

**ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ НАРУШЕННОСТИ УГЛЕПОРОДНОГО  
МАСИВА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ ЗОН С АСИММЕТРИЧНОЙ  
АНТИКЛИНАЛЬНОЙ МИКРОСКЛАДЧАТОСТЬЮ**

На прикладі пластів  $l_1$  та  $m_3$  показана можливість врахування структурних особливостей вуглепородного масиву при інтенсифікації дегазації.

**POINT OF STRUCTURE DISTURBANCE IN COAL MASSIVE BY  
DEGASSING OF ZONES WITH ASYMMETRICAL AND  
CLINAL MICROCREASE**

After the example of coal seam  $l_1$  and  $m_3$  shows the impact of structures characteristic property coal-rock massive by intensification on of degassing.

К числу основных причин, сдерживающих добычу угля высокопроизводительными лавами, относятся газообильность отрабатываемых сближенных пластов, низкая эффективность способов проведения и контроля текущей, эксплуатационной и постэксплуатационной дегазации углепородного массива [1]. При дегазации угольных пластов необходимо знать структуру трещинно-порового пространства с количественной оценкой трещин и межзерновой пористости, поскольку при небольших расстояниях между скважинами прерывистость трещинно-порового пространства и незначительные поперечные размеры препятствует перетеканию метана. Решение этой задачи развивается по трем основным направлениям, связанным с поиском способов и средств уменьшения прерывистости и гидравлического сопротивления газосодержащих каналов, увеличения подвижности флюида и вытеснения газа из поровых и трещинных каналов. Проницаемость угольного пласта, в зависимости от направления системы трещин, может различаться в десятки раз. Это следует учитывать при оптимизации сетей дегазационных скважин, а также при выборе параметров способов интенсификации дегазации угольных пластов.

Одним из перспективных методов контроля эффективности дегазационных мероприятий является геофизический метод, базирующийся на электрокинетических явлениях и переходных процессах вызванной поляризации, возникающих в гетерогенных средах при гидрообработке (гидрорыхлении, гидроимпульсном воздействии, гидроразрыве и т. д.) углепородного массива. В основе такого контроля лежат исследования электризации углей с наличием (и без) газового заполнителя трещинно-порового пространства пластов и вмещающих пород, выполненные ранее и приведенные в работах [2-4].

Эффективность и перспективность предлагаемого метода подтверждаются шахтными экспериментальными исследованиями, выполненными на одном из участков пласта  $l_1$  шахты им. А.Ф. Засядько. Основной кровлей пласта  $l_1$  является песчаник  $l_1Sl_2^1$  мощностью от 14,5 до 27,0 м ( $f=9$ ), среднеустойчивый ( $B_{2-3}$ ),

труднообрушаемый ( $A_3$ ), водоносный. Непосредственная кровля – весьма неустойчива ( $f=5$ ), представлена алевролитом мощностью до 1,0 м и аргиллитом до 1,2 м. Пласт имеет мощность от 1,6 до 2,5 м., природная метаноносность 22-24 м<sup>3</sup>/т, опасен по пыли, суфлярным выделениям метана и внезапным выбросам угля и газа, особенно в зонах с разрывной и складчатой нарушенной структурой, часто подвержен размывам овражно-речного типа с глубиной вреза до 50 % его мощности, редко больше, и протяженностью до 150 м. Под пластом встречаются линзы и прослои песчаника мощностью до 2,0 м. В районе расщепления угольного пласта на верхнюю ( $l_{1B}$ ) и нижнюю ( $l_{1H}$ ) пачки при расстоянии между пластами до 3 м происходит обрушение пород междупластья. Почва пласта представлена аргиллитом мощностью до 6,1 м ( $\Pi_2$ ), в верхней части присутствует кучерявчик комковатой текстуры, склонный к пучению ( $\Pi_1$ ). Ниже залегает выбросоопасный песчаник мощностью 16,0-23,0 м ( $f \geq 9$ ).

