

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Г.В. Бабиюк, В.Ф. Пунтус, Донбасский государственный технический университет, Украина

Предложена методика геомеханического контроля состояния породного массива вокруг выработки для диагностики форм проявления горного давления и определения параметров зоны временного опорного давления очистных работ.

Постановка проблемы. При эксплуатации подготовительных выработок особенно остро стоит проблема обеспечения их устойчивого состояния в зоне временного опорного давления впереди очистного забоя. Ввиду отсутствия достоверной информации об изменении напряженно-деформированного состояния массива, формах проявления горного давления, размерах зоны разрушенных вокруг выработки пород, размерах зоны и величине опорного давления впереди лавы и прочих параметрах, зачастую становится невозможным выбор адекватных мероприятий по обеспечению устойчивости выработок. Снижение неопределенности при принятии таких решений возможно за счет внедрения на шахтах геомеханического контроля состояния породного массива. Однако эта процедура осложнена обилием влияющих факторов и многообразием контролируемых параметров. Поэтому для организации геомеханического контроля, в первую очередь, необходимо ограничить число контролируемых параметров, выбрав наиболее информативные с точки зрения адекватности описания состояния приконтурного породного массива.

Анализ проблемы. В настоящее время существует масса методов для определения свойств и состояния массива и выработки в целом. Традиционный подход к определению устойчивого состояния выработки, который применяется на шахтах, основан на измерении размеров выработки, при этом контролируется соблюдение безопасных зазоров, оговоренных в ПБ. Этот метод прост в использовании и позволяет определить момент, когда необходимо начинать работы по ремонту выработки. Однако он не позволяет определить состояние породного массива вокруг выработки, форму проявления горного давления и не решает проблему отсутствия информации при выборе мероприятий по обеспечению устойчивости выработки.

Более информативным является подход, при котором оценку устойчивости выработки осуществляют на основании измерения смещений в нескольких точках на контуре выработки и построения эпюры перемещений породного обнажения [1]. Кроме того, если расположение точек на контуре согласовать с их местоположением в конечно-элементной модели, то это позволяет прогнозировать проявления горного давления в выработке при помощи компьютерного моделирования. Данный метод дает некоторое представление о форме проявления горного давления в выработке, но не решает задачу диагностики состояния массива вокруг выработки.

Подобным образом предложено оценивать устойчивость выработки и в работе [2], причем в этом случае смещения контура в различных радиальных направлениях увязываются с состоянием пород в зоне неупругих деформаций. В качестве параметра, характеризующего состояние породного массива, принят линейный коэффициент трещинной пустотности $k_{тр}$, имеющий четкий физический смысл и определяемый как отношение суммарного раскрытия трещин на участке массива к длине данного участка. Зная изменение коэффициента трещинной пустотности в глубь массива можно не только определить размеры зоны неупругих деформаций и перемещение породного контура в данной точке, но и оценить необходимость контроля:

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left((k_{mp_i}(j) - k_{mp_i}(j-1)) / k_{mp_i}(j) \right), \quad (1)$$

где $k_{mp_i}(j)$ и $k_{mp_i}(j-1)$ – соответственно коэффициенты трещинной пустотности пород в i -й точке опробования для j -го и $(j-1)$ -го контрольного испытания.

Если зона неупругих деформаций вокруг выработки не образуется или ее состояние стабильно, то значение показателя N близко к нулю и в контроле нет необходимости. При развитии разрушения пород геомеханический контроль должен предусматривать периодическое получение информации о нарушении пород в ее окрестности, являющейся основным признаком проявлений горного давления.

Сопоставив перемещения пород с диаграммой их деформирования, можно определить на какой стадии развития процесса на данный момент они находятся и какова их несущая способность, т.е. определить не только форму проявления горного давления, но и диагностировать состояние породного массива, а, проведя измерения в привязке к подвиганию очистного забоя, можно определить такие параметры, как размер зоны опорного давления и оценить периодичность обрушения основной кровли в лаве.

