

*д.т.н. Бабиюк Г.В.,  
Пунтус В.Ф.,  
к.т.н. Диденко М.А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОЕМКОСТНОЙ ИНТРОСКОПИИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

*На основі лабораторних досліджень електроємнісного методу визначення неоднорідностей в масиві гірських порід вдосконалені конструкція інтроскопу та методика шахтних досліджень тріщинної порожності порід.*

***Ключові слова:** електроємнісний метод, інтроскоп, гірські породи, тріщини, лабораторні дослідження, шпур, виробка.*

*На основе лабораторные исследований электроемкостного метода определения неоднородностей в массиве горных пород усовершенствованы конструкция интроскопа и методика шахтных исследований трещинной пустотности пород.*

***Ключевые слова:** электроемкостной метод, интроскоп, горные породы, трещины, лабораторные исследования, шпур, выработка.*

**Постановка проблемы.** Исследование внутренней структуры массива горных пород и протекающих вокруг выработок геомеханических процессов с помощью геофизических методов [1] играет огромную роль в вопросе устранения неопределенности при принятии решений по обеспечению надежности выработок. Подобные функции в различных отраслях реализуются с помощью систем контроля, разработка которых применительно к геомеханическим процессам не вышла на должный уровень. В связи с этим задача усовершенствования приборно-методического обеспечения для оценки состояния массива горных пород до сих пор является актуальной для подземного строительства.

**Анализ публикаций.** Среди геофизических методов хорошо зарекомендовал себя метод электроемкостного каротажа шпуров, разработанный в ДонГТУ [2]. В основе его лежит зависимость частоты тока, вырабатываемой измерительным автогенератором, от величины емкости конденсаторного датчика, которая, в свою очередь, определяется диэлектрической проницаемостью пород. При этом максимальное или минимальное значения показаний прибора в зависимости от типа запол-

нителя 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]:

$$P_n = \Sigma \delta / 2l_3 = (A_M - A_T) / (A_M - A_3), \quad (1)$$

где  $P_n$  – относительный показатель нарушенности породного массива;

$\Sigma \delta$  – суммарное раскрытие трещин в интервале измерения, мм;

$2l_3$  – эффективная длина датчика, мм;

$A_M, A_T, A_3$  – показания прибора соответственно на ненарушенных участках массива, в шпуре и в заполнителе трещины, кГц.

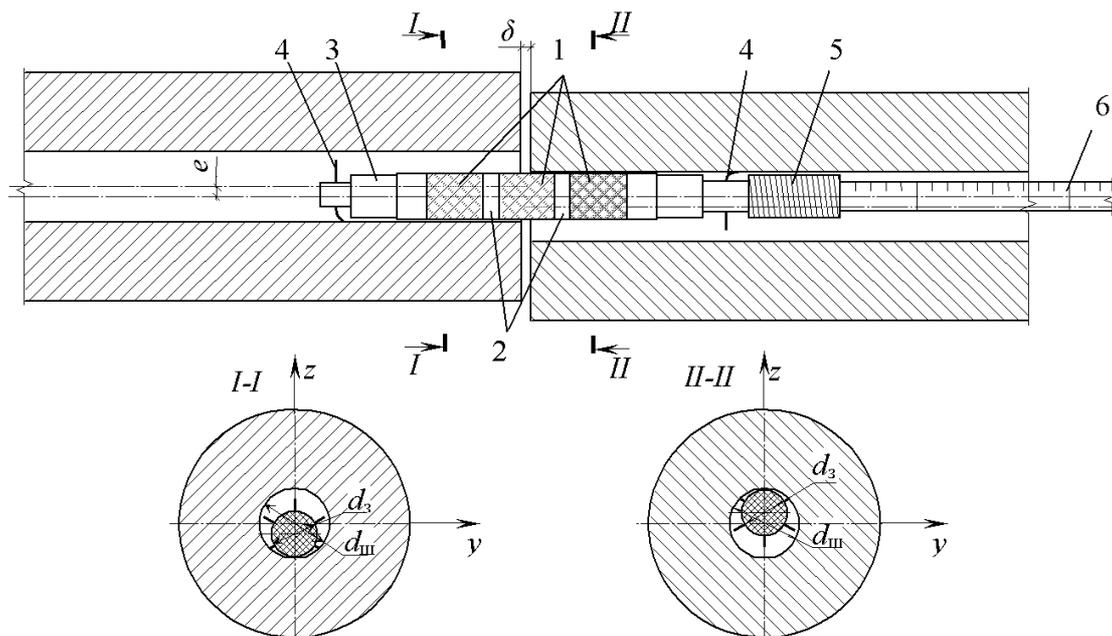
Как показали шахтные измерения величины, входящие в выражение (1), зачастую не являются постоянными. Более того, на показания прибора существенное влияние оказывают диаметр шпура, смещение оси зонда по отношению к оси шпура, образующееся в результате поперечных подвижек слоистых пород или деформации стабилизаторов положения зонда в шпуре, и другие факторы. Поэтому реальные показания интроскопа имеют явно выраженный случайный характер, а показатель неоднородности  $P_n$  является косвенной характеристикой, которую можно использовать только для качественной оценки нарушенности в месте опробования. Для повышения достоверности измерений электроемкостным методом и получения необходимой информации с минимальными затратами следует установить зависимость показаний прибора от основных влияющих факторов и на этой основе усовершенствовать приборно-методическое обеспечение.

