

УДК 622.831.3, 622.817.45

д.т.н. Бабиюк Г. В.
(ГУИТ, г. Киев, Украина),
к.т.н. Смекалин Е. С.,
Пунтус В. Ф.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, puntusvf@mail.ru)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДАТЧИКА, ЗОНДА И МЕТОДИКИ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНОЙ ИНТРОСКОПИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Статья посвящена лабораторным исследованиям электроемкостного метода определения неоднородности массива горных пород. Экспериментально установлены основные факторы, влияющие на показания прибора, и выявлены конструктивные недостатки зонда, снижающие точность измерений. Разработана новая конструкция электроемкостного датчика и зонда интроскопа, а также предложена и апробирована оригинальная методика измерений трещинной пустотности горных пород вокруг выработок.

Ключевые слова: массив горных пород, выработка, шпур, электроемкостный каротаж, трещинная пустотность, интроскоп, измерительный зонд, датчик, диаметр шпура.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Состояние выработок угольных шахт зависит от ряда природных и технологических факторов. Для обеспечения устойчивости выработок необходимо непрерывно контролировать состояние вмещающего их породного массива. Это особенно актуально при креплении выработок анкерами, так как протекающие геомеханические процессы скрыты от наблюдателя. Для контроля обычно используют различные скважинные методы [1]. Среди них следует выделить метод электроемкостного каротажа шпуров, разработанный в ДГМИ [2]. Метод основан на измерении частоты тока, вырабатываемого автогенератором при изменении емкости конденсаторного датчика, которая, в свою очередь, зависит от диэлектрической проницаемости слагающих массив пород. При этом экстремальные значения показаний прибора в зависимости от типа заполнителя трещины соответствуют ее положению посередине датчика, а величина пика характеризует ее раскрытие.

Для обработки натуральных измерений авторами метода предложена зависимость относительного раскрытия трещины от показаний интроскопа [3]

$$P_n = \sum \delta / 2l_3 = (A_m - A_n) / (A_m - A_3), \quad (1)$$

где P_n — относительный показатель нарушенности породного массива; $\sum \delta$ — суммарное раскрытие трещин в интервале измерения, мм; $2l_3$ — эффективная длина датчика, мм; A_m, A_n, A_3 — показания прибора соответственно на ненарушенных участках массива, в шпуре и в заполнителе трещины, кГц.

Использование метода на практике показало, что однозначно интерпретировать данные измерений весьма сложно, так как на показания прибора, кроме раскрытия трещин, существенное влияние оказывают диаметр измерительного шпура и смещение оси зонда по отношению к оси шпура.

По результатам физического моделирования авторами метода было получено уравнение регрессии [4], учитывающее влияние на показания прибора данных факторов, а для устранения эксцентриситета в измерительном зонде предусмотрены центрирующие элементы в виде стальных проволок. Однако из-за жесткости всей конструкции зонда гибкие проволоки не устраняют эксцентриситет, образующийся в результате поперечных подвижек слоистых пород, а зависимость не учитывает изменчивость диаметра шпура.

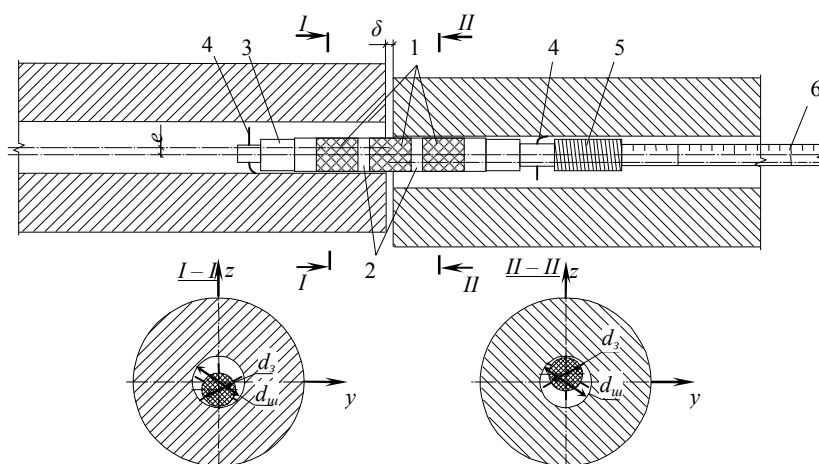
В связи с этим **целью** настоящей работы являлось экспериментальное исследование влияния различных факторов на результаты определения параметров трещиноватости горных пород электроемкостным методом и совершенствование приборно-методического обеспечения для повышения достоверности измерений.

Объект исследования — метод электроемкостной интроскопии массива горных пород вокруг подготовительных выработок.

Предмет исследования — зависимости, позволяющие учесть влияние на показания интроскопа его конструктивных особенностей, параметров трещиноватости породного массива, диаметра измерительного шпура и положения зонда в шпуре.