Данный метод предполагает оборудование специальных замерных станций, представляющих собой комплект скважин (шпуров), пробуренных в исследуемый породный массив в отдельных поперечных сечениях вдоль трассы выработки. При этом количество скважин, их длина и ориентация, а также число отдельных сечений выбираются в зависимости от структурных особенностей породного массива, показателя необходимости контроля и требуемой точности замеров. Для удобства регистрации замеров каждой скважине присваивается порядковый номер и вводится своя локальная система координат (декартова или полярная), а пространственное описание нарушения пород вокруг выработки осуществляется в глобальной системе координат, что позволяет представлять значения коэффициента трещинной пустотности в виде пространственно-временной функции. В качестве примера на рис. 1 изображена общая схема расположения измерительных шпуров, а также получаемое в результате контроля распределение коэффициента трещинной пустотности в приконтурном породном массиве вокруг выработки арочной формы.

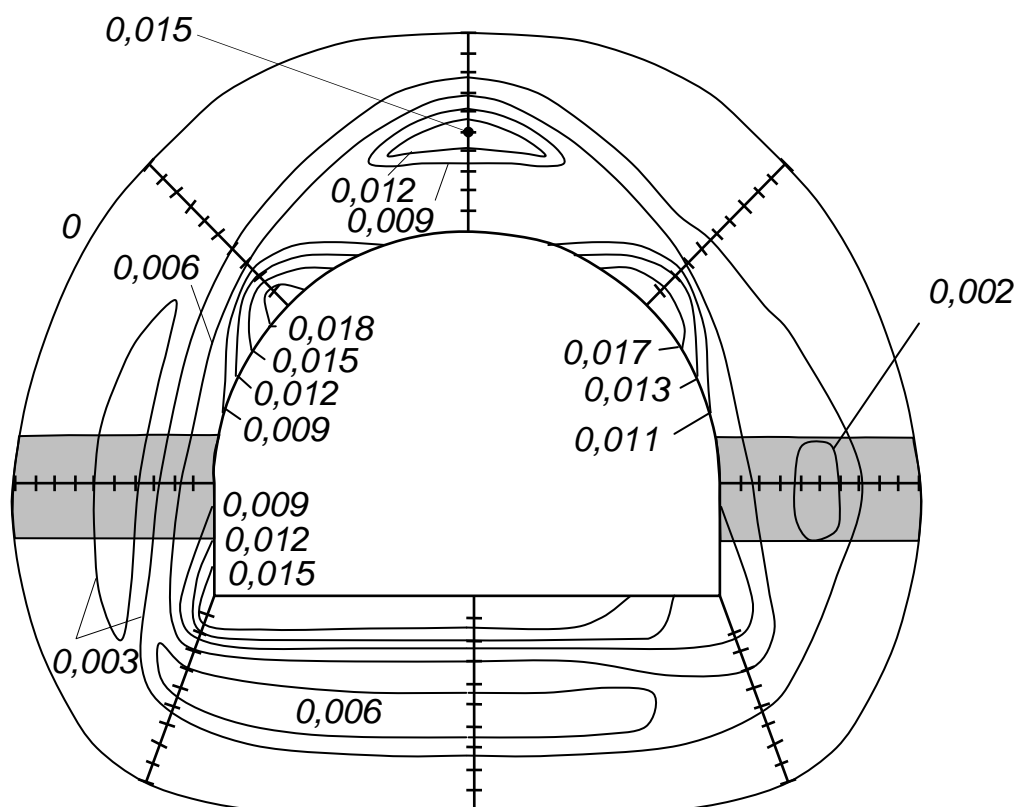


Рис. 1. Общая схема размещения измерительных шпуров в выработке и распределение коэффициента трещинной пустотности в приконтурном породном массиве

Для реализации данного метода очень важно иметь возможность оперативного получения достоверной информации о распределении трещинной пустотности вокруг выработки в произвольный момент времени. Однако, в связи со значительной трудоемкостью измерений,

связанной с большим числом измерительных скважин и замерных пунктов, это становится весьма проблематичным, так как при этом накладывается целый ряд ограничений на существующие методики по определению нарушенности породного массива.

В принципе для измерения параметров трещиноватости породного массива можно использовать любую из существующих методик шахтных наблюдений [3], основанных как на прямых, так и косвенных методах измерений, при условии, что они позволяют получить значение коэффициента трещинной пустотности породного массива вокруг выработки.