**Формулирование цели.** Цель исследований заключалась в нахождении экспериментальных зависимостей, связывающих показания измерительного прибора (частоты сигнала) с тем или иным влияющим фактором, установлении значимости влияющих факторов, получении зависимости частоты сигнала от совокупного действия значимых факторов с использованием планирования эксперимента и разработке новой конструкции интроскопа.

**Методика исследований.** Лабораторные измерения проводились для оценивания статистической изменчивости показаний интроскопа в различных средах, регистрации показаний прибора вдоль шпура на границе контакта двух сред, изучения влияния диаметра шпура на показания интроскопа, исследования влияния параметров трещиноватости (раскрытия трещин, их числа, размеров межтрещинных целиков, ориентации трещин относительно оси шпура) на показания прибора, оценива-

ния влияния на результаты измерений эксцентриситета положения датчика и др.

Исследования проводились на стенде, приведенном на рис. 1 и представляющем собой цилиндрический фрагмент массива с размещенным по его оси шпуром (диаметром 36 мм; 41 мм и 46 мм), в который помещался зонд прибора. По середине шпура располагалась изучаемая неоднородность в виде контакта двух сред или одиночной трещины (либо их системы). В качестве сред выбраны: воздух, для которого



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

Рисунок 1 – Конструкция зонда и схема стенда для исследования показаний интроскопа при смещении оси зонда относительно оси шпура

диэлектрическая проницаемость известна и равна  $\epsilon_r = 1$ ; сухой кварцевый песок ( $\epsilon_r = 4,69 - 5,06$ ); щебень, имитирующий сильно нарушенный массив с коэффициентом разрыхления  $k_p = 1,65$  и изготовленный 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), воспроизводящий однородный ненарушенный массив и изготовленный из дробленой горелой породы (ГП), скрепленной комбинированным водным (В) вяжущим на основе гипса (Г) и цемента (Ц), с добавлением кварцевого песка (П). Выбор в качестве модельного материала такого сложного состава обусловлен стремлением увеличить зна-

чение диэлектрической проницаемости среды до значения  $\varepsilon_r = 8-12$ , характерного для однородной поликристаллической горной породы. Измерения частоты сигнала  $A$  в моделях производились после полного высыхания материала, процесс которого контролировался путем взвешивания образцов.

Электроемкостный преобразователь, с помощью которого реализуется указанный способ, состоит из перемещаемого по оси шпура зонда и измерительного блока в виде цифрового частотомера с диапазоном измерения частоты от 1 до 9999 кГц. Зонд состоит из электроемкостного датчика, представляющего собой накладной электрический конденсатор, и измерительного автогенератора гармонических (синусоидальных) колебаний. Электроемкостной датчик в авторском варианте [2] изготовлен из трех металлических колец, расположенных соосно и включенных в колебательный контур автогенератора. Сигнал от зонда по кабелю поступает на частотомер, который показывает изменение частоты измерительного автогенератора в зависимости от изменения электрической емкости датчика прибора, которая, в свою очередь, изменяется в зависимости от варьирования диэлектрической проницаемости окружающей датчик среды.