Методика исследований. Исследования проводились в лабораторных условиях на стенде, представляющем собой цилиндрический фрагмент массива, по оси которого размещался шпур с измерительным зондом прибора (рис. 1). Посередине шпура располагалась изучаемая неоднородность в виде контакта двух сред или одиночной трещины (либо их системы). В качестве сред выбраны: воздух, для которого диэлектрическая проницаемость равна $\epsilon_r=1$; сухой кварцевый песок ($\epsilon_r=4,69-5,06$); щебень, имитирующий сильно нарушенный массив с ко-

эффициентом разрыхления $k_p=1,65$, из дробленого аргиллита; модельный материал с процентным соотношением компонентов Г:Ц:ГП:П:В=25,3 %:11,56 %:36,94 %:14,64 %:11,56 % (по весу). Материал воспроизводил однородный ненарушенный массив. Он был изготовлен из дробленой горелой породы (ГП), скрепленной комбинированным водным (В) вяжущим на основе гипса (Г) и цемента (Ц), с добавлением кварцевого песка (П), что обусловлено стремлением увеличить значение диэлектрической проницаемости среды до значения $\epsilon_r=8-12$, характерного для однородной поликристаллической горной породы. Частота сигнала A в моделях после полного высыхания материала измерялась электроемкостным преобразователем, в состав которого входит зонд и измерительный блок в виде цифрового частотомера с диапазоном измерения частоты от 0,1 до 9999,9 кГц. Зонд состоит из электроемкостного датчика и устройства, посредством которого осуществлялось его перемещение вдоль оси шпура. Датчик представляет собой накладной электрический конденсатор в виде трех металлических колец, расположенных соосно и включенных в колебательный контур измерительного автогенератора гармонических (синусоидальных) колебаний.



1 — электроды преобразователя; 2 — диэлектрик; 3 — корпус датчика; 4 — центрирующие элементы; 5 — резьбовое соединение; 6 — досылочное устройство

Рисунок 1 Существующая конструкция зонда и схема стенда для исследования метода электроемкостной интроскопии породного массива

Исследование влияющих факторов.

Результаты исследования факторов, влияющих на показания прибора, детально рассмотрены в работе [5]. Здесь же приведены лишь те моменты, которые необходимы для понимания сути данной статьи.

Наиболее характерным типом неоднородности в породном массиве является плоскость контакта двух сред с различными физическими свойствами. Она соответствует напластованию в слоистом породном массиве, границе раздела разрушенных и монолитных пород, контакту породы с воздухом в трещине.

Результаты измерений на стенде (рис. 1), одна половина которого заполнена модельным материалом, а другая — либо воздухом, либо сухим песком, либо дробленой породой, при нулевом раскрытии трещины и без эксцентриситета, показаны на рисунке 2. Анализ рисунка позволяет отметить, что, несмотря на существенное отличие диэлектрических свойств контактирующих сред, графики имеют подобный вид и представлены двумя горизонтальными прямыми, плавно сопрягающимися кривой, вогнутость которой переходит в выпуклость в месте пересечения плоскости контакта, где график имеет максимальный угол наклона к горизонтали.

Авторы метода для аппроксимации такого графика предложили использовать выражение гиперболического тангенса [3], расстояние между асимптотами которого равно разности показаний прибора в контактируемых средах. Из рисунка 2 обоснован геометрический смысл эффективной длины $2l_3$ датчика, которая является протяженностью зоны чувствительности преобразователя, причем она не обязательно совпадает с его длиной. По мнению авторов [3], параметр l_3 полностью определяется конструктивными размерами датчика и является константой для данного прибора, подлежащей определению в ходе его тарировки. Однако при этом не учитывается, что электрическое поле датчика распространяется, прежде всего, в полости шпура, а затем уже в породе.

Если кольцевой зазор между зондом и стенками шпура остается неизменным, то есть $d_{ш}/d_3 = const$, то, независимо от диэлектрической проницаемости сред, величина эффективной длины $2l_3$ датчика остается постоянной, а угол наклона кривой к поверхности раздела изменяется в зависимости от свойств контактирующих сред. Чем больше разница показаний интроскопа в контактируемых средах, тем больше угол наклона касательной к горизонтали. При переменном диаметре шпура показания прибора зависят не только от диэлектрической проницаемости сред, но и от размеров его полости. Если диаметр шпура увеличивается, то с ростом кольцевого воздушного зазора абсолютная частота сигнала A при постоянстве диэлектрических свойств сред возрастает, причем эффективная длина $2l_3$ и разность показаний прибора в обеих средах уменьшаются.

