

трическом разрезе выделяется поверхностный слой небольшой мощности, слой мощностью h_1 суглинков при естественной влажности и водонасыщенный слой мощностью h_2 глинистых пород.

В табл. 1 приведены основные параметры приборного массива в районе ВЭЗ, рассчитанные на основе интерпретации данных ВЭЗ, корреляционных зависимостей и обратных расчетов. Эти данные являются основой для расчета проектных параметров откосов. При высоте уступов, равной мощности слоя рыхлых отложений, определены углы откосов, при которых будет сохраняться устойчивость борта.

На рис. 6 показаны зависимости величины уг-

ла откоса α от коэффициента запаса устойчивости η и продольной координаты x .

Использование данных геофизических измерений и обратных расчетов позволило определить проектные параметры откосов без дополнительных затрат на инженерно-геологические изыскания. При этом использование в прямых и обратных расчетах одной и той же физико-геологической модели, определенной по данным ВЭЗ, создает замкнутую систему, в рамках которой компенсируются погрешности, связанные с интегральным характером параметров, определенных по данным геофизических измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогнозирование зон скрытой фильтрации в грунтовом массиве при ведении открытых горных работ / С. М. Простов, Е. В. Костюков, В. А. Хямляйнен, М. А. Кузнецов // ГИАБ. – 2005. – № 9. – С. 64–67.

□ Авторы статьи:

Смирнов Николай Александрович, аспирант КузГТУ. Email: SmirnovNick@yandex.ru ;	Простов Сергей Михайлович, докт.техн. наук; проф. каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ. Тел. 89050757924
--	--

УДК 622.831:620.171.5

А.С.Гуменный, В.В. Дырдин, Т.И. Янина, А.А. Мальшин

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА НА ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАВАЕМОГО СИГНАЛА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ КОНТРОЛЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Для повышения безопасности ведения горных работ при подземной разработке месторождений полезных ископаемых необходимо непрерывно контролировать целый ряд технологических параметров, в том числе непрерывно оценивать изменение напряженного состояния краевых зон массива горных пород. С этой целью разработана система непрерывного контроля изменения напряжений в массиве на основе волоконно-оптических элементов [1].

В системе используется сплошной фотоупругий датчик, который устанавливается по методике, изложенной в работе [2], в местах наиболее вероятного и опасного изменения напряженного состояния. Оптический сигнал с датчика в виде интерференционной картины передается на дневную поверхность с помощью оптического волновода, после чего обрабатывается с помощью современных цифровых технологий непрерывно в автоматическом режиме.

Ниже рассматривается влияние оптического волновода, который представляет собой промышленный осветительный жгут, собранный из тонких оптических волокон, на параметры передаваемого

сигнала. Оптические системы, как правило, линейные, то есть их можно описать линейными уравнениями.

Интерференционная картина, получаемая со сплошного фотоупругого датчика, двумерна [3]. На интенсивность выходного изображения $I_{out}(x, y)$ в точках с координатами x, y влияют все участки входного изображения. Для двумерного изображения уравнение свертки примет вид:

$$I_{out}(x, y) = \int \int I_{in}(x', y') g(x - x', y - y') dx' dy', \quad (1)$$

где $I_{out}(x, y)$, $I_{in}(x, y)$ – интенсивности выходного и входного сигналов соответственно, $g(x, y)$ – аппаратная функция.

В оптике коэффициент передачи называется частотно-контрастной характеристикой (ЧКХ). Она определяется по выходному изображению интерференционной картины:

$$A(\omega) = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \quad (2)$$

где E_{max} и E_{min} – максимальная и минимальная освещенность интерференционной картины в выходном сигнале. Стоит отметить, что в оптической системе без потерь всегда, независимо от значения ω , $(E_{max} + E_{min})/2 = E_0$, хотя E_{max} и E_{min} от ω зависят. Это позволяет находить ЧКХ, пользуясь только выходным изображением [3].

Частотно-контрастная характеристика оптического волновода определялась с помощью миры, которая представляет собой картину из чередующихся контрастных черных и белых полос. Структурная схема экспериментальной установки представлена на рис.1.

В ходе эксперимента свет от источника 5 проходил через светофильтр 4 и освещал определенной длиной волны миру 1, через волновод изображение миры передавалось на камеру 3, которая в свою очередь передавала данные на ПК. Полученное изображение обрабатывалось оригинальной программой, которая определяла максимальную и минимальную освещенность изображения, прошедшего через волновод 2, затем менялся светофильтр 4, и эксперимент начинался заново для другой длины волны.

Частотно-контрастная характеристика, полученная в ходе описанного выше эксперимента,

представлена на рис.2.