**Результаты исследования влияющих факторов.** Основным типом неоднородности в породном массиве является плоскость контакта двух сред с различными физическими свойствами. Результаты измерений для такой неоднородности на стенде (см. рис. 1), одна половина которого была заполнена модельным материалом, а другая – воздухом, сухим песком или дробленой породой, при раскрытии трещины  $\delta=0$  и эксцентриситете  $e = 0$ , представлены на рис. 2.

Анализ зависимостей позволяет отметить, что, несмотря на существенное отличие диэлектрических свойств контактируемых сред, графики имеют одинаковый вид. Авторы метода для аппроксимации такого графика предложили использовать выражение гиперболического тангенса [3], расстояние между асимптотами которого равно разности показаний прибора в контактируемых средах. Из подобного графика авторы метода [3] обосновали геометрический смысл эффективной длины датчика  $2l_3$ , которая, по их мнению, полностью предопределяется конструктивными размерами датчика и является его константой.

Однако при этом не учитывается, что электрическое поле датчика распространяется в пространстве, представленном, в первую очередь, полостью шпура, а затем уже контактирующими средами. Если кольцевой зазор между зондом и стенками шпура остается постоянным, т.е.  $d_{ш}/d_3=const$ , 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. При переменном диаметре шпура показания интроскопа зависят не только от диэлектрических свойств контактируемых сред, но и от размеров шпура. Если диаметр шпура увеличивается, то с ростом кольцевого воздушного зазора между зондом и поверхностью шпура абсолютная частота сигнала  $A$  при постоянстве диэлектрических свойств контактируемых сред возрастает, при этом эффективная длина датчика и разность показаний интроскопа в двух средах уменьшаются.



Рисунок 2 – Определение эффективной длины датчика по результатам тарировки интроскопа в различных средах при различных диаметрах шпура  $d_{ш} = 46$  мм (а) и  $d_{ш} = 36$  мм (б)

Данные теоретические положения подтверждаются экспериментальными зависимостями, представленными на рис. 2, где демонстрируется практическое постоянство эффективной длины датчика в различных средах при  $d_{ш}/d_3 = const$ , и приведены ее значения для различных диаметров шпуров. Нелинейная зависимость половины эффективной длины от относительных размеров шпура аппроксимируется экспонентой с теоретическим корреляционным отношением  $corr = 0,994$ :

$$l_3 = 1377,4 \cdot \exp(-2,807 d_{ш} / d_3). \quad (2)$$

Влияние диаметра шпура  $d_{ш}$  на показания интроскопа исследовалось на моделях однородного породного массива без трещин. Анализ результатов 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. В первую очередь разброс показаний прибора объясняется смещением оси зонда относительно оси шпура из-за неконтролируемого изгиба проволок 4 (см. рис. 1), предназначенных для фиксации положения дат-

чика. При этом вариация показаний возрастает с уменьшением диаметра шпура  $d_{ш}$ , так как в этом случае прогибы проволок достигают максимальной величины. Математическое ожидание частоты сигнала с ростом диаметра шпура увеличивается в связи с ростом кольцевого воздушного зазора между поверхностями шпура и зонда. Проверка выборок с помощью тестов Пирсона и Колмогорова показала, что случайная величина частоты сигнала при уровне значимости  $\alpha=0,05$  хорошо описывается нормальным законом распределения.

С ростом диаметра шпура частота сигнала  $A$  увеличивается по нелинейной зависимости, которая описывается экспоненциальной функцией ( $corr = 0,966$ ):

$$A = A_B - 4431 \cdot \exp(-0,119 d_{ш}). \quad (3)$$

Зависимость (3) асимптотически стремится к показанию прибора на воздухе  $A_B$ , 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 интроскопа с уменьшением диаметра шпура снижаются.