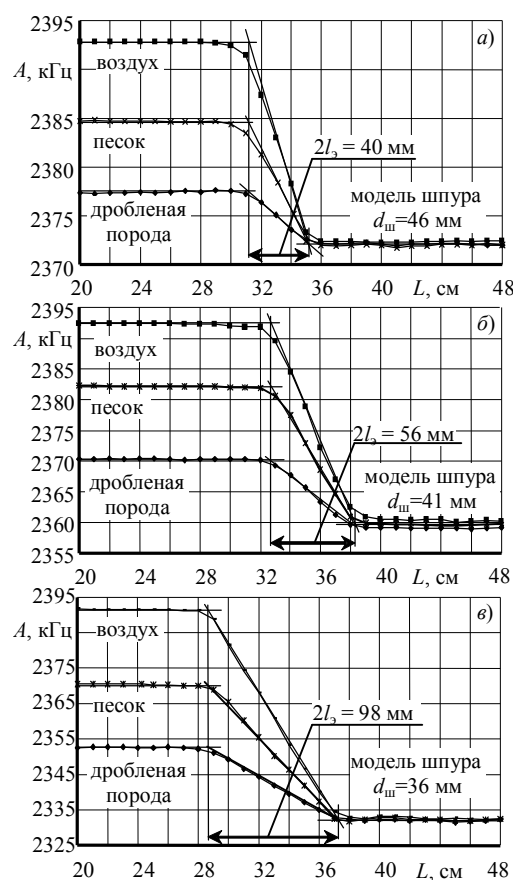


Рисунок 2 Эффективная длина датчика в различных средах при диаметрах шпура: а) $d_{ш} = 46$ мм; б) $d_{ш} = 41$ мм; в) $d_{ш} = 36$ мм

Данные положения подтверждаются экспериментальными зависимостями, представленными на рисунке 2, где демонстрируется практическое постоянство эффективной длины датчика в различных средах при $d_{ин}/d_3 = const$ и даны ее значения для разных диаметров шпуров. Зависимость половины эффективной длины от относительных размеров шпура аппроксимируется экспонентой с теоретическим корреляционным отношением $\eta = 0,99$

$$l_3 = 1,3 \cdot 10^3 \cdot \exp(-2,8 \cdot [d_{ин}/d_3]). \quad (2)$$

Анализ влияния диаметра шпура $d_{ин}$ на показания интроскопа позволяет отметить, что даже в однородной среде показания прибора представляют собой статистическую совокупность, обусловленную не столько вариацией диэлектрической проницаемости окружающей датчик среды, сколько изменением положения зонда в шпуре. При этом разброс показаний прибора объясняется смещением оси зонда относительно оси шпура из-за изгиба проволок.

С ростом диаметра шпура частота сигнала A увеличивается по нелинейной зависимости, которая описывается экспоненциальной функцией ($\eta = 0,96$)

$$A = A_6 - 4,4 \cdot 10^3 \cdot \exp(-0,12 \cdot d_{ин}). \quad (3)$$

Зависимость (3) асимптотически стремится к показанию прибора на воздухе A_6 , так как с ростом диаметра шпура увеличивается кольцевой воздушный зазор между зондом и его поверхностью. Чем меньше диаметр шпура, тем ближе датчик расположен к породе, которая имеет в несколько раз большее значение диэлектрической проницаемости, чем воздух, поэтому показания прибора с уменьшением диаметра шпура снижаются.

Влияние зазора между датчиком и стенками шпура на показания интроскопа достоверно описывается зависимостью прироста показаний прибора ΔA от относительного диаметра шпура $d_{ин}/d_3$ ($\eta = 0,99$)

$$\Delta A = 3,2 \cdot 10^3 \cdot \exp(-2,8 \cdot [d_{ин}/d_3]). \quad (4)$$

С увеличением зазора чувствительность прибора падает, так как при этом разность его показаний в массиве A_m и на воздухе A_6 уменьшается. Истинное показание интроскопа в массиве A_m соответствует случаю, когда зазор между зондом и стенкой шпура будет равен нулю, то есть при $d_{ин} = d_3$, а его предельное значение на воздухе достигается, если диаметр шпура многократно превышает размер электрического поля вокруг датчика.

В этой связи следует отметить, что устранить неопределенность в получении показания прибора на ненарушенных участках массива A_m можно за счет определения показания прибора с использованием зависимости (4) при $d_{ин} = d_3$. Кроме того, увеличить чувствительность датчика ΔA и снизить разброс показаний можно путем измерения прижатым к среде зондом, то есть при минимальной величине зазора, хотя бы с одной стороны.

Трещиноватый породный массив также собирался на стенде (рис. 1). Число трещин и расстояние между ними задавалось при сборке модели, а изменение раскрытия трещин осуществлялось за счет раздвижки отдельных её частей. Вначале изучали показания интроскопа в зоне действия одиночной трещины, раскрытие которой в ходе эксперимента изменялось от нуля до 10 мм через 1 мм, от 10 мм до 60 мм через 5 мм, а далее — через 10 мм.