Региональная тектоника шахтного поля весьма сложная. Шахтное поле нарушено субширотным Софиевским надвигом и рядом других средне- и малоамплитудных нарушений, образовавшихся в процессе тектонических подвижек. Действие касательных напряжений обусловило формирование структурно-нарушенных зон надвигового типа и переменное залегание пласта  $l_1$  в виде асимметричной антиклинальной микроскладчатости с расстоянием между осями складок от 3 до 7 м и амплитудой от 0,6 до 1,3 м.

Предварительно были изучены электрофизические свойства угля и боковых пород путем проведения параметрических исследований в измерительных и дегазационных скважинах длиной от 10 до 42 м, пробуренных из буровых ниш конвейерного штрека. Хорошая дифференцированность свойств по средним показателям является надежной основой выполнения численных расчетов параметров зон структурной нарушенности, оценки размеров участков трещинно-порового пространства с жидким и газовым заполнителями, напряженного состояния углепородного массива и параметров обработки угольного пласта гидродинамическими или другими видами воздействий.

Работы, связанные с контролем свойств и состояния пласта  $l_1$  при отработке технологии текущей и эксплуатационной дегазации углепородного массива, а также оценкой эффективности гидродинамических воздействий, выполнены аппаратурой «Импульс» в 9-ом вентиляционном и 10-ом конвейерном штреках по методике электропрофилирования и зондирования в скважинах, пробуренных из почвы в угольный пласт по восстанию, в кровле – перпендикулярно напластованию, а также путем электрораззондирования по стенке выработки. Скважинный каротаж осуществлялся с помощью электрометрических зондов с увеличенной (до 16 м) и нормальной (1 м) раздвижностью питающих электродов. Шаг измерений принимали равным 0,5 м.

Результаты изучения электрофизических свойств вмещающих пород угольного пласта  $l_1$  показали, что средние значения поляризационной проводимости (металл-фактор), проводимости пород и угля, кажущейся поляризационной восприимчивости, поляризуемости монолитных и структурно нарушенных пород и угля отличаются в 2-4 раза при средней влажности 0,18-0,21 %. Проводи-

мость угля и горных пород является ионной или электронно-дырочной (при наличии включений). При увлажнении горных пород проводимость повышается, в этом случае значительное влияние играют структура и количество токопроводящих каналов (рис.1).