Влияние зазора между датчиком и стенкам шпура на показания интроскопа наглядно демонстрируется с помощью зависимости прироста показаний интроскопа  $\Delta A$  от относительного диаметра шпура  $d_{ш}/d_3$  ( $corr = 0,999$ ):

$$\Delta A = 3273,9 \cdot \exp(-2,807 d_{ш}/d_3). \quad (4)$$

С увеличением зазора чувствительность интроскопа снижается, так как при этом разность показаний прибора в массиве  $A_M$  и на воздухе  $A_B$  уменьшается. Истинное показание прибора в массиве  $A_M$  соответствует случаю, когда зазор между зондом и стенкой шпура будет равен нулю, т.е. при  $d_{ш}=d_3$ , а предельное показание прибора на воздухе достигается, если диаметр шпура многократно превышает размер электрического поля вокруг датчика.

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

Влияние трещинной пустотности на показания интроскопа также изучалось на моделях, изготовленных из материала на основе горелой породы. Трещины выполняли путем разрезания модели перпендикулярно к оси шпура на отдельные части различного размера. Трещиноватый породный массив собирался на стенде, число трещин и расстояние между ними задавалось при сборке, а изменение раскрытия трещин осуществлялось за счет раздвижки отдельных частей модели.

Вначале исследовались 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 рис. 3 приведены зависимости изменения показаний интроскопа по длине шпура для одного и того же раскрытия трещины ( $\delta=20$  мм и  $\delta=60$  мм) при различных диаметрах шпура ( $d_{ш}=36$  мм и  $d_{ш}=46$  мм). Графики построены в координатах  $\Delta A$  и  $x$ , где  $\Delta A$  – приращение показаний интроскопа в зоне влияния трещины, а  $x$  – расстояние от середины трещины до места ее измерения.

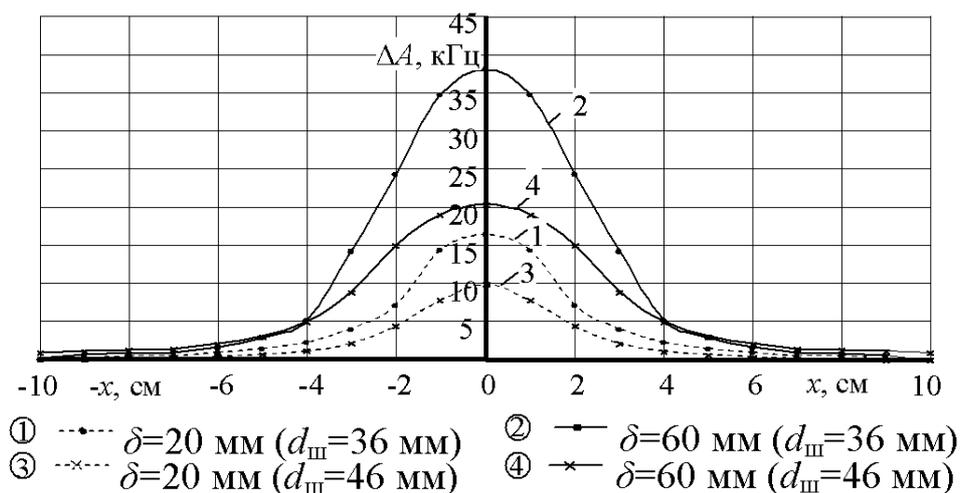


Рисунок 3 – Зависимость прироста показаний интроскопа по длине шпура для одного и того же раскрытия трещины при различных диаметрах шпура

На основании анализа полученных результатов можно отметить, что графики изменения показаний интроскопа вблизи одиночной трещины представляют собой куполообразные кривые, являющиеся 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 интроскопа

вне зоны влияния трещины несколько увеличивается, а амплитуда возмущения за счет влияния трещины уменьшается. Чем больше раскрытие трещины, тем ближе показания прибора приближаются к частоте сигнала на воздухе.

