

УДК 622.831:620.171.5

Т. И. Янина, к.т.н., А.С. Гумённый к.т.н.,
А.А. Мальшин к.т.н., В.С. Иванов студент
(КузГТУ, г. Кемерово)

КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С ПОМОЩЬЮ ФОТОУПРУГИХ ДАТЧИКОВ ПРИ УСЛОВИИ ПОЛНОГО ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

Работа сплошного фотоупругого датчика существенно зависит от условий его взаимодействия со стенками скважины. Наиболее интересными условиями с практической точки зрения являются полное проскальзывание и полное сцепление.

Теоретически и экспериментально доказано, что интерференционная картина от сплошного фотоупругого датчика при условии «полного проскальзывания» имеет вид концентрических окружностей, доказана зависимость радиуса интерференционных колец от нагрузки, приложенной к сплошному фотоупругому датчику.

Полное проскальзывание характеризуется следующими граничными условиями: $u_{r1} = u_r$, $\sigma_{r1} = \sigma_r$, $\tau_{r\theta1} = 0$, $\tau_{r\theta} = 0$, где u_{r1} – радиальное смещение точек контура сплошного фотоупругого датчика, u_r – радиальное смещение точек контура скважины, σ_{r1} – радиальные напряжения в сплошном фотоупругом датчике, σ_r – радиальные напряжения в материале скважины, $\tau_{r\theta1}$ – касательные напряжения в сплошном фотоупругом датчике, $\tau_{r\theta}$ – касательные напряжения в материале скважины.

Используя граничные условия, для случая полного проскальзывания были получены выражения, позволяющие определять главные напряжения:

$$\sigma_1 = \frac{a_1}{2} (p + q) + \frac{(p-q)}{4} \left(\frac{6a_3 r^2}{R^2} (\cos 2\theta - 1) + b_1 \right)$$
$$\sigma_2 = \frac{a_1}{2} (p + q) - \frac{(p-q)}{4} \left(\frac{6a_3 r^2}{R^2} (\cos 2\theta + 1) - b_1 \right),$$

где σ_1 , σ_2 – главные напряжения, p, q – равномерно распределенная нагрузка во взаимно перпендикулярных плоскостях, a_1 , a_3 , b_1 – коэффициенты, зависящие от упругих постоянных материала датчика и породы, r , θ – текущая полярная координата датчика, R – радиус датчика.

Для случая плоского напряженного состояния коэффициенты

$$a_1 = \frac{2E_1}{(E_1(1+\nu) + E(1-\nu_1))}$$
$$a_3 = \frac{4E_1}{(E_1(5-\nu) + E(3+\nu_1))} \quad b_1 = \frac{12E_1}{(E_1(5-\nu) + E(3+\nu_1))},$$

где E_1 , E – модуль упругости материала фотоупругого датчика и породы соответственно, ν_1 , ν – коэффициент Пуассона материала фотоупругого датчика и породы соответственно.

Учитывая, выражение для определения разности хода оптических лучей в сплошном фотоупругом датчике:

$$\Delta = (\sigma_1 - \sigma_2)Cd$$

где C – оптическая постоянная материала сплошного фотоупругого датчика по напряжениям, d – толщина сплошного фотоупругого датчика,

получим выражение для определения разности хода оптических лучей в условиях взаимодействия датчика со стенками скважины «полное проскальзывание»: $\Delta = Cd \frac{(p-q)}{2} \left(\frac{6a_3 r^2}{R^2} - b_1 \right)$,

выразим радиус:

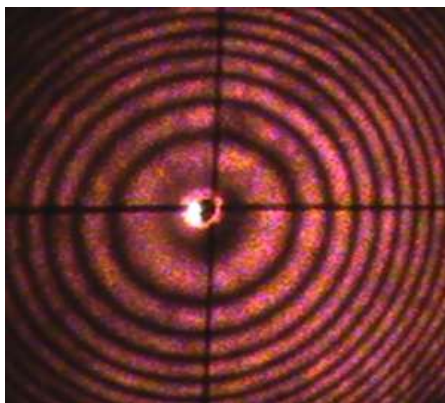
$$r = \sqrt{\frac{R^2}{6a_3} \left(\frac{2\Delta}{Cd(p-q)} + b_1 \right)}$$

Данное выражение является уравнением окружности в полярной системе координат с полюсом в центре сплошного фотоупругого датчика. Проведя численное моделирование зависимости, видим, что оптическая картина от сплошного фотоупругого датчика в условиях полного проскальзывания при взаимодействии со стенками скважины является системой концентрических окружностей разного радиуса. Данный вывод позволяет более подробно рассмотреть и изучить вопрос определения изменения напряженного состояния массива горных пород, в котором установлен сплошной фотоупругий датчик, по изменению радиуса концентрических окружностей определенного порядка.