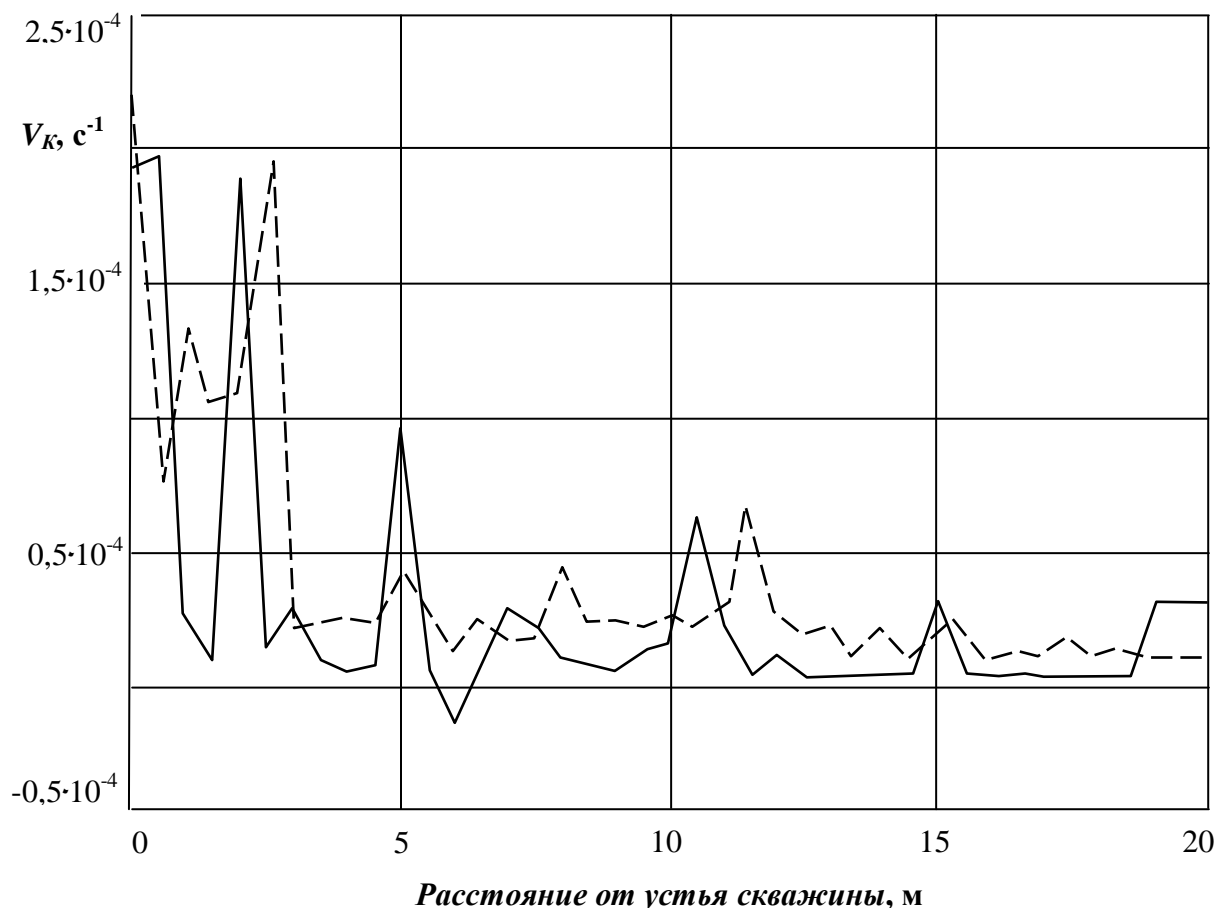


Рис. 1. – Характер изменения спада вызванной поляризации ( $V_K$ ) в естественных условиях (штриховая линия) и после гидродинамических воздействий (сплошная линия) по длине дегазационной скважины

Параметрические измерения в естественных условиях залегания и диапазон изменений в зонах трещиноватости (влияния горной выработки), опорного давления и нетронутым массиве колеблются в значительных пределах. Так, для угольного пласта  $l_1$  кажущаяся поляризуемость трещиноватых углей составляет 0,33-0,60, в зоне опорного давления – до 0,9. Поляризационная восприимчивость весьма чувствительна к наличию включений пирита (аномальные значения достигают величин до 95). Изменение поляризационной проводимости связано со структурой угольных пластов и количеством плоскостей раздельности. В зоне максимальной трещиноватости поляризационная проводимость достигает величин 0,30-0,65. Отличия значений электрофизических свойств вмещающих пород и угольного пласта указывают на наличие благоприятных диагно-

стических признаков, что позволяет дифференцировать разрез, исходя из параметрических свойств в естественных условиях залегания.

Переходные процессы вызванной поляризации отличаются значительным диапазоном изменений, что связано с заполнением трещинно-порового пространства жидкостью и газом. Для оценки параметров структурной нарушенности среды с газовым и жидким наполнителем используются характеристики времен релаксации токов двойного электрического слоя ( $\tau$ ). Из данных рис. 1 следует, что дегазированные трещиноватые участки характеризуются значительными величинами постоянной спада вызванной поляризации, достигающей, в среднем, 1,4-1,6. На участках с частичным заполнением трещин и пор флюидом величина  $\tau=1,1-1,5$ . На участках газового заполнения трещин и пор  $\tau=0,001-0,003$ . Так как газы являются изоляторами, можно предположить, что электрический ток из одного структурного блока в другой перетекает через локальные участки шероховатой поверхности угольных блоков, разделяющихся микроскладками.

Исследования напряженно-деформированного состояния по 10-й западной лаве показали, что зоны неупругих деформаций и опорного давления носят неравномерный характер. Особенно это проявляется на участках асимметричной антиклинальной микроскладчатости. Результаты измерений приведены в табл. 1 и сопоставлялись с данными определений методом локального гидроразрыва [5].