В качестве примера на рисунке 3 приведены зависимости изменения показания интроскопа по длине шпура для одного и того же раскрытия трещины ($\delta = 20$ мм и $\delta = 60$ мм) при различных диаметрах шпура ($d_{ин} = 36$ мм и $d_{ин} = 46$ мм). Графики построены в координатах ΔA и x , где ΔA — приращение показаний прибора в зоне влияния трещины, а x — расстояние от середины трещины до места ее измерения.

Кривые на рисунке 3 имеют куполообразную форму, являющуюся результатом наложения зависимостей для двух смежных поверхностей раздела одной и той же трещины. Максимальная частота сигнала

прибора приурочена к середине трещины, причем по мере роста ее раскрытия увеличиваются как ширина зоны влияния трещины, так и амплитуда возмущения. С ростом диаметра шпура величина показаний прибора вне зоны влияния трещины несколько увеличивается, а амплитуда возмущения за счет влияния трещины уменьшается. Чем больше раскрытие трещины, тем ближе показания прибора к частоте сигнала на воздухе.

Из рисунка 3 также следует, что раскрытие трещины δ и диаметр шпура $d_{ш}$ являются взаимовлияющими факторами, причем больший прирост частоты сигнала в трещине с одним и тем же раскрытием имеет место при меньшем диаметре шпура. С ростом величины раскрытия трещины максимальное показание прибора посередине трещины и ширина зоны ее влияния увеличиваются, что предполагает рост частоты сигнала в заполнителе трещины A_3 , тогда как в выражении (1) значение частоты A_3 принимается авторами метода постоянным и равным показанию прибора либо на воздухе, либо в воде. Независимо от диаметра шпура, относительные показания интроскопа $\tilde{A} = (A_m - A_1) / (A_e - A_1)$, где A_m и A_1 — показания прибора, когда датчик установлен соответственно по центру трещины и вне зоны её влияния, могут быть представлены экспонентой ($\eta = 0,98$)

$$\tilde{A} = 1 - \exp(-0,7 \cdot \delta / l_3). \quad (5)$$

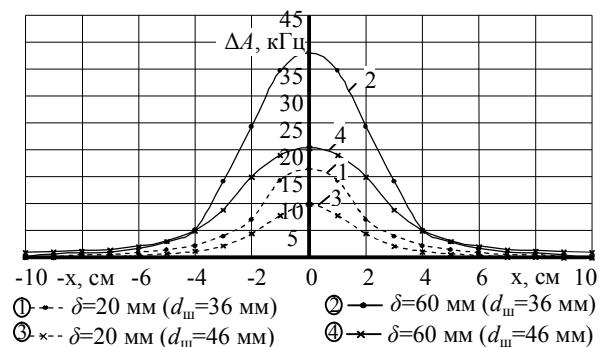


Рисунок 3 Изменение показаний прибора вблизи трещины при различных диаметрах шпура

В реальных условиях одним из факторов, существенно влияющих на показания интроскопа, является уступ на поверхности шпура, образующийся в результате перемещения разрушенных пород. Это приводит к изменению положения зонда относительно оси шпура и появлению эксцентриситета e между осями шпура и зонда.

Для изучения влияния этого фактора первоначально измерения проводили по длине шпура без эксцентриситета ($e = 0$) при различном раскрытии трещины δ , а затем создавали уступ между двумя частями модели на величину эксцентриситета. В шпуре диаметром $d_{ш} = 46$ мм эксцентриситету задавали значения $e = 8$ мм и $e = 4$ мм, а при $d_{ш} = 36$ мм — соответственно $e = 3$ мм и $e = 1,5$ мм. При этом с одной стороны зонда кольцевой зазор $(d_{ш} - d_3) / 2$ увеличивался до максимума, а с другой — уменьшался до нуля.

Анализ полученных ранее зависимостей [5] позволил отметить, что взаимовлияние двух факторов существенно изменяет картину распределения показаний прибора по длине шпура и усложняет ее расшифровку. Это связано, прежде всего, с разнонаправленностью влияния факторов.

С одной стороны рост раскрытия трещины ведет к увеличению доли воздуха в зоне действия электрического поля датчика и, как следствие, к увеличению прироста показаний прибора. Их максимум соответствует случаю, когда центр датчика совпадает с серединой раскрытия трещины. С другой стороны, увеличение эксцентриситета ведет к уменьшению зазора между поверхностью шпура и зондом, а следовательно к росту объема породы в зоне действия датчика. Поэтому в области влияния эксцентриситета показания прибора уменьшаются и образуются купола, направленные вниз, причем их максимум отвечает случаю, когда силовые линии поля датчика в большей степени пересекают породу, а в меньшей — воздух.

С ростом раскрытия трещины показания интроскопа увеличиваются по нели-

нейной зависимости. Наличие эксцентриситета в шпуре приводит даже к появлению отрицательной области, что очень затрудняет расшифровку результатов измерений с целью установления трещинной пустотности в ненарушенном массиве.