К числу таких методов относится и электроемкостный каротаж шпуров, разработанный в ДонГТУ [4]. Данный метод основан на зависимости частоты тока, вырабатываемого измерительным автогенератором, от величины емкости конденсаторного датчика, которая, в свою очередь, определяется диэлектрической проницаемостью среды. Преимуществом данного метода является то, что при определении показателя трещиноватости пород посредством электроемкостного метода на выходе получается электрический сигнал, который можно оцифровать и передавать на любые расстояния, в том числе и на поверхность шахты. Однако существующая конструкция прибора, состоящая из измерительного блока и присоединенного к нему посредством кабеля зонда, не позволяет автоматизировать процесс измерения, так как требуется перемещение зонда в шпуре, осуществляемое оператором. Кроме того, проведенные лабораторные исследования [5] выявили, что на показания прибора, кроме раскрытия трещин, 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.

Формулирование цели. Целью работы являлась разработка новой конструкции электроемкостного зонда и совершенствование методики определения коэффициента трещинной пустотности в приконтурном породном массиве для обеспечения автоматизированного геомеханического контроля и диагностики его состояния вокруг подготовительных выработок.

Сущность методики исследований. Конструкция разработанного зонда представлена на рис. 2. Зонд состоит из гибкой трубы 1 из диэлектрического материала, на внешнюю поверхность которой намотан двужильный провод, представляющий собой совокупность электроемкостных датчиков 2 с зазорами 3 для прижимных устройств 4, с помощью которых не только прижимают зонд к породной поверхности шпура, но и определяют его диаметр при каждом измерении. Число датчиков 2, располагаемых на зонде, определяется исходя из его длины l_d и

