Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXI, вып. 1, 1972

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПИ

Ю. С. Обручев, Г. Г. Мирзаев, Г. А. Ашимов

На кафедре строительства горных предприятий ЛГИ разработаны методика измерения напряжений, приборы и аппаратура, которые отличаются простотой, надежностью и достаточной точностью. В основу методики положено предположение, что если в скважину, пройденную в горном массиве, поместить датчик, обеспечив ему достаточно хороший контакт со стенками скважины, то в результате перемещения стенок скважины под действием нагрузки одновременно будут изменяться и показания датчика. Усилия, действующие на датчик, будут уменьшаться или увеличиваться в зависимости от нахождения массива пород под действием сжимающих или растягивающих напряжений.

В качестве теоретической основы такого предположения используются решения некоторых задач теории упругости, полученных Н. И. Мусхелишвили [1], А. Каутинго [2], Н. Хоста [3] и др. для упругой пластинки (среды) с круглым отверстием, в которое вставлена другая пластина (датчик), находящаяся в линейном поле напряжений. В этих условиях величина напряжений в среде и датчике зависит от условий контакта датчика со стенками скважины и от соотношения модулей упругости среды и материала датчика. Деформационная способность материала датчика обязательно должна быть ниже деформационной способности среды. Любой материал, удовлетворяющий этому условию, может быть использован для изготовления датчика. Так, например, для измерения напряжений в углисто-глинистых сланцах с модулем упругости $1{,}2 \cdot 10^6$ *кг/см*^{2} датчики изготовлялись нами из эпоксидной смолы, полимеризация которой производилась по специально подобранному режиму. В результате был получен материал с модулем упругости $0{,}2 \cdot 10^6$ *кг/см*^{2}. Датчик напряжений (рис. 1) состоит из трех одинаковых пластин с размерами $35 \times 26 \times 10$ *мм* (для скважины диаметром 40 *мм*), которые склеены между собой толстым слоем клея, приготовляемого также на основе эпоксидной смолы. На среднюю рабочую пластину наклеивают один, два или четыре фольговых датчика сопротивления в зависимости от условий эксперимента и задач исследования. Чтобы исключить влияние поперечных деформаций, тензодатчики наклеивают вдоль рабочей оси пластины, увеличивая таким образом чувствительность датчика.

Соотношение между напряжениями в массиве горных пород и в материале датчика во многом зависит от условий контакта датчика со стенками скважины. Поэтому величина предварительного распора

датчиков при их установке выбирается такой, чтобы при разгрузке массива оставался некоторый запас, обеспечивающий устойчивую работу датчика. Предварительный распор датчика в скважине создается специальными клиньями, изготовленными из эпоксидной смолы того же состава, что и сам датчик. Клинья удерживаются на датчике при помощи тонкого резинового кольца (см. рис. 1, *а*).

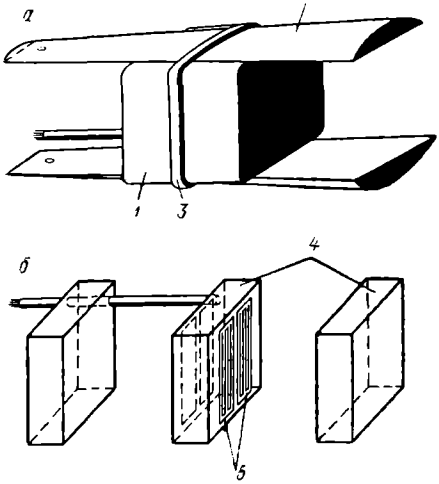


Рис. 1. Датчик напряжения: *а* — общий вид с клиньями; *б* — конструкция датчика
1 — датчик; *2* — клин; *3* — удерживающее резиновое кольцо; *4* — пластины; *5* — тензодатчики

Установка датчика в скважине осуществляется специальным досылочным устройством, позволяющим помещать датчики в скважине длиной 5 *м* и более. За счет упора клиньев в забой скважины или подтягивания их к устью скважины с помощью гибкой тяги, которая крепится к тонкому концу клина, производится расклинивание датчиков.