Таким образом, наличие трех взаимовлияющих факторов (диаметра шпура, раскрытия трещины и эксцентриситета) существенно усложняет картину распределения показаний интроскопа вдоль шпура, поэтому расшифровка ее с помощью методики [3], полученной на основании исследования влияния лишь одного фактора (раскрытия трещины), становится невозможной.

Разработка новой конструкции зонда.

Опыт практического использования метода и проведенные лабораторные исследования позволили выявить следующие его недостатки:

- малую достоверность измерений вследствие изменчивости характеристики чувствительности по длине датчика при измерении на длинной базе;

- нестабильность положения датчика относительно оси шпура в результате неравномерного износа направляющих о стенки шпура и изгиба проволок;

- ошибки измерений, возникающие в результате уменьшения диаметра шпура с развитием деформационных процессов в породном массиве во времени;

- жесткую конструкцию досылочного устройства, что затрудняет измерения при искривлении шпура.

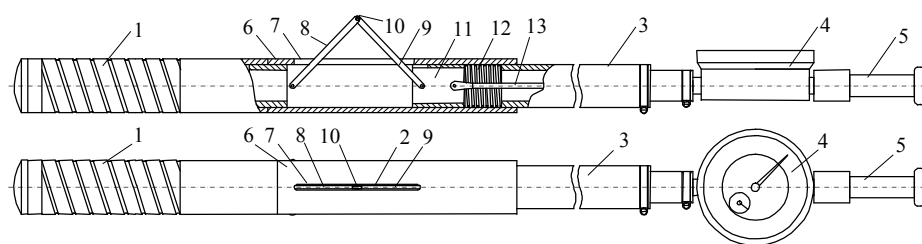
Для учета установленных закономерностей и устранения отмеченных недостат-

ков разработана новая конструкция зонда интроскопа [6], общий вид которой представлен на рисунке 4.

Зонд выполнен разборным. Он состоит из датчика, внутримера, штанг с нанесенной на них шкалой для определения местоположения датчика в шпуре и индикатора часового типа с рукояткой для втягивания щупа внутримера.

Датчик представляет собой трубу из диэлектрика, на поверхность которой спирально намотаны две медные полосы параллельно друг другу. Ширина полос составляет 10 мм, а зазор между ними — 2,5 мм. Поверхность датчика покрыта слоем изоляции. Медные полосы являются обкладками конденсатора и подсоединяются к генератору колебаний, располагаемому внутри герметичной трубы. Датчик является съёмным, что позволит при необходимости проводить замеры с различной разрешающей способностью. За счет такого исполнения обеспечивается более равномерное распределение электрического поля по длине датчика.

Сравнение характеристик обоих типов датчиков при измерениях на длинной базе приведено на рисунке 5. Так, уровень чувствительности A , выраженный как процентное отношение разницы показаний прибора на воздухе $A_в$ и в модели с одиночной трещиной $A_т$ к показателю прибора на воздухе $A_в$, у датчика в виде спирали имеет форму, более близкую к прямоугольной, что позволяет точнее определить положение трещины.



1 — датчик; 2 — внутример; 3 — штанги; 4 — индикатор часового типа; 5 — рукоятка; 6 — труба; 7 — прорезь; 8, 9 — рычаги; 10 — ролик; 11 — ползунок; 12 — пружина; 13 — тяга

Рисунок 4 Предлагаемая конструкция зонда интроскопа

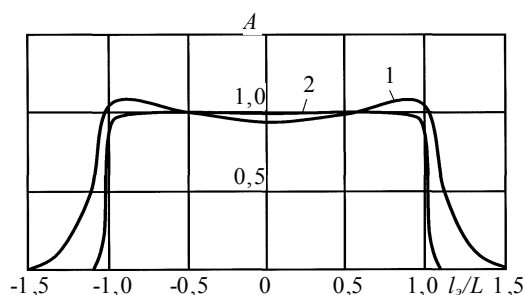


Рисунок 5 Чувствительности датчиков в виде кольца (1) и спирали (2) по их длине

Важной особенностью предложенной конструкции измерительного зонда является наличие внутримера, который состоит из трубы с прорезью, щупа в виде двух рычагов, ролика, ползунка, пружины и тяги, соединяемой с индикатором часового типа (рис. 4).

Принцип работы внутримера заключается в следующем. Ползунок под действием пружины перемещается в трубе, при этом рычаги сдвигаются, и щуп через прорезь выдвигается наружу до упора со стенкой шпура. Перемещение ползунка фиксируется при помощи индикатора часового типа.

Внутример выполняет двойную функцию. Кроме определения диаметра шпура, он обеспечивает также прижатие зонда к его внутренней поверхности. При этом электрическое поле в зоне более плотного контакта датчика с массивом глубже проникает в породы без искажений, создаваемых воздушным зазором. За счет этого устраняется влияние эксцентриситета, снижается влияние диаметра шпура на показания интроскопа и повышается его чувствительность.