Таблица 1 – Размеры зон влияния горной выработки на состояние угольного пласта до и после гидродинамических воздействий

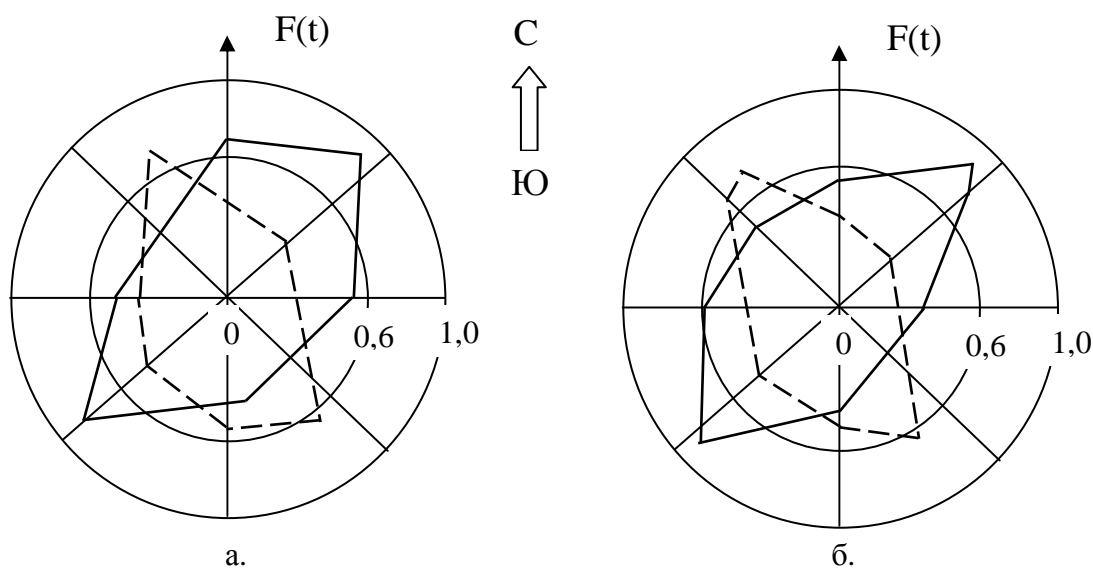
Участок определений	Зона неупругих деформаций, м	Зона опорного давления, м	Воздействие (до/после)
Кровля штрека	1,3-2,9	1,7-3,3	до
Почва угольного пласта	3,2-5,3	2,7-4,2	после
Угольный пласт	5,0-7,0	6,0-8,1	после
По вентиляционному штреку пласта $l_1$	22-28	9,5-15	до
В зонах микроскладчатости угольного пласта $l_1$	8,1-12,0	5,4-6,2	после

В зависимости от ориентации дегазационной скважины изменяется интенсивность трещинообразования в угольном пласте. Определение анизотропии и построение диаграмм трещиноватости позволило выявить ориентацию трещин, которые носят выраженную тектоническую природу. Установлено, что на участке микросинклинали интенсивность трещиноватости снижается, а на участке микроантиклинальной складчатости – увеличивается. Различие в уровне структурной нарушенности пласта  $l_1$  объясняется формированием складчатости под воздействием знакопеременных напряжений.

Определение трещиноватости пласта  $l_1$  по технологическим и дегазационным скважинам, пробуренным из почвы пласта станком НКР-100 и буровой установкой фирмы «Шмидт и Кранц» типа ТВА-84/12000, позволили вычислить

относительную степень трещиноватости пласта, которая оказалась равной 0,15-0,28 отн. ед. для нижней пачки и 0,12-0,37 для верхней. Указанные значения и диапазон их изменений характерен для процесса складкообразования при наличии сжимающих и растягивающих компонент напряжений при формировании тектоники участка и Ветковской флексуры в целом. Для сравнения: относительная степень раскрытия трещин, определенная на образцах, составляет 7,5-8,0 отн. ед. при расстоянии между трещинами  $(3,7-4,2) \cdot 10^{-3}$  м.

Обобщение результатов измерений на разных пикетах позволило составить диаграммы трещиноватости по угольному пласту  $l_1$  (рис.2), анализируя которые выявлено две системы трещин: более отчетливая ориентирована под углом 222-227° к оси истинного меридиана, вторая – под углом 150°.