Величина предварительного распора датчика контролируется

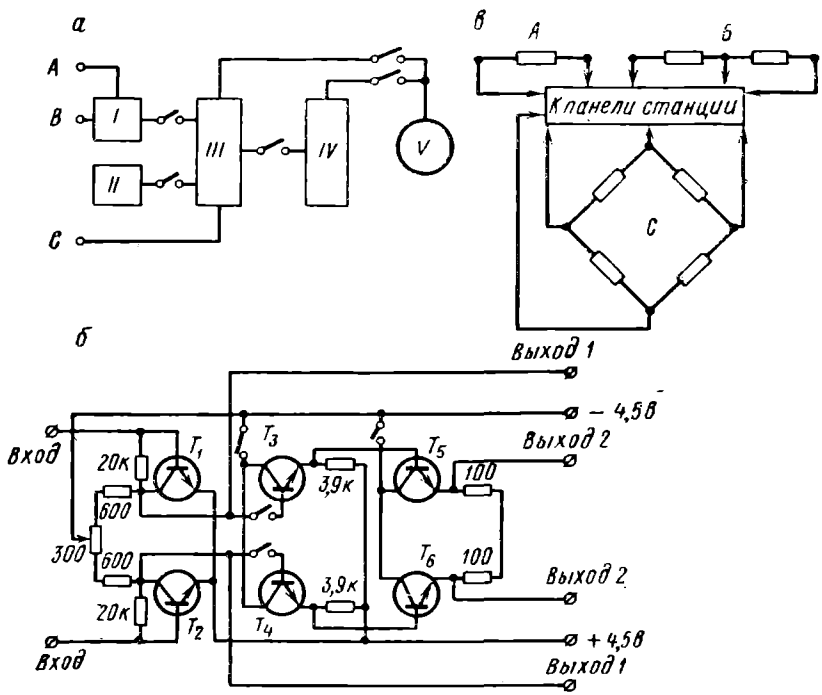


Рис. 2. Универсальная тензометрическая станция: *а* — блок-схема станции; *б*, *в* — схемы соответственно усилителя, подключения датчиков

в момент его установки измерительным прибором, которым осуществляются также все последующие замеры. Измерительный прибор представляет собой специально сконструированную малогабаритную тензометрическую станцию (рис. 2), собранную на полупроводниковых

триодах. Станция состоит из пяти основных частей: усилителей *III* и *IV*, контрольного *II* и измерительного *I* мостов и регистрирующего прибора V

Усилитель постоянного тока балансного типа (см. рис. 2, *б*) на маломощных полупроводниковых триодах $T_1 - T_6$ состоит из трех усилительных каскадов. Первый каскад с коэффициентом усиления около 200 обеспечивает высокую стабильность при измерениях статических нагрузок. Для наблюдений за изменением напряжений при динамических нагрузках в конструкции станции предусмотрены второй и третий каскады усиления, которые обеспечивают коэффициент усиления по мощности около 90 *дб* и выходной максимальный ток силой ~10 *ма*. Благодаря этому гарантируется устойчивая работа станции при использовании гальванометров осциллографов типа Н-102 и Н-105.

Станция рассчитана на работу по трем схемам (см. рис. 2, *в*): *А* — неполного моста при одном рабочем датчике; *В* — полумоста при двух рабочих датчиках; *С* — полного моста при четырех тензодатчиках. При работе станции по схеме полного моста измерительный мост не используется, а сигнал от датчиков подается на усилитель.

Конструкция станции позволяет настраиваться на требуемую чувствительность в широком диапазоне.

Чтобы установить зависимость между показаниями датчиков и напряжениями в исследуемой среде, датчики напряжений предварительно тарируются в специальном блоке из материала, упругие свойства которого совпадают с упругими свойствами среды, в которой производятся измерения.