Для определения состояния породного массива прибором усовершенствованной конструкции зонд необходимо перемещать по шпуру с шагом не более эффективной длины датчика l_s , при этом фиксации подлежат не только показания интроскопа и глубина расположения зонда относительно контура выработки, но и диаметр шпура, определяемый с помощью внутримера. Для облегчения перемещения зонда в шпуре усилие бокового прижатия снима-

ется путем натяжения пружины через тягу и индикатор часового типа при помощи рукоятки. После перемещения зонда на необходимую глубину рукоятка отпускается, и датчик снова прижимается к поверхности шпура.

Измерение диаметра шпура. Щуп внутримера представляет собой два рычага, соединенных шарнирно, которые образуют равнобедренный треугольник, высота которого зависит от диаметра шпура и трубы. Высота равнобедренного треугольника делит его на два прямоугольных треугольника. При этом длина b одного из катетов треугольника равна медиане, длина второго — половине основания $a/2$ равнобедренного треугольника, а гипотенуза — длине рычага c щупа внутримера (рис. 6).

$$d_{ш} = \frac{d_{мп} + d_p}{2} + \sqrt{c^2 - \left(\frac{a_n + x}{2}\right)^2}, \quad (6)$$

где $d_{мп}$ — диаметр трубы внутримера, мм; d_p — диаметр ролика, мм; c — длина рычага, мм; x — изменение показаний индикатора часового типа; a_n — начальный размер основания треугольника, мм, который определяется по формуле

$$a_n = 2 \cdot \sqrt{c^2 - \left(d_{ш.мин} - \frac{d_{мп} + d_p}{2}\right)^2}, \quad (7)$$

где $d_{ш.мин}$ — минимальное значение диаметра шпура, задаваемое при помощи микрометра или набора колец различного диаметра.

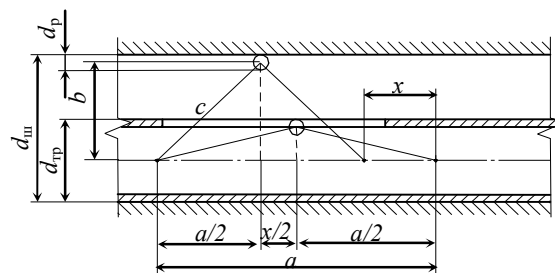


Рисунок 6 Расчетная схема для определения диаметра шпура

Исходя из типоразмеров применяемого на шахтах бурового оборудования, размеры деталей датчика приняты следующими: $d_{mp}=32$ мм; $d_p=6$ мм; $c=55$ мм, что позволяет измерять диаметр шпура от 32 до 74 мм. Максимальный диаметр принят с некоторым запасом, что обусловлено разбуhrиванием устья шпура в мягких породах.

Для тарировки внутримера под различные диаметры буровых коронок были построены зависимости диаметра шпура $d_{ш}$ от показаний индикатора часового типа x , которые представлены на рисунке 7 для различных минимальных значений диаметра шпура $d_{ш.min}$.

Проверка работоспособности усовершенствованной конструкции прибора. Целью исследований являлась проверка работоспособности усовершенствованной конструкции прибора и разработка новой методики измерений для определения эффективной длины, получение зависимостей показаний интроскопа от величины раскрытия трещины с учетом диаметра шпура и от расположения трещины относительно середины датчика.

Измерения проводились на тех же моделях, что и в предыдущем случае, но с той лишь разницей, что датчик зонда прижимался к поверхности шпура. При этом фиксировались показания датчика и индикатора часового типа для определения диаметра шпура в месте замера. Шаг передвижки зонда был принят равным одному сантиметру по длине шпура от внешнего контура модели. Ввиду того, что положение датчика интроскопа и шпура внутримера конструктивно разнесено по длине шпура, при обработке замеров эти показания приводились к единой точке. Кроме того, при проверке однородности показаний прибора для наглядности представления влияния раскрытия трещины на показания интроскопа за начало координат была принята ее середина.

Так как эффективная длина датчика не зависит от неоднородности среды, то исследования проведены для границы раздела

двух сред: воздуха и модели шпура. Показания интроскопа для шпуров диаметром 36, 41 и 46 мм приведены на рисунке 8.

Из рисунка следует, что величина эффективной длины датчика для этих диаметров соответственно равна 62 и 61 мм. Если соотнести их разность с конструктивным размером датчика, равным 50 мм, то отличие составляет менее 2 %, что находится в пределах погрешности измерений. Данный факт обусловлен тем, что измерения проводятся с прижатым к стенке шпура датчиком, поэтому влияние воздушного зазора на эффективную длину датчика снижается и она становится практически постоянной.