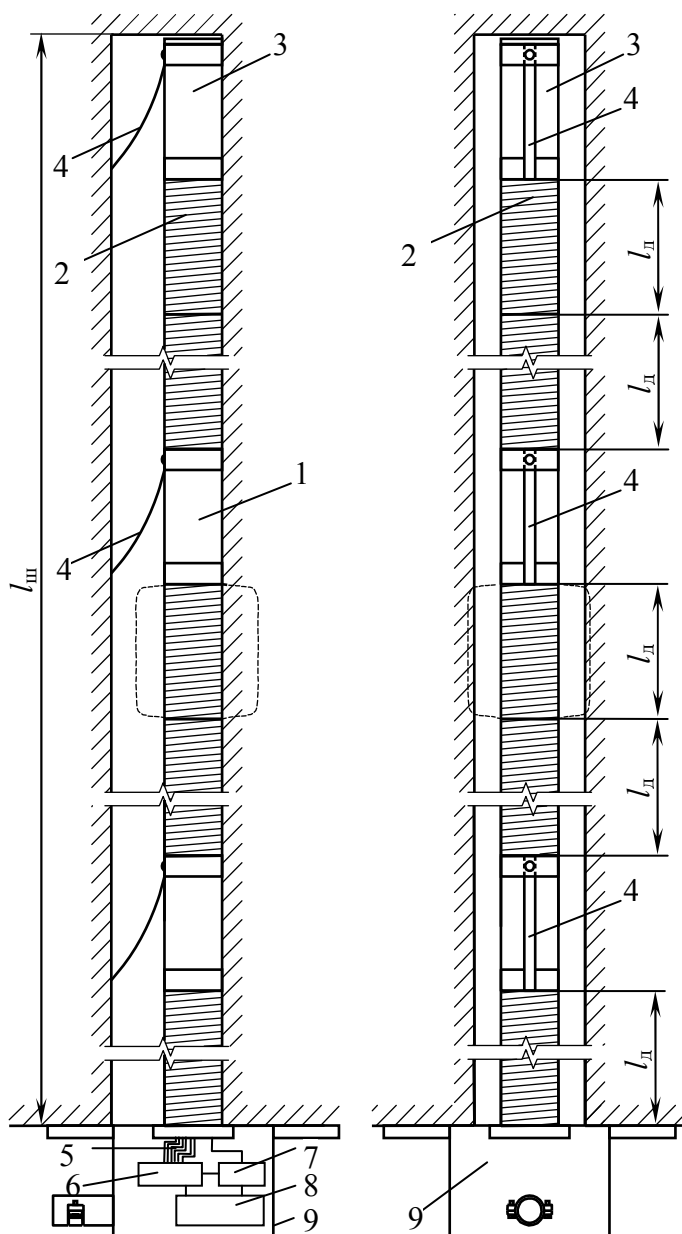
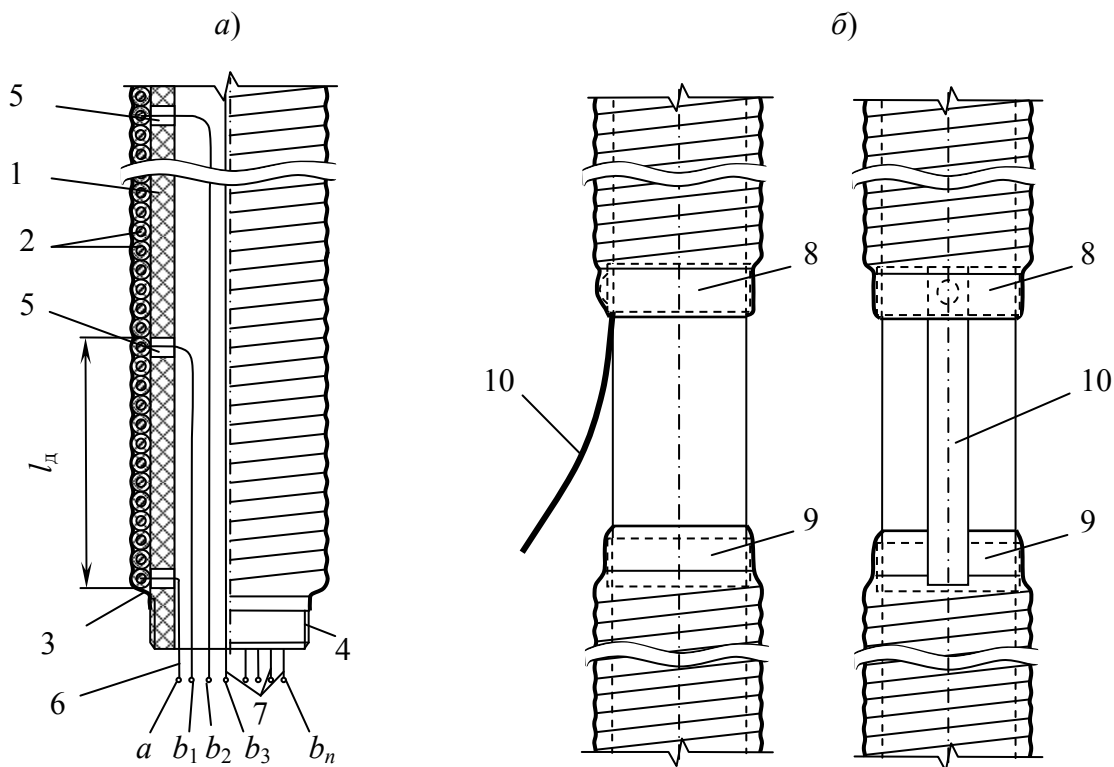


Рис. 2. Размещение зонда в шпуре для интроскопии породного массива

необходимой разрешающей способности измерений. Каждый датчик 2 с помощью соединительных проводов 5 подсоединяется через коммутационный блок 6 к генератору колебаний 7 измерительного прибора 8, который расположен на конце трубы у устья шпура в съемном корпусе 9, при этом концы соединительных проводов пропускаются через отверстия в боковой стенке трубы 1 и ее срединную полость (см. рис. 3, а). Для герметизации зонд покрывается ПВХ пленкой, которая плотно обжимает витки датчиков при термической усадке.



1 – гибкая труба; 2 – двухжильный провод; 3 – ПВХ пленка; 4 – резьбовое соединение; 5 – отверстие в боковой стенке трубы; 6, 7 – провода, соединяющие коммутационный блок с общим проводом и отдельными датчиками соответственно; 8, 9 – кольца, 10 – пружина

Рис. 3. Принципиальная схема зонда (а) и конструкция прижимного устройства (б)

Измерительный прибор преобразует электромагнитные колебания в цифровой электрический сигнал и передает оперативные данные по каналам связи на пункт приема информации, по которой оценивают суммарное раскрытие трещин для каждого датчика и определяют коэффициент трещинной пустотности пород, а распределение его вокруг выработки представляют в виде пространственно-временной функции.

