через зазор между волоконными световодами на большие расстояния, чем при его свободном распространении.

Как показывают исследования других авторов [4] замена стеклянного капилляра полым металлическим световодом не дает существенного выигрыша. Так, при отношении длины полого световода к его диаметру  $L/d=100$ , световая мощность на выходе (для  $\rho=0,95$  и апертурном угле конического пучка лучей  $30^\circ$ ) составляет 17% от выходной. Если учесть, что сечение световедущей жилы оптического волокна составляет 0,16 от поперечного сечения полого световода, то величина светового сигнала на торце приемного волоконного световода понизится до  $2 \div 3\%$ .

Как показали авторы [5] полые диэлектрические световоды эффективно работают лишь при апертурных углах от минут до нескольких градусов (таблица 1).

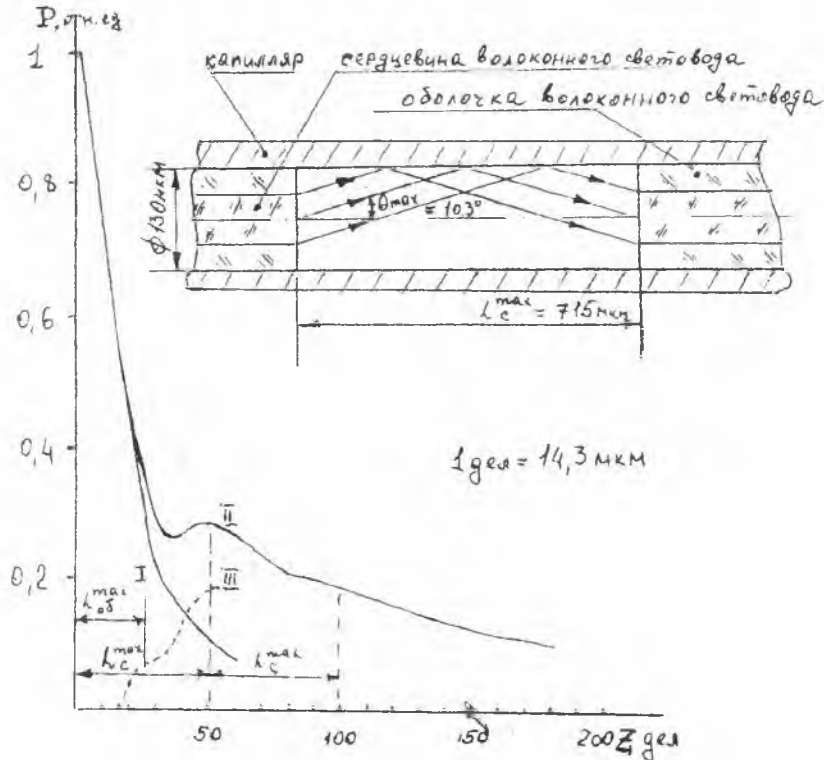


Рис. 3. Зависимость световой мощности  $P$  от величины зазора  $Z$  между волоконными световодами: I – при свободном распространении света, II – при наличии капилляра, III – вклад рассеянного на стенках капилляра излучения ( $L_{\text{об}}^{\text{max}}, L_c^{\text{max}}$  – величина зазора при котором наблюдается максимальный вклад света из оболочки и сердцевины передающего световода, отраженного стенкой капилляра на приемный волоконный световод)

Таблица 1. Коэффициент пропускания полых стеклянных световодов  $\tau$ .

$\theta_{\Delta}, ^\circ$	L/d			
	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$
5°	0,811	0,226	0,0226	0,0023
5'	0,9999	0,9994	0,9938	0,9404

При малых углах скольжения  $\theta_A$  светопропускание

$$\tau = \frac{1}{2\theta_A^2} \cdot \frac{\sqrt{n^2-1}}{n^2+1} \cdot \frac{d}{L} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{n^2+1}{\sqrt{n^2-1}} \cdot \frac{L}{d} \cdot \theta_A^2\right) \right], \quad (2)$$

где  $n$  - показатель преломления стенок полого световода. Если  $\theta_A^2 L/d \gg 0,5$ , то  $\tau \approx 0,17d\theta_A^{-2}L^{-1}$ , т.е. светопропускание полого диэлектрического световода обратно пропорционально его длине. Конструктивно для создания малых углов скольжения  $\theta_A$  в наших опытах (рис. 1) использовались короткофокусные линзы. Светопропускание такой кюветы при  $L/d=250$  и общей длине оптических волокон 2м составило  $\tau = 5\%$  для  $\lambda=0,85$  мкм, что является достаточным для уверенной регистрации на дистанции изменений интенсивности, связанных с поглощением света метаном.

Во всех вышеприведенных конструкциях измерительная система содержит два волокна: приемное и передающее свет. Удешевить систему регистрации можно, использовав разветвитель (рис. 4).

В этом случае свет от светоизлучающего диода (СИД) после отражения от зеркала вновь возвращается в тот же волокошный световод и попадает на фотоприемник ФП. При таком схемном решении ход световых лучей в кювете газового детектора удваивается, что улучшает чувствительность метода. Линза обеспечивает малый угол скольжения светового луча, что позволяет использовать вышеназванные преимущества диэлектрического полого световода при передаче света. Общая длина волоконного световода при этом уменьшается вдвое.

Таким образом, анализ различных схемных решений и проведенные эксперименты показывают, что оптимальной будет конструкция метанового датчика, изображенного на рисунке 4. Результаты исследования последнего будут доложены в следующих статьях.

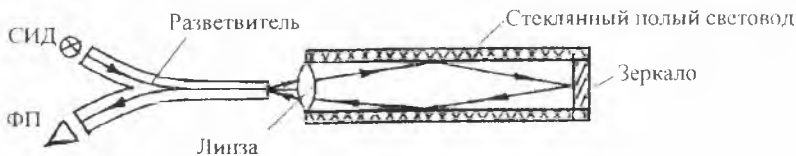


Рис. 4. Конструкция метанового датчика

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. "Охорона праці", № 12, 1999; № 9, 10, 11, 1998.
2. "Краткий физико-технический справочник" Т. 1., М. 1960
3. Т. Окоси и др. Волоконно-оптические датчики. – Л.: Энергоатомиздат, 1990
4. В. Б. Вейнберг, Д. К. Саттаров. Оптика световодов. – Л.: Машиностроение, 1977
5. Ж. Х. Зеличенко и др. "Определение коэффициента пропускания полого диэлектрического световода", ОМП, 1975, № 7. с. 18-21