Из рис. 3 следует, что раскрытие трещины  $\delta$  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  $\tilde{A} = (A_T - A_1) / (A_B - A_1)$ , где  $A_T$  и  $A_1$  – показания прибора, когда датчик установлен соответственно по центру трещины и вне зоны её влияния, могут быть представлены экспонентой ( $corr = 0,989$ ):

$$\tilde{A} = 1 - \exp(-0,705 \delta l_3). \quad (5)$$

В реальных условиях одним из факторов, влияющих на показания интроскопа, является уступ на поверхности шпура, образующийся в результате перемещения разрушенных пород, что приводит к изменению положения зонда относительно оси шпура и появлению эксцентриситета  $e$  между осями шпура и зонда. Для изучения влияния этого фактора (см. рис. 1) вначале измерения проводили по длине шпура без эксцентриситета ( $e = 0$ ) при различном раскрытии трещины  $\delta$ , 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 вдоль оси  $z$  с одной стороны зонда кольцевой зазор  $(d_{ш} - d_3) / 2$  увеличивался до максимума, а с другой – уменьшался до нуля.

Анализ полученных результатов позволяет отметить, что взаимовлияние двух факторов существенно изменяет картину распределения показаний интроскопа 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 электромагнитного поля датчика и, как следствие, к увеличению прироста показаний интроскопа, максимум которого соответствует случаю, когда середина датчика совпадает с серединой раскрытия трещины. С другой стороны, при увеличении эксцентрисите-

та уменьшается зазор между поверхностью шпура и зондом, а, следовательно, растет объем породы в зоне действия датчика. Поэтому в области влияния эксцентриситета показания прибора уменьшаются и образуются купола, которые направлены вниз, причем их максимум соответствует случаю, когда силовые линии поля датчика в большей степени пересекают породу, а в меньшей – воздух.

Отмеченные закономерности наглядно демонстрируются на рис 4, С ростом раскрытия трещины показания интроскопа увеличиваются по нелинейной зависимости. Наличие эксцентриситета в шпуре приводит даже к появлению отрицательной области, что очень затрудняет расшифровку показаний интроскопа с целью установления трещинной пустотности массива.

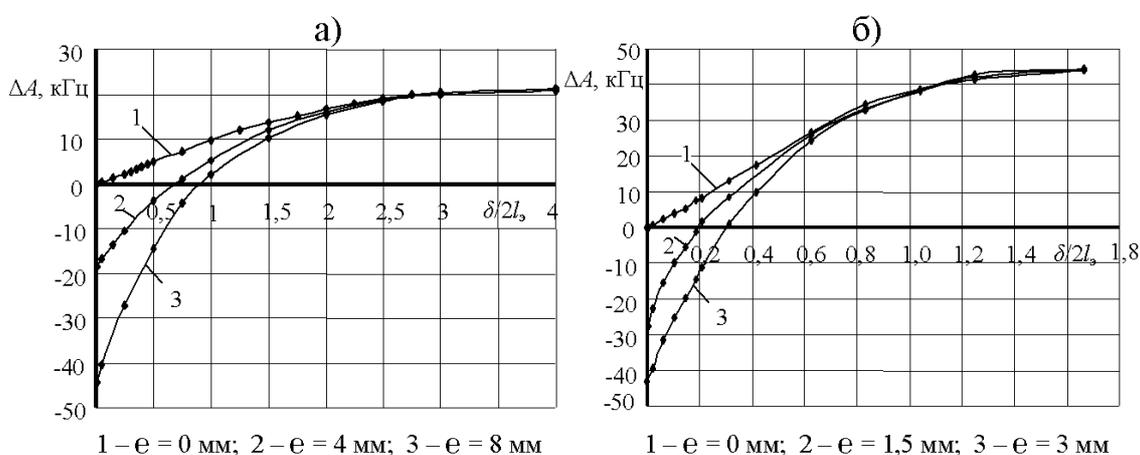


Рисунок 4 – Прирост показаний интроскопа по середине трещины в зависимости от её раскрытия при различных значениях эксцентриситета  $e$  в шпурах диаметром 46 мм (а) и 36 мм (б)

Таким образом, наличие трех взаимовлияющих факторов (диаметра шпура, раскрытия трещины и эксцентриситета) существенно усложняет картину распределения показаний интроскопа вдоль шпура, расшифровка которой с помощью методики [3], полученной на основании исследования влияния лишь одного фактора (раскрытия трещины), становится невозможной. Для решения отмеченной проблемы необходимо изменить конструкцию зонда и разработать новую методику замеров с целью стабилизации положения зонда в шпуре и усиления значимости трещинной пустотности в показаниях интроскопа.

