© Ю.Ф. Васючков, М.В. Павленко, 2007

УДК 622.41:533.17

*Ю.Ф. Васючков, М.В. Павленко*

# *ГАЗООБИЛЬНОСТЬ ВЫРАБОТОК И СТРУКТУРА ГАЗОВОГО БАЛАНСА НА УЧАСТКЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК*

При разработке высокогазоносных угольных пластов особое место отводится безопасности ведения горных работ. Проектируется и поддерживается комплекс мер по обеспечению действий, не допускающих образования взрывоопасной среды. При этом на различных пластах интенсивность газовыделения различна, что определяется режимом ведения горных работ, газоносностью угольного массива. Поэтому в такой обстановке необходимо добиться таких условий, чтобы снизить максимально поступление метана в горную выработку. Существующие мероприятия по подготовке угольных пластов к безопасной и эффективной выемке не всегда способны выполнить свою задачу.

Однако при выполнения комплекса воздействий на стадии подготовки позволяет с полной надежностью поддерживать условия, обес-печивающие минимально допустимое содержания метана в горных выработках.

В этот комплекс входят:

- гидрорасчленение пласта через скважины с дневной поверхности, для создания и расширения трещин как природного так и технологического характера;
- физико-химическая обработка пласта содержащего карбонаты и их соединения, для увеличения зияния газопроводящих трещин;
- вибрационное воздействие на заключительном этапе с целью увеличение количества и протяженности, вновь образовавшихся трещин, обеспечивающих трещиннопоровую проницаемость угольного массива, что в конечном итоге приводит к интенсивной дегазации.

Проектируя меры комплексного воздействия на газонасыщенный угольный пласт, целесообразно увязывать технологические решения с характером ведения горных работ (подготовительные и очистные работы, дегазационные работы и другие вспомогательные работы).

Оценку возможности применения одного активного метода (вибрационного) на угленосную толщу и оценку влияния этого воздействия на газообильность участка лавы №3-2 ГОАО «Шахтоуправления им.17 Партсъезда» проводили по результатам работы автоматической газовой защиты (АГЭ) с использованием следующей методики.

Определили средневзвешенную концентрацию метана на каждые сутки, зафиксированную по аппаратуре АМТ, $C$,%. Затем подсчитывали средневзвешенное значение концентрации за данный месяц $C_{мес.}$%. По трем измерениям расхода воздуха по участку, выполненным службой ВТБ, определяли среднее значение потока в вентиляционной струе $Q_{B,}$ м$^3$/мин. Далее находим объем газовыделения за данный месяц $Qсн_{4мес}$.

***Сравнительные технические показатели пласта К-2 ГОАО «Шахтоуправление им.17 Партсъезда» лавы № 3-2 (с вибровоздействием) и лавы № 3-3 (без вибровоздействия) прогноз***

| № | Показатели | Ед. изм. | ЛАВА № 3-2 | ЛАВА № 3-3 | ±% |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Средняя длина лавы | м | 115 | 120 | 0 |
| 2 | Расчетная нагрузка по газовому фактору | т/сут | 230-240 | 230-240 | 0 |
| 3 | Средняя фактическая нагрузка на лаву | т/сут | 430-450 | 235-250 | 52 |
| 4 | Средняя абсолютная газообильность выемочного участка | $м^3$/мин | 3,8 | 5,1 | 36 |
| 5 | Средняя абсолютная газообильность лавы | $м^3$/мин | 2,1 | 4,2 | 37 |
| 6 | Средняя абсолютная газообильность из пласта | $м^3$/мин | 1,7 | 2,7 | 37 |
| 7 | Средняя абсолютная газообильность выработанного пространства | $м^3$/мин | 2,1 | 2,4 | 13 |
| 8 | Среднее количество воздуха подаваемого на участок | $м^3$/мин | 1550 | 1600 | 4 |

Относительную газообильность участка определяли путем деления месячного объема газовыделения на расчетную массу угля, соответствующую вынутой за месяц площади пласта по формуле

$$A = Q_{мес} / VL_л\, m\, \rho \qquad (1)$$

где $V$ - соответственно подвигание за месяц в верхней, средней и нижней частях лавы, м/мес; $L_л$ - соответственно длина лавы в начале и в конце месяца, м; $m$ - мощность пласта, м; $\rho$ – плотность угля, т/$м^3$.

При этом определение газовыделение из поверхности пласта произведено на основе замеров, выполненных шахтой. Данные замеры проводились трижды в течение месяца в определенные дни.

Согласно прогнозным данным нагрузка на очистной забой увеличивается трещиноватость пласта, наблюдается снижение газоотдачи из пласта в следствии снятия газового барьера (таблица), что приводит к увеличению темпа подвигания линии очистного забоя.