Прижимные устройства выполняют в виде двух колец (см. рис. 3, б), одно из которых имеет пружину, упирающуюся в породную поверхность стенки шпура и препятствующую выпадению зонда из него. Оба кольца являются обкладками конденсатора, емкость которого зависит от расстояния между одним из колец и пружиной. Кольца прижимных устройств аналогично датчикам соединяются проводами через коммутационный блок с генератором колебаний, по частоте которого определяют диаметр шпура. Схема коммутации проводов датчиков приведена на рис. 4.

Данная конструкция зонда позволяет проводить измерения суммарного раскрытия трещин с разной базой, для этого одна жила электроемкостных датчиков соединяется последовательно и подключается к выходу генератора, имеющего нулевой потенциал, а другая жила выводится от каждого электроемкостного датчика отдельно и подсоединяется к генератору через коммутационный блок с возможностью дистанционного переключения.

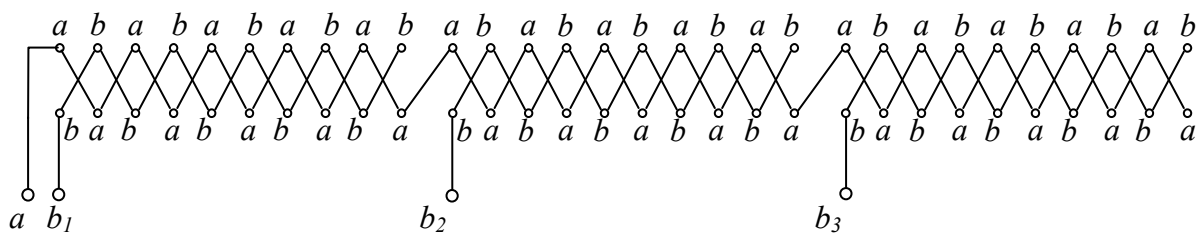


Рис. 4. Схема коммутации проводов электроемкостных датчиков

Такой способ контроля и диагностики состояния пород позволяет в автоматизированном режиме с поверхности шахты определять суммарное раскрытие трещин в зоне действия электроемкостного датчика и диагностировать состояние пород по распределению коэффициента трещинной пустотности вокруг выработки. При этом частота электромагнитных колебаний, которая контролируется в зависимости от диэлектрической проницаемости пород, имеет достаточно высокую достоверность, потому что зонд остается неподвижным во время всех наблюдений, прижатие зонда непосредственно к породам прижимным устройством устраняет влияние на результаты измерений изменения диаметра шпура и нарушений соосности зонда и шпура, а выполнение электроемкостных датчиков в виде спирали обеспечивает равномерную чувствительность датчиков по длине.

По результатам измерений суммарное раскрытие трещин в зоне действия одного электроемкостного датчика l_1 определяют по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta A + 4,08d_{ш} - 66,19}{0,098d_{ш} - 4,88}, \text{ мм}; \quad (2)$$

где δ - суммарное раскрытие трещин в зоне действия датчика, мм;

$d_{ш}$ - диаметр шпура, мм;

ΔA - прирост частоты электромагнитных колебаний в сравнении с породой без трещин, кГц.

Эмпирическая зависимость (2) получена с помощью лабораторных исследований на модели трещиноватого породного массива с использованием полного факторного эксперимента [6]. Она справедлива только в диапазоне, представленном на рис. 5. Графический анализ зависимости (2) демонстрирует, что при $d_{ш} = const$ суммарное раскрытие трещин δ в зоне действия датчика в зависимости от ΔA изменяется по линейным прямопропорциональным зависимостям, причем чем больше диаметр шпура, тем круче прирастает раскрытие трещин δ по мере изменения показания прибора, стремясь к одному значению ΔA , соответствующему показаниям прибора на воздухе, т.е. когда раскрытие трещины равно длине датчика l_d . При $\Delta A = const$ параметр δ в зоне действия датчика в зависимости от $d_{ш}$ изменяется по нелинейной зависимости. При этом с ростом диаметра шпура $d_{ш}$ суммарное раскрытие трещин δ в зоне действия датчика снижается, а его падение тем больше, чем меньше изменение показаний прибора.