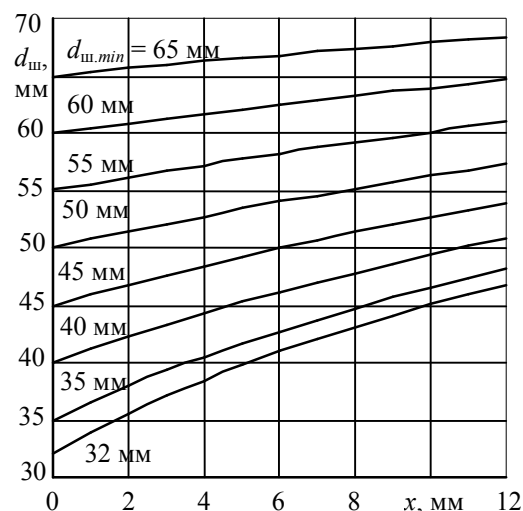


Рисунок 7 Тарировочные зависимости для определения диаметра шпура $d_{ш}$

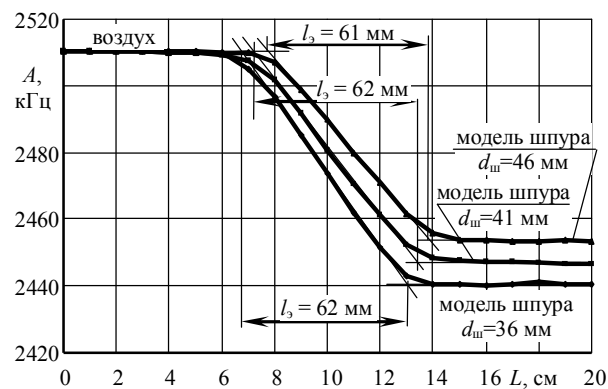


Рисунок 8 Средние показания интроскопа в различных средах

Влияние диаметра шпура на показания интроскопа изучалось на модели сплошной среды с цилиндрическим отверстием переменного диаметра. На рисунке 9 сопоставлены средние показания частоты колебаний электроемкостного датчика по длине модели массива со шпуром диаметром 41 мм и изменениями диаметра шпура по его длине, измеренными внутриметром. Диаметр 41 мм является его минимальным значением. Отклонения в большую сторону являются результатом работы ручного бурового инструмента.

Качественная схожесть графиков на рисунке 9 свидетельствует о наличии взаимосвязи между этими параметрами. Для подтверждения данного предположения были проведены дополнительные опыты и построено поле корреляции показаний интроскопа и диаметра шпура для модели однородного массива (рис. 10), которое достаточно точно описывается линейной зависимостью.

У новой конструкции датчика несколько изменилась форма кривых, демонстрирующих распределение частоты колебаний датчика вблизи трещины различной величины δ . В качестве примера на рисунке 11 приведены результаты измерений для модели шпура диаметром 41 мм с трещинами различного раскрытия δ , которое изменялось от 0 до 50 мм с шагом 5 мм.

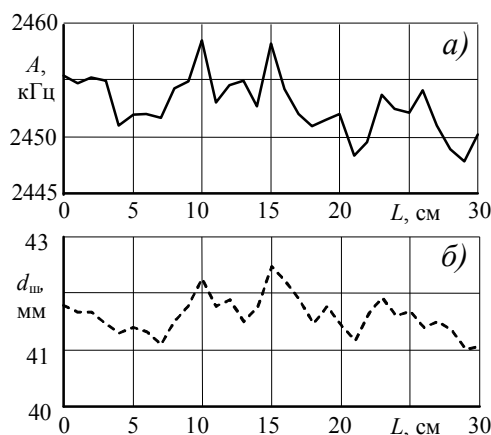


Рисунок 9 Распределение частоты колебаний электроемкостного датчика (а) и диаметра шпура (б) по его длине

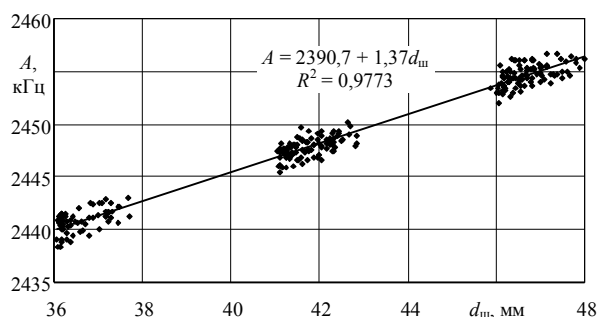


Рисунок 10 Зависимость частоты колебаний A электроемкостного датчика от диаметра шпура $d_{шп}$

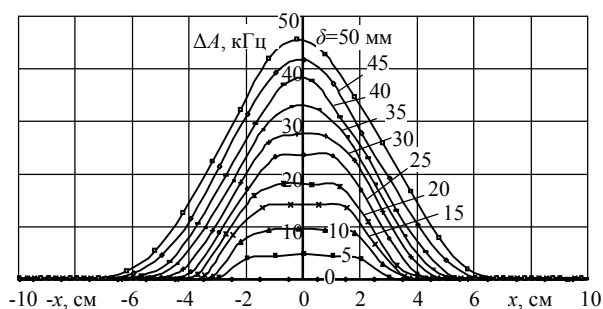


Рисунок 11 Изменения показаний интроскопа в модели шпура диаметром 41 мм с различным раскрытием трещины δ

Полученные результаты свидетельствуют о более равномерной чувствительности датчика по его длине, что видно из практически горизонтальных площадок в верхней части графиков для трещин с небольшим раскрытием.