а – угольный пласт  $l_1^B$ ; б – угольный пласт  $l_1^H$

$F(t)$  – переходная характеристика вызванной поляризации

Рис. 2. Диаграммы ориентации доминирующих систем трещиноватости пласта  $l_1$  10-й западной лавы горизонта 1070 м шахты им. А.Ф. Засядько

Аналогичные измерения выполнены на участках бурения дегазационных скважин по 4-й и 5-й западным лавам пласта  $m_3$ . Определены две ориентации систем трещин: первая под углом 127-131°, вторая – 38° к оси истинного меридиана. Сопоставление полученных данных с розами трещиноватости, построенными по методике геологических определений, показала хорошую сходимость (ошибка не превышает 5-7 %).

Таким образом, установленные параметры трещиноватости связаны с протеканием тектонических процессов, и их необходимо учитывать при определении параметров заложения дегазационных скважин. Весьма важна и оценка эффективности дегазационных мероприятий, критерием которой может быть размер зоны неупругих деформаций после гидродинамических воздействий.

На рис. 3 представлены геомеханическая модель массива и схема электрометрического контроля свойств и состояния угольного пласта до и после гид-

родинамических воздействий. Схема измерений была выбрана таким образом, чтобы контролировать свойства угля в зоне и вне зоны гидродинамического воздействия.

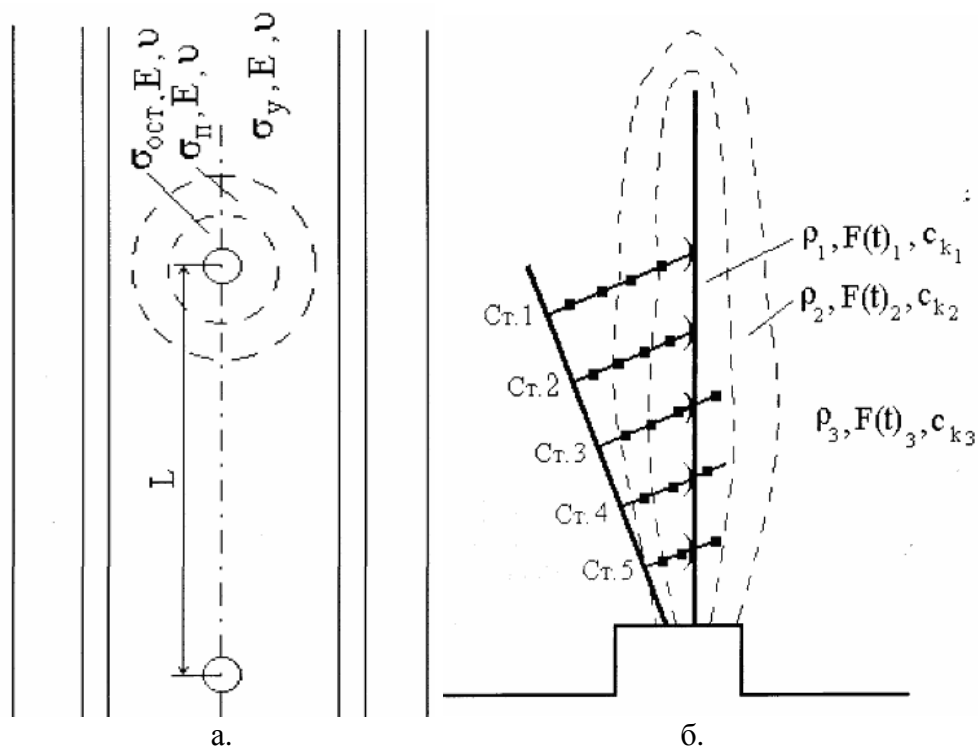


Рис.3. Геомеханическая модель воздействия на среду при дегазации (а) и схема электрометрического контроля свойств и состояния угольного пласта (б)

$\sigma, E, v$  – физико-механические параметры среды;  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление;  $c_k$  – поляризационная емкость