Коэффициент трещинной пустотности для i -го электроемкостного датчика на малой базе измерения определяется по формуле:

$$k_{mp_i} = \delta_i / l_d, \quad (3)$$

на длинной базе измерения - по формуле:

$$k_{mp_{(i-n)}} = \sum_{i=1}^n \delta_i / (n \cdot l_d), \quad (4)$$

а прирост коэффициента между двумя измерениями - по формуле:

$$\Delta k_{mp_i} = (\delta_i(t_{j+1}) - \delta_i(t_j)) / l_d = k_{mp_{j+1}} - k_{mp_j}, \quad (5)$$

где k_{mp_i} - коэффициент трещинной пустотности в зоне действия i -го датчика;

l_d - длина электроемкостного датчика;

t_j - дата измерения;

i - порядковый номер электроемкостного датчика в шпуре;

n - число датчиков при измерениях на большой базе.

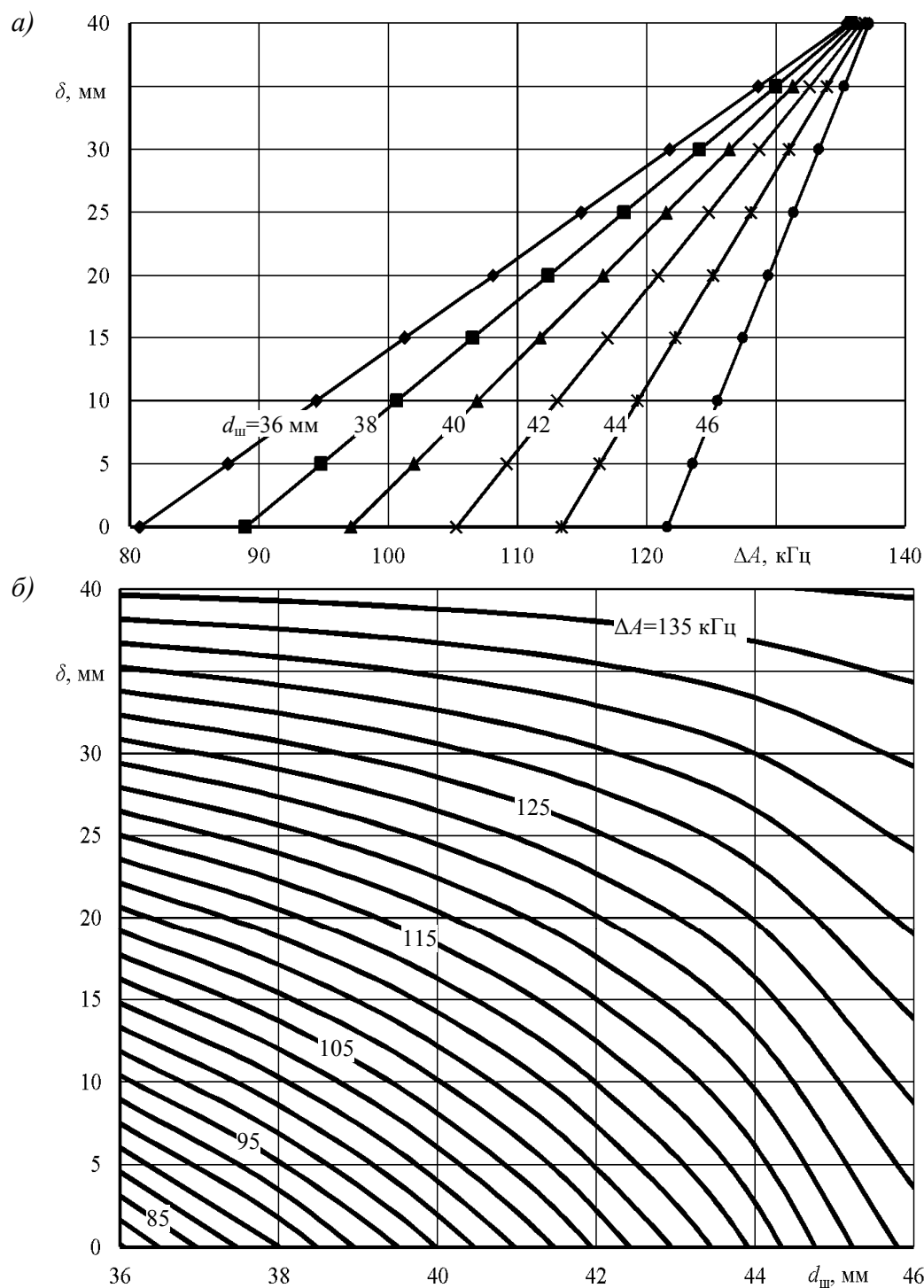


Рис. 5. Распределение суммарного раскрытия трещин δ в зависимости от изменения показаний интроскопа ΔA для различных значений диаметра шпура $d_{ш}$ (а) и в зависимости от диаметра шпура $d_{ш}$ при $\Delta A = const$ (б)

Выводы. Таким образом, предложенный метод геомеханического контроля позволяет проводить измерения без перемещения зонда в шпуре, с помощью компьютера дает возможность в реальном времени осуществлять переключение датчиков, следить за изменениями коэффициента трещинной пустотности как вдоль одного шпура, так и вокруг всей выработки. Это существенно упрощает процедуру контроля состояния породного массива, обеспечивает визуальное представление данных измерений и позволяет проводить оперативную диагностику состояния породного массива с целью управления геомеханическими процессами и повышения надежности поддержания горных выработок. Такая методика дает существенную

экономии времени и труда и позволяет принимать оперативные технологические решения.

Список литературы

1. Бондаренко В.И. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса : монография / В.И. Бондаренко, А.В. Мартовицкий, И.А. Ковалевская, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. – 340 с.
2. Бабиюк Г.В. Управление надежностью горных выработок : монография / Г.В. Бабиюк. – Донецк: Світ книги, 2012. – 420 с.
3. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем. – Днепропетровск: ИГТМ НАН им. Н.С. Полякова НАН Украины, 2004. – 75 с.
4. 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.