На основании этого можно сделать вывод, что у новой конструкции датчика точность замеров повышается. При этом исключается необходимость точного позиционирования центра измерительного зонда относительно трещины, так как достаточно, чтобы трещина находилась в пределах рабочей зоны датчика. Это значительно упрощает интерпретацию результатов замеров в натуральных условиях.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. В результате исследований выявлены существенные недостатки базового метода

электроемкостного каротажа шпуров, которые приводят к снижению достоверности результатов измерений.

2. Предложена новая конструкция электроемкостного датчика в виде двух спирально намотанных медных полос, что позволяет повысить точность измерений за счет более равномерного распределения электрического поля по длине датчика.

3. Разработана новая конструкция зонда интроскопа с внутримером, что также повышает точность измерений за счет учета величины диаметра шпура и устранения

влияния эксцентриситета путем прижатия датчика к породной стенке.

4. Получена эмпирическая зависимость, позволяющая учесть влияние на показания интроскопа изменения диаметра шпура по его длине и повысить за счет этого достоверность информации при определении нарушенности породного массива.

Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование методики контроля и проведение натурных наблюдений за состоянием породного массива вокруг горных выработок.

Библиографический список

1. Ямицкий, В. С. Контроль процессов горного производства [Текст] / В. С. Ямицкий. — М. : Недра, 1989. — 446 с.

2. А. с. 1794253 СССР, МКИ G01V 3/18. Способ определения неоднородностей массива горных пород [Текст] / Г. Г. Литвинский, В. А. Касьянов ; Коммунарский горно-металлургический институт. — № 4790255/25 ; заявл. 08.02.90 ; опубл. 07.02.93, Бюл. № 5.

3. Литвинский, Г. Г. Измерение структурных неоднородностей массива при сооружении выработок [Текст] / Г. Г. Литвинский, В. А. Касьянов // Технология, механизация и организация строительства горных выработок. — Кемерово : КПИ, 1988. — С. 100–107.

4. Касьянов, В. А. Исследование и разработка электроемкостного метода измерения трещиноватости пород вокруг горной выработки [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.15.02; 05.15.11 / В. А. Касьянов. — ДГМИ : Алчевск, 1997. — 166 с.

5. Бабиюк, Г. В. Исследование, совершенствование и использование электроемкостного метода для оценивания проявлений горного давления вокруг выработок [Текст] / Г. В. Бабиюк, В. Ф. Пунтус, М. А. Диденко // Проблеми гірського тиску : збірник наукових праць. — Донецьк : ДонНТУ, 2012. — Вип. № 1 (20)–2 (21). — С. 10–57.

6. Пат. № 57376 Україна, МПК (2011.01) G01V 3/18. Електроємнісний інтроскоп для масиву гірських порід [Текст] / М. О. Діденко, Г. В. Бабіюк, В. Ф. Пунтус. — № U2010 09387 ; заявл. 26.07.10 ; опубл. 25.02.11, Бюл. № 4.

© Бабиюк Г. В.

© Смекалин Е. С.

© Пунтус В. Ф.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СГ ДонГТИ Литвинским Г. Г., гл. инженером ГУП ЛНР «ЛНИПКИУГЛЕОБОГАЩЕНИЕ» Голодных Е. Е.

Статья поступила в редакцию 16.03.2021.

Doctor of Technical Sciences Babiuk G. V. (SUIT, Kiev, Ukraine), PhD in Engineering Smekalin E. S., Puntus V. F. (DonSTI, Alchevsk, LPR, puntusvf@mail.ru)

IMPROVEMENT OF STRAINMETER, PROBE AND METHOD OF ELECTROCAPACITY INTROSCOPY OF ROCKS

The article is devoted to laboratory studies of the electrocapacity method for determining the heterogeneity of rock mass. The main factors influencing the instrument readings have been experimentally determined and the design defects of the probe have been revealed, reducing the accuracy of

measurements. A new design of the electrocapacity strainmeter and the introscope probe has been developed, and an original method for measuring the joint hollowness of rocks around workings has been proposed and tested.

Key words: *rock mass, workings, drill hole, electrocapacity coring, joint hollowness, introscope, measuring probe, strainmeter, drill hole diameter.*