Для проведения эксперимента была использована лабораторная установка, моделирующая плоское напряженное состояние образца горной породы.

Фотоупругие датчики устанавливались в скважины глубиной 120 мм и диаметров 40мм. Зазоры между сплошным фотоупругим датчиком и стенками скважины был заполнен цементным раствором для соблюдения условий взаимодействия «полное проскальзывание».

Образцы из песчано-цементной смеси с установленными сплошными фотоупругими датчиками располагались между инденторами прессы, оптический сигнал от гелий-неонового лазера направлялся на датчик, отражался от передней и задней стенок, после чего свет образовывал интерференционную картину. С увеличением нагрузки на образец фиксировалось изменение интерференционной картины с помощью цифровой видеокамеры и визуально.



Важным результатом эксперимента является подтверждение теоретического вывода о том, что в условиях взаимодействия датчика со стенками скважины «полное проскальзывание», интерференционная картина, полученная от датчика, имеет вид концентрических окружностей.

Рис.1. Интерференционная картина от сплошного фотоупругого датчика в условиях «полное проскальзывание»

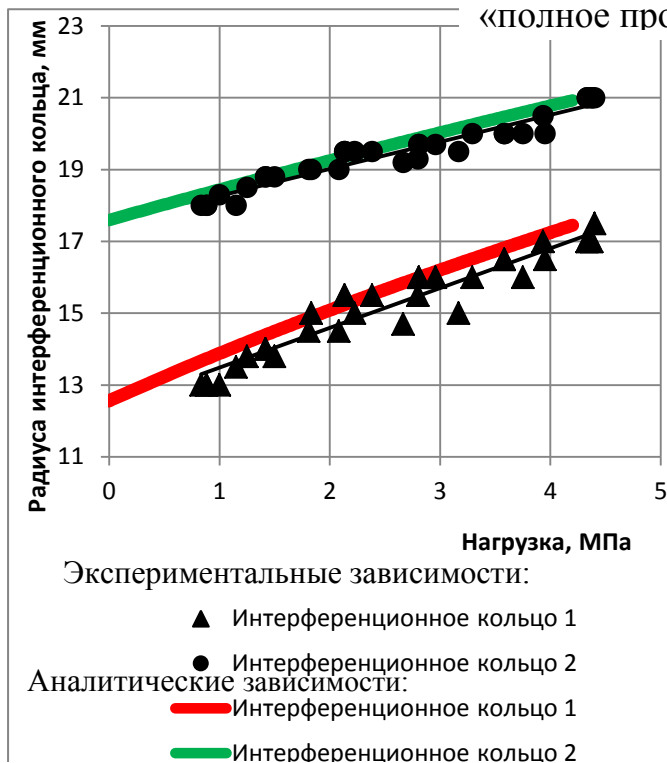


Рис.2. Зависимость радиуса интерференционных колец от нагрузки в условиях «полное проскальзывание»

В ходе эксперимента нагрузка на образец изменялась до 4,5 МПа, при этом фиксировался радиус ближайшего к центру интерференционного кольца, а также второго от центра кольца. Полученные данные и теоретические зависимости приведены на рис. 2.

Уточнение аналитической зависимости радиуса интерференционных колец от нагрузки, приложенной к сплошному фотоупругому датчику, позволяет использовать сплошные фотоупругие датчики в устройстве автоматического контроля напряженного состояния на любой шахте или руднике,

зная только механические параметры горных пород, в которых устанавливаются датчики.

Список литературы

1. Гуменный, А.С. Зависимость параметров интерференционной картины сплошного фотоупругого датчика от механических напряжений / В.В. Дырдин, Т.И. Янина / Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности – 2011. – № 2. – С. 69-72
2. Гуменный, А.С. Оценка напряжений в краевых зонах массива горных пород с помощью сплошного фотоупругого датчика / В.В. Дырдин, Т.И. Янина / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №11. – С. 103-107.