При гидродинамическом воздействии на угольный пласт вокруг скважины образуются зоны: руинного разрушения ( $L_1$ ), интенсивной трещиноватости с жидким ( $L_1$ ) и газовым ( $L_3$ ) наполнителем трещин и пор, упругих деформаций. При высоком давлении часть жидкости по порам и трещинам увлажняет околоскважинное пространство. При этом уголь в этой зоне становится более пластичным и снижает прочность до 30 %. Вторая зона с трещинами, поэтому в случае газового наполнителя при дегазировании прочность угля увеличивается. Таким образом, прочность угольного пласта при дегазации претерпевает абсолютные изменения: с одной стороны – снижается, с другой – увеличивается. Создается градиентная зона, которая интенсивно деформируется под действием вышележащей толщи. Это выводит обработанную зону из состояния равновесия, что приводит к началу процесса трещинообразования с затухающей интенсивностью. Третья область – зона упругих деформаций угольного пласта.

Измерения переходных характеристик вызванной поляризации в дегазационных скважинах позволили определить степень изменения состояния угольного пласта до и после гидродинамических воздействий по характеру изменения скорости спада вызванной поляризации в системе «каркас угля – влажный за-

полнитель трещинно-порового пространства – газ». На рис. 4 представлены переходные характеристики вызванной поляризации угольного пласта после проведения обработки и частичной его дегазации. Расчет параметров поляризационной емкости, которая косвенно отражает интенсивность трещиноватости, по данным измерений в восстановленных дегазационных скважинах отражает неравномерность образования техногенной трещиноватости по длине скважины. С уменьшением поляризационной емкости увеличивается интенсивность трещиноватости. Относительное увеличение интенсивности трещиноватости колеблется в пределах 10-23 %.

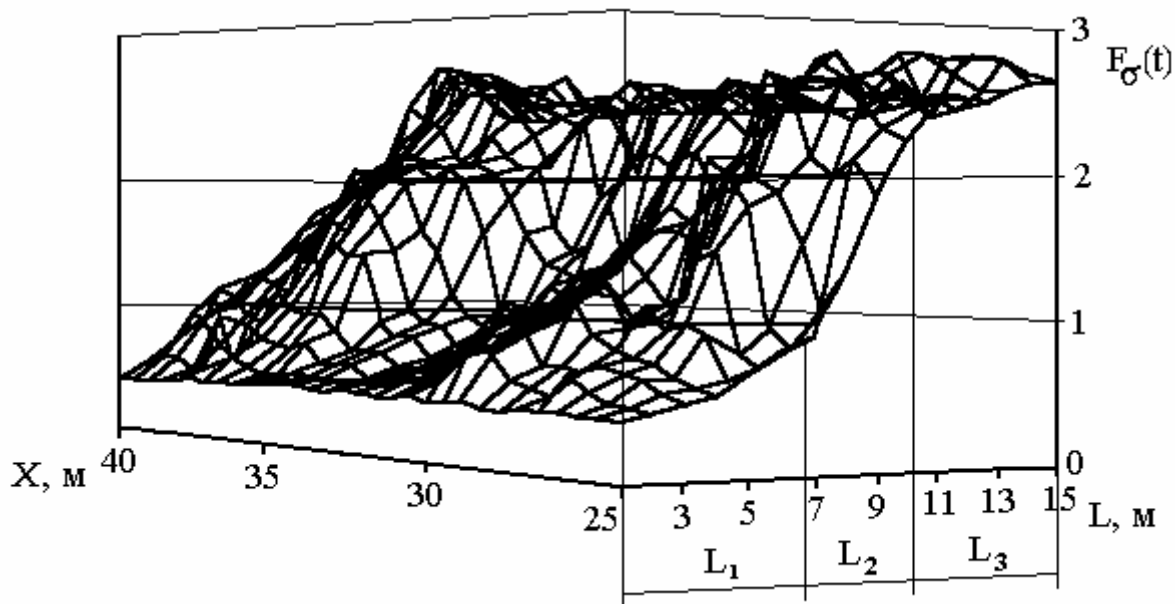


Рис. 4. Характер изменения состояния угольного пласта после гидродинамических воздействий

По измерительной скважине определялось расстояние с разным уровнем проникновения рабочей жидкости в угольный массив. Измерения показали, что максимальный размер обработанной зоны вокруг дегазационной скважины находится в пределах  $2L = 22,4-28,9$  м ( $L_1 = 6,7$  м,  $L_2 = 3,9$  м,  $L_3 = 3,7$  м).