В результате проведенного эксперимента, очевидно, что в видимом диапазоне, коэффициент передачи изображения максимален в длинноволновой части спектра. Это объясняется тем что, поглощение в стеклянных волноводах в этой части видимого спектра наименьшее, поэтому, в системе [1] в качестве источника оптического излучения используется гелий-неоновый лазер с длиной волны 632 нм.

Важнейшей характеристикой волновода являются суммарные потери при прохождении сигнала, которые количественно можно оценить по затуханию этого сигнала:

$$B = \left(\frac{1}{L} \right) \cdot 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{ex}}{P_{vых}} \right) \quad (3)$$

где B – затухание светового сигнала, P_{ex} , $P_{vых}$ - мощность сигнала в волноводе длиной L (км) у входного и выходного торцов.

Потери пропускания в оптической среде обусловлены действием механизмов абсорбции и рассеяния. Абсорбционные потери связаны с поглощением света на красящих центрах. Потери на рассеяние зависят от наличия в стекле пузырьков, кристаллических включений. Также имеет место реле-

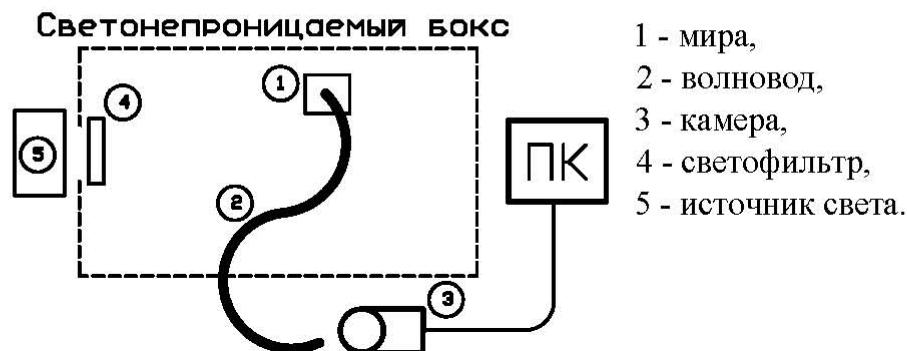


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения ЧКХ

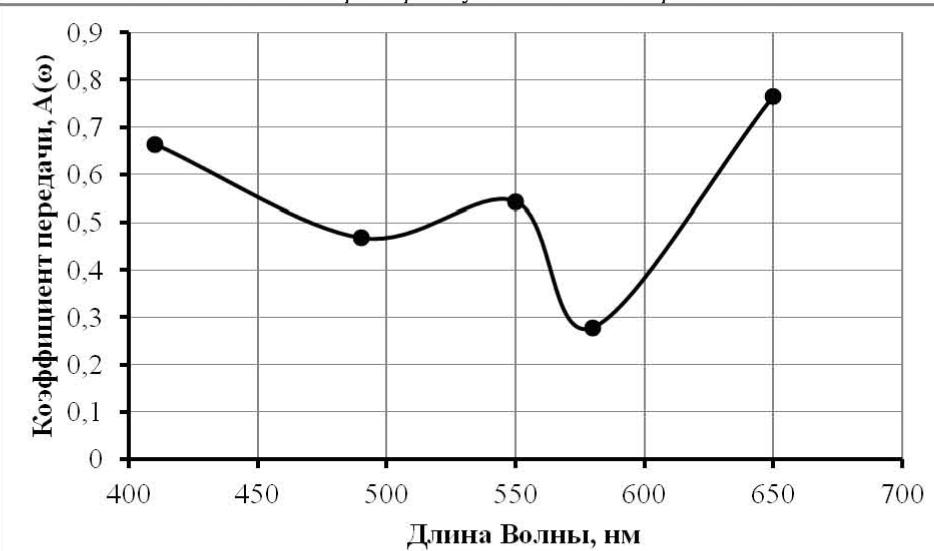


Рис. 2. Частотно-контрастная характеристика оптического волновода

евское рассеяние, вызванное флюктуациями плотности или состава материала по объему. Формула, описывающая ослабление светового сигнала, прошедшего по оптическому волноводу, имеет вид:

$$B_{\text{Пол}} = B_{An} + B_{up} + B_{\phi p} + B_{omp} + B_{\text{Погл}} \quad (4)$$

где B_{An} - апертурные потери, обусловленные несовпадением апертур излучателя и волновода, B_{up} - потери на упаковке, связанные с тем, что лишь часть торца волновода занята световедущими жилами, $B_{\phi p}$ - френелевские потери от торцов волноводов, B_{omp} - потери отражения на границе «жила-оболочка» при многократном внутреннем отражении, $B_{\text{Погл}}$ - потери поглощения в материале световедущей жилы. Френелевские потери от торцов волновода в стекле с показателем преломления ~ 1.6 при небольших углах не превышают 0,6 дБ.