Изучение газоотдачи угольного пласта в зонах вибрационной обработки представляет определенный научный интерес.

При вибрационном воздействии происходит образование как крупных трещин вблизи волновода так и более мелких трещин, а также дальнейшее нарушение структуры угольных пластов, что обеспечивает увеличение диффузионной проницаемости и дренирование газа из массива. В процессе вибровоздействия угольный массив дробится на блоки. Наступает газообмен между угольными блоками и образовавшимися газопроводящими трещинами, при этом интенсивность зависит от давления газа в пласте.

Угольный массив краевой части пласта, имеющий газоносность *Хкр*., разрушается в процессе работы генератора виброколебаний, скорость разрушения определяется технической характеристикой вибратора. Поэтому необходимо отметить значение пространственно-

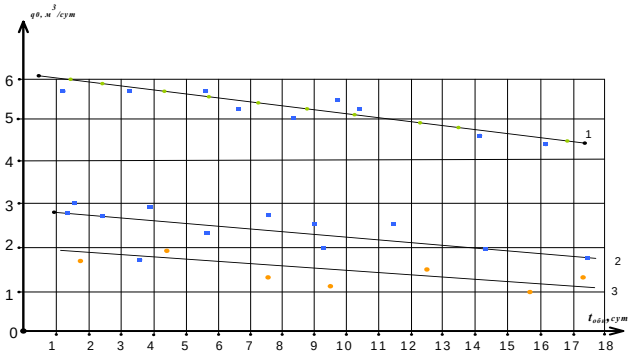



***Рис. 1. Зависимость скорости газоотдачи пласта К-2 в шпуры от времени обнажения в зонах:*** *1* – исходная зона; *2* – зона пласта с расположением шпуры вибровоздействия через 0,75 м; *3* – зона пласта с расположением шпуры вибровоздействия через 0,5 м

временного характера вибрационного воздействия на угольный массив.

Скорость газоотдачи в зонах вибрационной обработки изучали при отработке лавы № 3-2 пласта К-2 ГОАО «Шахтоуправление им.17 Партсъезда», а также при проходке вентиляционного уклона по этому же пласту.

Исследования имели целью сравнить скорость газоотдачи из шпуров в зоне вибровоздействия с необработанными участками пласта и установить характер изменения скорости газоотдачи при переходе от необработанной зоны к зоне с вибрационной обработкой (рис. 1).

Наблюдается достаточно четкое различие в динамике скорости газоотдачи из трещин образовавшихся при вибровоздействии. Газоотдача на участке воздействия отличается более высокими значениями скорости (на 30-60 %) и длительностью газовыделения.

Зона вибрационной обработки характеризуется участком с низкой метановыделением, т.к. основная часть метана была удалена и выделилась через образовавшиеся трещины как в скважины вибровоздействия так и в атмосферу выработки, после чего метановоздушная смесь из выработок удалена средствами вентиляции.

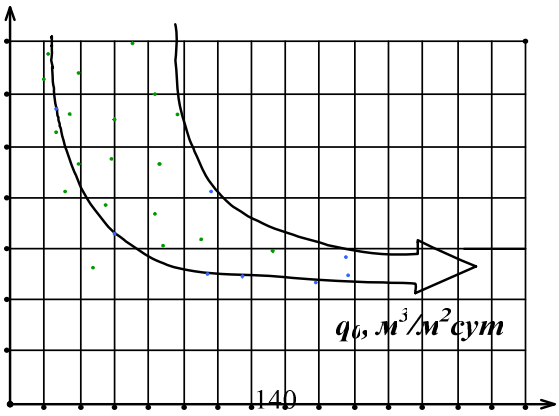
Сравнивая исследования скорости газоотдачи пласта К-2 (рис. 2) под пленку показали, что скорость выделения метана суммарно в 2,5-4 раза выше чем, на участке пласта до обработки.

За зону сравнения при исследованиях за газоотдачей пласта из выработках принимали зону на участке воздействия и вне зоны обработки. Всего в зоне вибровоздействия было пробурено 175 измерительных и воздействующих скважин, которые охватывали свыше 1200 м протяженности выработок.

На рис. 2 показаны сводные результаты зависимости скоростей газоотдачи от времени обнажения пласта лавы № 3-3 пласта К-2 в зонах вибрационного воздействия и зонах сравнения.

В зоне воздействия пластовыми скважинами наблюдается две характерные области экспериментальных значений: области относительно высоких значений $g_0$ = 25-40 м$^3$/сут, что достаточно четко указывает на существование в пласте в природных условиях участков различной диффузионной и фильтрационной проницаемости и области с низкими значениями $g_0$ = 5-15 м$^3$/сут.