5. Бабиюк Г.В. Исследование, совершенствование и использование электроемкостного метода для оценивания проявлений горного давления вокруг выработок / Г.В. Бабиюк, В.Ф. Пунтус, М.А. Диденко // Проблеми гірського тиску. Зб. наук. праць № 1 (20) – 2 (21), - Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – С. 10-56.
6. Бабиюк Г.В. Тарировка прибора для интроскопии массива горных пород / Г.В. Бабиюк, В.Ф. Пунтус // Форум гірників – 2012 : матеріали міжнар. конф.; 3-6 жовтня 2012 р. Д.: Національний гірничий університет, 2012. – Т.2. – С. 196-205.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ЗАБОЯ ЛАВЫ НА ШАГ ОБРУШЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

*Е.А. Сдвижкова, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина
В.И. Пилюгин, ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», Украина
А.С. Иванов, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина*

Актуальность.

Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния в углепородном массиве определяются глубиной залегания пластов, литологией месторождения, физико-механическими характеристиками пород, а также параметрами технологии разработки месторождения (схемой разработки, способами и средствами охраны выработок). В связи с интенсификацией горных работ внимание инженерного персонала угледобывающих предприятий и исследователей все более привлечено к вопросу о влиянии скорости обнажения горных пород на те механические процессы в породном массиве, которые, в конечном итоге, определяют устойчивое либо неустойчивое состояние горных выработок и, связанные с этим параметры управления горным давлением.

В наибольшей мере это касается очистных работ, поскольку именно вследствие перманентного продвижения фронта очистных работ при сплошной системе отработки происходит значительное по площади обнажение пород. Движущийся очистной забой вызывает изменения напряженно-деформированного состояния породного массива, что в свою очередь инициирует раскрытие природных трещин, создание новых систем технологических поверхностей ослабления (расслоение, разделение слоя пород на пачки), обрушение пород кровли в выработанное пространство. В зависимости от литологического состава вмещающих пород, их физико-механических характеристик процесс расслоения и обрушения пород имеет различную качественную и количественную картину, что в инженерной практике принято характеризовать как «обрушаемость» и рассматривать как классификационный признак. Коли-