Для изучения напряженного состояния в углисто-глинистых сланцах в условиях Текелийского рудника датчики напряжений тарировались в породном целике непосредственно в шахтных условиях. На стенке выработки размечался целик размером 800×800 *мм*, в центре его, в специальной скважине на глубине 250 *мм*, помещались датчики, величина предварительного распора которых составляла 100 *кг/см*^{2}. Одновременно, для определения упругих постоянных целика пород, устанавливалось устройство для замера деформаций с помощью индикаторов часового типа. Затем бурильной машиной по шаблону разбуривались щели вокруг целика на глубину 400 *мм*. После их разделывания снимались показания датчиков напряжений, установленных под углом к вертикали 0, 45 и 90° По данным показаний датчиков определялась величина абсолютных напряжений, действующих в массиве до разделки щелей. Величина этих напряжений после обработки данных тарировки составляла 45—50 *кг/см*^{2}.

Далее нижняя щель заделывалась бетоном марки 300 и после схватывания бетона производилась тарировка датчиков напряжений. Нагрузка на целик осуществлялась с помощью гидравлических цилиндров, установленных в верхней щели. В гидроцилиндры насосом высокого давления нагнеталось масло. Нагрузка, определяемая по давлению масла в гидросистеме, пересчитывалась в напряжения.

Максимальные напряжения в целике с помощью давильной установки доводились до 50 *кг/см*^{2}, после чего в центральную скважину монтировался датчик напряжения и расклинивался с усилием до 100 *кг/см*^{2}. Затем нагрузка на целик понижалась и по разности показаний датчика до и после снижения нагрузки определялась величина напряжений, измеренная датчиком.

Для измерения напряжений в элементах блочной крепи датчики напряжений тарировались в бетонном блоке размером

200×200×200 *мм*, который изготовлялся из замеса, предназначенного для возведения крепи.

Для определения упругих свойств бетона на блок были наклеены тензодатчики. Тарировка производилась по приведенной методике с помощью гидравлического пресса, которым создавалась нагрузка более 5000 *кг*. Распор датчиков осуществлялся с усилием 60 *кг/см*^{2}. Модуль упругости бетона по показаниям тензодатчиков составлял $0{,}24 \cdot 10$ *кг/см*^{2}, причем по данным тарировки разность между напряжениями, действующими в бетонном блоке, и напряжениями, измеренными датчиками, не превышала 1%.

Как показали исследования, нет необходимости тарировать в тарировочном блоке или породном целике каждый датчик. Обычно партия датчиков изготовляется одновременно, поэтому их геометрические размеры и технология выполнения идентичны. Как показали испытания, разница в показаниях датчиков не превышает 1—2%, и тарировке в блоке или целике подвергается только часть датчиков, а остальные вместе с клиньями тарируются на прессе. Тарировочные графики имеют линейную зависимость, что упрощает расчеты и повышает точность измерений.

Таким образом, с помощью датчиков напряжений по предлагаемой методике исследований можно достаточно точно производить измерения в каждом конкретном случае. Методика исследований позволяет: 1) устанавливать границы зон повышенных и пониженных напряжений и характер их развития во времени в глубине массива и вокруг выработки; 2) по данным измерений в нескольких направлениях определять направление и величину главных напряжений на стенках выработки методом разгрузки; 3) определять время, необходимое для восстановления равновесия в породах, нарушенных проведением выработки; 4) измерять величину напряжений в элементах бетонных и железобетонных крепей во время их работы в шахтных условиях; 5) использовать датчики напряжений и измерительные приборы при определении механических свойств горных пород в массиве, а также при исследованиях динамических явлений в окружающем горную выработку породном массиве.

ЛИТЕРАТУРА

Мусхелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. АН СССР, 1949.

2. Coutingo A. Internat. Assoc. for Bridge and Structure Engineering. Publ. 1949.

3. Hast N. Sver. geol. undersökn., Ser. C. 1958, № 3.

4. Мирзаев Г Г Кораблев Г А. Методика изучения напряженного состояния в массиве горных пород и в конструкциях. В сб.: «Материалы к симпозиуму „Экспериментальные исследования инженерных сооружений"», вып. 2. Л., 1965.