**Регрессионная модель зависимости показаний интроскопа от влияющих факторов.** При устранении влияния эксцентриситета на показания прибора за счет изменения конструкции зонда основными влияющими факторами остаются диаметр шпура  $d_{ш}$  и раскрытие тре-

щины  $\delta$ . Для получения регрессионной зависимости изменения показаний интроскопа  $\Delta A$  (кГц) в зоне влияния трещины от этих влияющих факторов использованы математические методы планирования экстремального эксперимента [4], планы которого представляют систему опытов, содержащую возможные неповторяющиеся комбинации выбранных факторов на экстремальных уровнях их варьирования. Для описания нелинейного факторного пространства выбрана модель второго порядка, учитывающая взаимодействия двух факторов: диаметра шпура –  $x_1$  и раскрытия трещины –  $x_2$ . Уровни варьирования входных факторов, представляемых в соответствии с [4] в кодированном виде, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора и единицы измерения	Обозначение фактора	Уровни факторов			Интервал варьирования
		нижний -1	основной 0	верхний +1	
Диаметр шпура $d_{ш}$ , мм	$x_1$	36	41	46	5
Раскрытие трещины $\delta$ , мм	$x_2$	0	20	40	20

Для определения коэффициентов в уравнениях регрессии проведено шесть опытов и один дополнительный в центре плана, который служил для проверки модели на адекватность. План-матрица и результаты полного двухфакторного эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2 – План-матрица, среднее значение выходной величины  $\bar{y}_j$  и дисперсия воспроизводимости опытов  $S^2\{y_j\}$

№	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$\bar{y}_j$	$S^2\{y_j\}$
1	+1	+1	+1	+1	136,74	137,53	136,86	137,66	137,20	0,22
2	+1	-1	+1	-1	135,32	135,66	135,54	135,31	135,46	0,03
3	+1	-1	-1	+1	79,91	81,10	80,72	81,28	80,75	0,41
4	+1	+1	-1	-1	121,35	121,45	121,75	121,74	121,58	0,05
5	+1	0	-1	0	127,86	127,01	127,95	127,05	127,47	0,30
6	+1	+1	0	0	115,96	115,76	114,32	116,12	115,54	0,85

После вычисления коэффициентов, уравнение регрессии второго порядка имеет вид:

$$y = 125,88 + 10,64x_1 + 17,58x_2 - 9,77x_1x_2 - 9,05(x_1)^2 - 1,92(x_2)^2. \quad (6)$$

Проверка адекватности полученной модели экспериментальным данным производилась статистически по методике, изложенной в рабо-

те [4]. При этом производилась оценка однородности дисперсий выходной величины через коэффициент Кохрэна, значимости коэффициентов уравнения регрессии по критерию Стьюдента и проверка модели на адекватность по критерию Фишера. Проверка показала, что все значения коэффициентов в уравнении регрессии (6) – значимы, а модель – адекватна. Сравнение значения выходной величины в центре плана со свободным членом уравнения регрессии позволило определить ошибку сходимости  $\varepsilon$ , которая составила 1,66%.

**Разработка новой конструкции зонда для интроскопии породного массива.** Работа с интроскопом в шахтных условиях позволила выявить следующие недостатки метода [2]: невысокая достоверность измерений, так как конструкция датчика не обеспечивает линейной связи между диэлектрической проницаемостью пород и показателями прибора; нестабильность частоты колебаний от внешних факторов (в частности от температуры); узкий диапазон измерения частоты; изменчивость чувствительности датчика по его длине при измерении на длинной базе; большая потребляемая мощность прибора, что ограничивает продолжительность его работы; нестабильность положения датчика относительно оси шпура в результате неравномерного износа направляющих о стенки шпура; ошибка измерения в результате уменьшения диаметра шпура вследствие развития деформационных процессов в породном массиве во времени; жесткая конструкция досылочного устройства, что затрудняет измерения при искривлении шпура.