Затухание оптического сигнала в волноводе определялось по следующей методике: луч лазера направлялся на фотоприемник, и фиксировалась энергия излучения, затем луч лазера направляли в волновод, по которому луч попадал в фотоприемник, и фиксировали энергию излучения. В результате эксперимента затухание составило около 1 дБ ($B=1$ дБ). Стоит отметить тот факт, что эксперимент проходил на коротком отрезке волновода и коэффициент затухания в нашем случае скорее характеризует рассеяние оптического сигнала на торцах волновода, чем затухание сигнала за счет поглощения энергии оптического излучения примесями стекла и рассеивания излучения на этих примесях. На этом основании можно полагать, что затухание в волноводе длиной несколько километров будет незначительно превышать полученные зна-

чения.

Передача света в волноводе основана на эффекте полного внутреннего отражения. Поскольку внутренняя жила волновода оптически более плотная, чем оболочка ($n_1 > n_2$), то для лучей, входящих в волновод под малыми углами по отношению к оси цилиндра, выполняется условие полного внутреннего отражения: при падении световой волны на границу с оболочкой вся ее энергия отражается внутрь сердцевины. То же самое происходит при всех последующих отражениях, таким образом, свет распространяется вдоль оси волновода, не выходя через оболочку. Максимальный угол, при котором еще имеет место полное внутреннее отражение, определяется соотношением:

$$\sin \phi_0 = \sqrt{n_1^2 - \frac{2}{2}} = A_0 \cong \sqrt{2n_1 \cdot \Delta n} \quad (5)$$

Величина A_0 называется числовым апертурой волновода и представляет важную характеристику при стыковке с излучателем. В ходе лабораторных исследований был проведен эксперимент по определению зависимости между относительной интенсивностью оптического сигнала и углом ввода (числовой апертурой) этого сигнала в волновод для различных длин волн. Полученные результаты представлены на рис.3.

Временем запаздывания сигнала в волноводе можно пренебречь, потому что оно несопоставимо мало по сравнению со временем обработки этого сигнала, данное время зависит от видеорегистрирующей аппаратуры и от скорости выполнения одного цикла обработки изображения программой. Например, для видеокамеры с частотой съемки 24 кадра в секунду время задержки составит 1/24 се-