Гидродинамическое воздействие на угольный пласт вызвало нарушение гидростатического равновесия угольного пласта и, как следствие, привело к изменению прочности угля: в области увлажнения – к снижению прочностных показателей, а на участке частичной дегазации – к увеличению его прочности. Образование градиентной зоны вызывает нарушение равновесия, что приводит к длительному процессу выравнивания путем трещинообразования и газовыделения. Этот процесс длится до выравнивания области структурной нарушенности и снижения акустической шумности до фонового уровня, что можно считать завершением дегазации [6].

Однако описанный механизм интенсификации дегазации не всегда реализуем, так как значительные тектонические напряжения препятствуют проникновению рабочей жидкости в глубь массива. Кроме того, на этапе бурения дегазаци-

ционных скважин происходит заиливание вновь образованных систем трещин и их кольтматация. В результате гидродинамических воздействий происходит образование системы техногенной трещиноватости и, как следствие, увеличение суммарной поверхности, десорбирующей газ. В условиях сложного напряженного состояния газоотдача нестабильна, а в некоторых случаях значительно снижается за счет замещения и оттеснения метана, вызванных снижением фазовой проницаемости околоскважинного пространства из-за заиливания при-скважинного слоя радиусом 0,5-1,2 м углисто-глинистым фильтратом промышленной жидкости, образующимся при бурении скважин и проникающим в глубь угольного пласта при гидродинамических воздействиях.

Учитывая, что жидкость, содержащая частицы углисто-глинистого фильтрата является коллоидно-дисперсной средой, частицы теряют подвижность, их концентрация достигает критических значений и происходит их слипание – коагуляция. В результате при-скважинная зона становится малопроницаемой ввиду образования глинистой «корочки» [7].

Таким образом, разработанный методический подход по определению размеров зоны неупругих деформаций после гидродинамического воздействия, заключается в том, что после восстановления дегазационной скважины проводится ее электрометрическое зондирование и, с учетом взаимодействия системы «уголь – жидкий заполнитель – газ», рассчитывается размер зоны, по величине которой определяются геометрические параметры дегазированного участка углепородного массива, а также оценивается эффективность разгрузки угольного пласта в результате гидродинамических воздействий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А. Ф. Концепция комплексной дегазации углепородного массива для условий шахты им. А.Ф. Засядько [Текст] / А.Ф. Булат // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 37. – С. 10-17.
2. Пилипенко Ю. Н. Геофизический контроль напряженно-деформированного состояния угольных пластов в зонах разрывных структур [Текст] / Ю.Н. Пилипенко, В.А. Мазин // Геофизика: сб. науч. тр. / НГА Украины. – Днепропетровск, 1999. – № 6. Том 3. - С. 132-138.
3. Пилипенко Ю.Н. Определение трещиноватости сред в натуральных условиях при интенсификации дегазации угольных пластов [Текст] / Ю.Н. Пилипенко, А.В. Карлов, Д.П. Гуня // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 37. – С. 80-84.
4. Булат А.Ф. Результаты экспериментальных работ по интенсификации дегазации угольного пласта  $l_1$  на шахте им. А.Ф. Засядько гидродинамическим воздействием [Текст] / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягельский, К.К. Софийский и др. // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 37. – С. 30-48.
5. Кулинич В. С. Результаты определения величин и направления главных напряжений в углепородном массиве пласта  $l_1$  шахты им. А. Ф. Засядько методом локального разрыва [Текст] / В. С. Кулинич, В. Г. Перепелица, И. А. Ефремов // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 44. – С. 156-164.
6. Булат А.Ф. Определение пространственной ориентации трещиноватости среды при дегазации углепородного массива [Текст] / А.Ф. Булат, Ю.Н. Пилипенко, И.А. Ефремов и др. // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных выработках: матер. XIII Межд. науч. школы. / Таврич. нац. ун-т – Симферополь, 2003. – С. 32-34.
7. Михайлов Н. Н. Изменение физических свойств горных пород в околоскважинных зонах [Текст] / Н.Н. Михайлов – М.: Недра, 1987. – 152 с.