Для учета установленных закономерностей и устранения отмеченных недостатков разработана новая конструкция интроскопа [5], общий вид которого представлен на рис. 5.

Достоверность измерений предложенным интроскопом, прежде всего, повышена путем внесения изменений в электрическую схему интроскопа, а именно, путем замены автогенератора гармонических колебаний релаксационным генератором прямоугольных импульсов, собранном на одной интегральной микросхеме и имеющим линейную зависимость частоты от электрической емкости.

Все входящие в микросхему радиоэлементы выполнены на одном полупроводниковом кристалле при одних и тех же технологических параметрах производства, что обеспечивает более высокую стабильность частоты колебаний от внешних факторов по сравнению с автогенератором, собранном на дискретных элементах. Высокая температурная стабильность обеспечивается также за счет применения микросхемы, работающей в режиме микротокков, невызывающих нагрева микросхемы во время ее работы. Дополнительно для стабилизации частоты в схему интроскопа введен интегральный стабилизатор напряжения питания с коэффициентом стабилизации по напряжению  $K_u=2000$ .

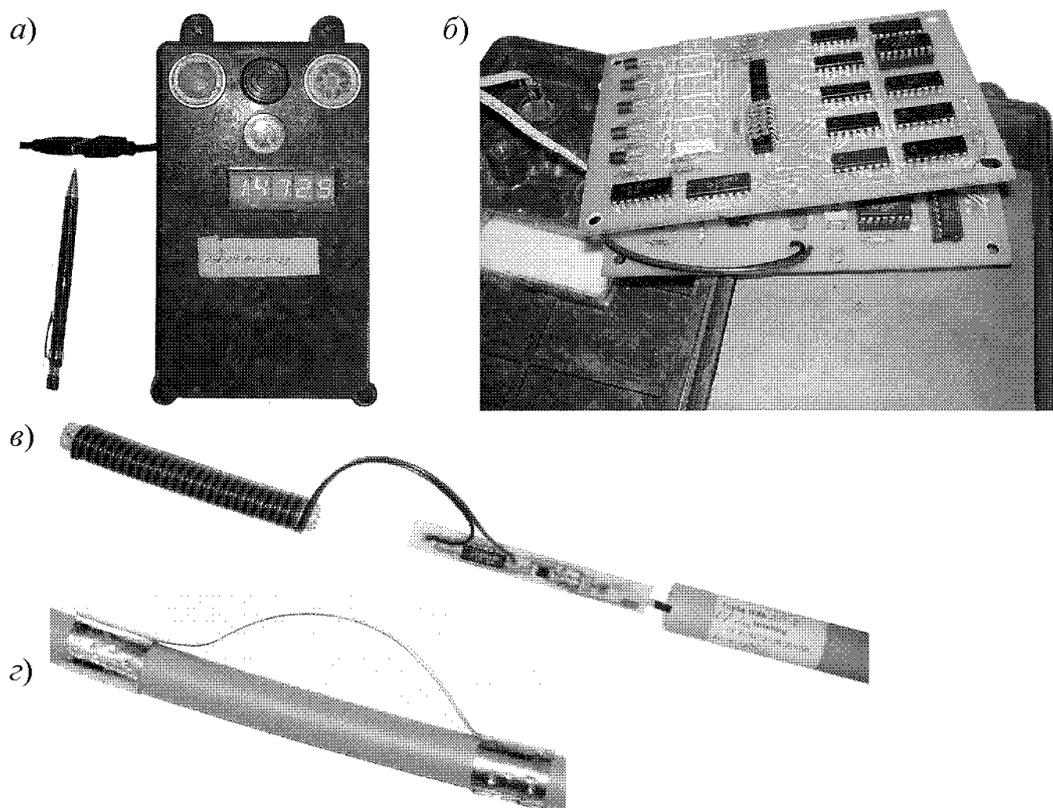


Рисунок 5 – Внешний вид измерительного блока интроскопа (а), его внутреннее устройство (б), конструкция зонда (в) и прижимного элемента (з)