Вибрационная обработка пласта К-2 способствует: росту начальных



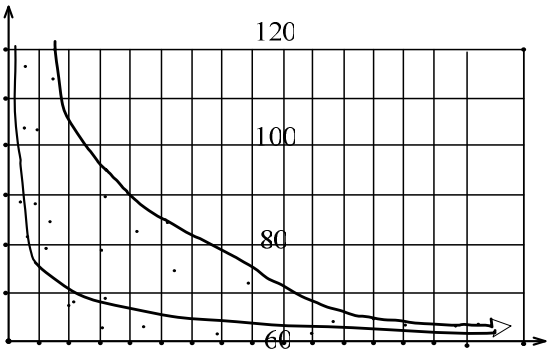




***Рис. 2. Скорость газоотдачи пласта К-2 из пласта лавы № 3-2 ГОАО «Шахтоуправления им. 17 Партсъезда»:*** а) – исходная зона участка пласта; *б) – вибрационной обработки*

значений $g_0$, что говорит об увеличении диффузионной и фильтрационной проницаемости пласта в 3-5 раз; общему снижению уровня газовыделения из пласта за счет более глубокой его дегазации по сравнению по сравнению с не обработанной зоной.

В характере описанной функции $g_0 = f(t)$ для стенок выработки конвейерного ходка имеется различие в интенсивности газовыделения. Так после вибрационной обработки, где было осуществлено вибровоздействие, выде-лилось по полсчетам 8,5-9,5 м$^3$ метана с тонны угольных запасов, скорость газоотдачи из стенок выработки конвейерного штрека, что в 3-4,5 раза больше чем в необработанной зоне. В связи с достигнутой значительной глубиной дегазации угольного массива в зоне вибрационной обработки пласта К-2 и интенсивным дренированием угольного массива, при этом скорость газоотдачи пласта в атмосферу лавы линейно нарастает по мере удаления от участка обработки.

Сравниваемые значения скорости газоотдачи из стенки забоя лавы в зонах вибровоздействия показывают (рис. 2), что при одинаковом характере снижения $g_0$ со временем интенсивность ее и начальные значения скорости газоотдачи на сравниваемом участке наиболее высока, а в зонах вибровоздействия имеет наименьшие значения. Абсолютные значения скорости газоотдачи в лаве не превышают 0,7-2,2 м$^3$/сут. Функция $g_0=f(t)$ описывается для сравниваемых зон экспоненциальной зависимостью

$$g_0 = A \exp в\, t, \text{ м}^3/\text{сут}, \qquad (2)$$

где коэффициенты имеют значения для необработанной зоны $A$ = 3,8, $в$ = -0,037 м$^3$/сут, для зоны вибрационной обработки, $A$ = 1,3, $в$ = -0,0082 м$^3$/сут.

Характер снижения скорости газоотдачи угольного пласта в зоне вибрационной обработки подтверждает вывод о создании в зоне воздействия несколько систем газопроводящих трещин, что позволило интенсивно дрени-

роваться газу из угольной толщи и обеспечить дегазацию участка обработки.

Интенсивность газоотдачи зависит от начального состояния угольного массива, характеризующейся природной газоносностью угля, до промежуточного состояния, характеризующегося газоносностью призабойной части угольного массива.

Сравнивая данные, полученные в процессе изучения зоны обработки, можно сделать вывод об интенсификации дегазации вследствие увеличения проницаемости угля на два-три порядка. Такой значительный рост проницаемости возможен вследствие образования и расширения трещин как экзогенного, так и эндогенного характера в угольном массиве, а также перестройки пористой структуры угля.

Полученные данные свидетельствует о том, что с приближением к участку вибровоздействия относительная метанообильность очистного забоя снижается.

В процессе воздействия изучалась месячная нагрузка на очистной забой на участке, которая характеризовала участок на котором выполнялись работы.

Так на участке обработки месячная производительность лавы увеличилась с 7,24 тыс. т до 11,3 тыс. т, т.е. изменилась примерно обратно пропорционально относительному метановыделению.

Однако и при примерно одинаковой месячной нагрузке на лаву ее относительная метанообильность может претерпевать существенные колебания. Это связано с наличием участков пласта с различной степенью нарушенности, что и определяет колебание параметров метановыделения.

Фактическая месячная производительность очистного забоя за время проведения исследований изменялась от 6,4 до 13,1 тыс. т.