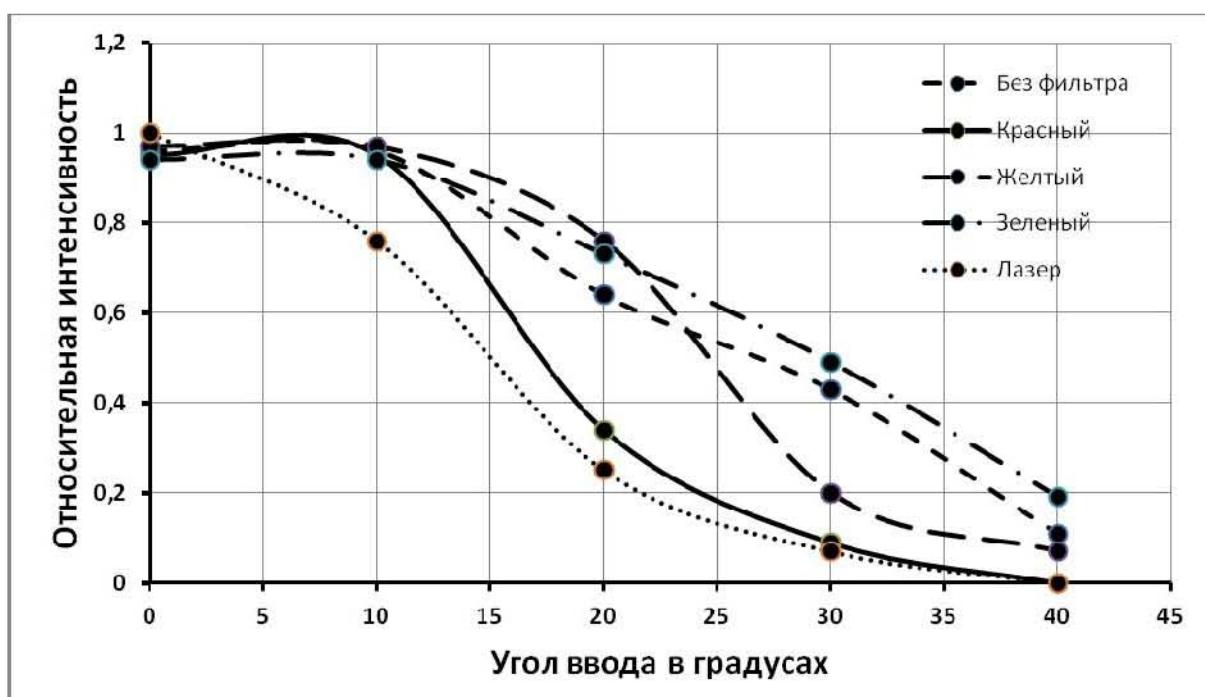


Рис. 3. Зависимость относительной интенсивности оптического сигнала от угла ввода этого сигнала в волновод

кунды, за это время программа успевает выполнить цикл обработки предыдущего кадра. Применение видео регистрирующей аппаратуры с большей частотой съемки позволяет уменьшить время обработки оптического сигнала.

Коэффициент потери мощности рассчитывался по следующей формуле:

$$\mathcal{K} = \left[\exp \left\{ \frac{1}{V_c} \int_0^{V_c} \ln |K_1(\nu)| d\nu \right\} \right], \quad (6)$$

где K_1 - коэффициент передачи, ν - частота.

Для реального канала передачи информации с шумами скорость передачи сообщения составит:

$$R = kQ(L) \log_2 \left(\frac{E_{\max}}{2\sigma} \mathcal{K} \right) \quad (7)$$

где $Q(L)$ – поправочный коэффициент, который уточняет скорость передачи информации при заданном соотношении сигнал/шум, k - число независимых отсчетов, σ - дисперсия шума.

Оценка снизу ошибки восстановления входного сигнала по выходному, т.е. минимальное значение ошибки, которое может быть достигнуто в принципе, определяется соотношением:

$$\frac{\delta}{E_{in}} \geq \frac{\sigma}{E_{out} \mathcal{K}} \quad (8)$$

где δ - среднеквадратичная ошибка, E_{in} - энергия сигнала на входе в канал, E_{out} - энергия сигнала на

выходе из канала.

Минимальная энергетическая цена единицы переданной информации:

$$\frac{\bar{E}_{in}}{H} \geq \frac{\bar{E}_{in}}{kQ} \left(\log_2 \left[\frac{\bar{E}_{out}}{\sigma} \mathcal{K} \right] \right)^{-1} \quad (9)$$

где H - количество информации на единице площади выходного оптического изображения.

Для исследуемого канала связи были проведены расчеты скорости передачи сообщения, которая составила $R = 2.12 \text{бит} / \text{отсчет}$. Минимальное значение ошибки - $\frac{\delta}{E_{in}} = 0.15$, минимальная энергетическая цена единицы переданной информации - $\frac{\bar{E}_{in}}{H} = 0.4 \text{Дж} / \text{бит}$.

Формулы (7) - (9) полностью описывают любую измерительно-передающую систему [4], поскольку они показывают, какое предельное количество информации, с какой ошибкой и по какой цене может быть принято, передано и зарегистрировано на единицу площади оптического изображения.

Полученные данные не противоречат теории изложенной в [4] и доказывают, что оптический канал связи приемлем для использования в системе непрерывного контроля изменения напряженного состояния массива горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. RU 2 421615 С1, МПК E21C 23/00. Устройство непрерывного контроля массива горных пород/ ГОУ Кузбасский Государственный технический университет; А.С. Гуменный [и др.]. – Опубл в Б.И. 2011. - №17
2. Справочное пособие для служб прогноза и предотвращения горных ударов на шахтах и рудниках / П.В. Егоров, В.В. Иванов, В.В. Дырдин и др. – М.:Недра 1995. – 240 с.
3. Гуменный А.С. Зависимость параметров интерференционной картины сплошного фотоупругого датчика от механических напряжений / Дырдин В.В., Янина Т.И. // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. - №2. – С. 69-72.
4. Методы исследований в экспериментальной физике: Учебное пособие / М.И. Пергамент – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 304 с.

□Авторы статьи:

Гуменный Антон Сергеевич, аспирант каф. физики КузГТУ. Email: gumeas@yandex.ru , тел. 89516080642.	Дырдин Валерий Васильевич, докт. техн. наук, проф., зав. каф. физики КузГТУ, Email: dav.fiz@kuzstu.ru .	Янина Татьяна Ивановна, канд. техн. наук, доц. каф. физики КузГТУ. Тел. 89050709611.	Малышин Анатолий Александрович, канд. техн. наук, доц. каф. физики КузГТУ. Тел 8-3842-396371.
---	--	--	---