Точность измерения частоты колебаний в усовершенствованном приборе возросла в 10 раз за счет увеличения разрядности частотомера от 0,1 кГц до 9999,9 кГц. Уменьшение потребляемой прибором мощности достигнуто за счет использования в измерительном блоке микросхем, изготовленных по технологии КМОП, и модуля индикации на основе семисегментных светодиодных индикаторов. Такое решение позволило применить динамическую индикацию, при которой отдельные знакоместа зажигаются поочередно с коротким интервалом переключения, поэтому зрительно воспринимаются как непрерывное свечение всех разрядов индикатора. В этом случае общая потребляемая индикатором мощность не зависит от его разрядности и равна мощности потребляемой одним знакоместом, что значительно меньше по сравнению с ранее применявшимися вакуумными люминесцентными индикаторами, основным источником потребления энергии которых являются цепи накаливания катодов. Уменьшение общей потребляемой мощности с

800 до 50 мВт значительно увеличило продолжительность работы прибора при питании его от батареи при проведении шахтных исследований, а также уменьшило нестабильность показаний интроскопа, связанную с изменением напряжения источника питания при его разрядке.

В первоначальном варианте (см. рис. 1) датчик прибора был жестким и состоял из трех элементов, образующих два параллельно включенных конденсатора. Такое включение обеспечивает симметричность характеристики прибора относительно середины зонда, однако при этом в зоне центрального электрода характеристика чувствительности датчика имеет провал. Устранить этот недостаток можно за счет увеличения числа параллельно включенных электродов, при этом характеристика чувствительности будет иметь несколько менее глубоких провалов, а при значительно большем числе электродов может быть получена практически равномерная характеристика. В усовершенствованном варианте интроскопа чувствительный элемент зонда реализован в виде спирали (рис. 5, в), навитой на гибкий каркас дву жильным проводом с наружным диаметром жилы 2 мм, что при длине датчика 104 мм соответствует 52 электродам.

Электронная схема зонда (рис. 5, в) собрана на печатной плате размером 14x120 мм, изготовленной из двухсторонне фольгированного текстолита, что позволяет разместить её совместно со спиральным датчиком в гибкой пластиковой трубе, которая одновременно играет роль досылочного устройства.

Для того чтобы измерения не зависели от зазора между стенками шпура и датчиком прибора, зонд в виде пластиковой трубы прижимается к стенкам шпура с помощью гибкой пружины, расположенной вдоль шпура (рис. 5, г). Данная конструкция зонда дает возможность приспособиться к неровностям шпура и изменению его диаметра, допускает регулирование степени прижатия зонда за счет изменения жесткости пружины и позволяет измерять диаметр шпура по удлинению пружины, для этого один из ее концов закреплен кольцом на трубе, а второй выполнен подвижным, допускающим перемещение вдоль оси зонда.

Измерительный блок интроскопа собран на двух печатных платах (рис. 5, б) размером 90x140 мм, изготовленных из двухсторонне фольгированного текстолита. Размеры и расположение радиоэлементов на платах измерительного блока допускает их герметичное размещение в корпусе от шахтного анализатора метана «Сигнал-2», что дает возможность применять интроскоп в газовых шахтах.

**Выводы.** На основании проведенных исследований усовершенствованно приборно-методическое обеспечение для интроскопии породного массива емкостным методом, который позволяет оперативно проводить многоточечные измерения вокруг выработки при её проведении

или эксплуатации и получать достоверную информацию о состоянии пород, необходимую для повышения устойчивости выработок.

### **Библиографический список**

1. Ямицков В.С. *Контроль процессов горного производства* / В.С. Ямицков. – М.: Недра, 1989. – 446с.

2. А.с. 1794253 СССР, МКИ G01V 3/18 *Способ определения неоднородностей массива горных пород* / Г.Г. Литвинский, В.А. Касьянов; Коммунарский горно-металлургический институт. №4790255/25; заявлено 8.02.90; опубл. 7.02.93. Бюл. №5.

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

4. Володарский Е.Т. *Планирование и организация измерительного эксперимента* / Е.Т. Володарский, Б.Н. Малиновский, Ю.М. Туз. – К.: Вища шк., 1987. – 280с.

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

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Литвинским Г.Г.*