Однако на участках наблюдения довольно четко вырисовываются три зоны:

1) зона понижающегося газовыделения (от 150-250 м);

2) зона пониженного газовыделения (от 250-300 м);

3) зона возрастающего газовыделения (300-350 м).

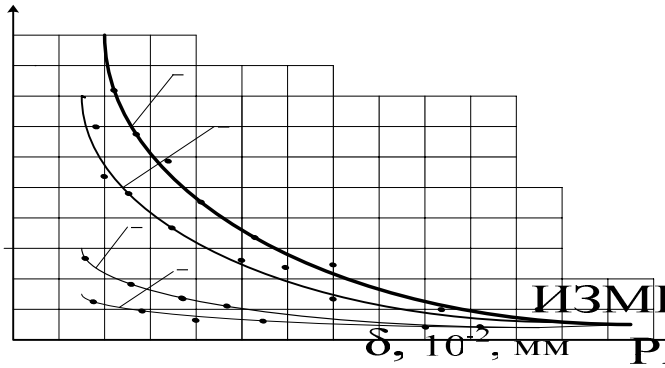
Значения абсолютного и относительного метановыделения в в этих интервалах близки между собой. Это снижение объясняется некоторым сокращением добычи. Однако характер изменения как абсолютной, так и относительной метанообильности лавы при подходе к участкам обработки остается общим: минимум метановыделения приходится на период прохождения через участок обработки. Об этом свидетельствуют и данные, представленные на рис. 2 и полученные параметры изменения метанообильности лавы. Результаты проведения исследований в совокупности со сведениями о горно-геологической ситуации на участке наблюдений, а также о параметрах вибровоздействия пласта, позволяет сделать следующие выводы.

1. На всем участке наблюдений от 500 и до зоны обработки участка отмечено три зоны: понижающего, пониженного и возрастающего метановыделения.

2. Снижение метанообильности очистного забоя при его работе на участке (100-200) м объясняется входом горных работ в зоны вибровоздействия.

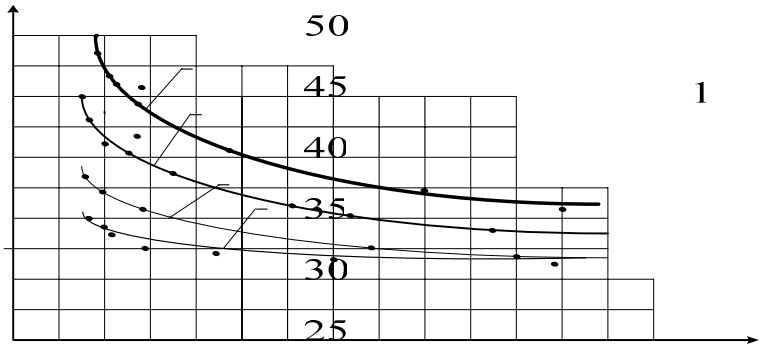
3. Максимальная метанообильность выработок в зоне пониженного газовыделения обусловлена наличием геологических нарушений на этом участке пласта.

Анализ результатов изучения данных АГЗ позволил сделать следующие выводы:




ИЗМЕНЕНИЕ ЗИЯНИЯ δ М
РАССТОЯНИЯ ДО ШП

*а) – по длине шпура;*




*б) – по простиран*

***Рис. 3. Характер изменения микротрещин пласта К-2 при вибровоздействии***

1. Месячный объем газовыделения и среднемесячная относительная газообильность подвержены резким колебаниям.

Наблюдается тенденция к снижению относительной газообильности участка по мере приближения к участку вибровоздействия, что объясняет увеличение темпов очистной выемки.

Сделанные наблюдения подтверждают вывод о возможности направленного изменения в угольном пласте таких свойств как газоотдача из массива, проницаемость и газоемкость.

Можно считать, что в зонах угольного пласта с интенсивной дегазацией с применением вибрационного воздействия по разработанной технологии можно достичь глубокой дегазации угольного массива, что в конечном итоге обеспечит безопасность ведения как подготовительных так очистных работ.

Трещиноватость угольного массива в зоне вибрационной обработки.

Проблему раскрытия трещин при микрорасчленении пласта исследованы проф. Васючковым Ю.Ф. [2].

Закономерность, определяющая значения интенсивности газовой проницаемости участка пласта подвергнутого вибровоздействию, показывает, что она отражает пропускную

способность трещиновато пористой среды и характеризует ее газодинамическое сопротивление.

К основным параметрам образовавшейся блочно-трещиноватой среды в процессе воздействия относятся проницаемость трещин *Кпр.*; функция перетока газа из образовавшихся блоков в трещины $\alpha_{пер.}$; пористость трещин $m_{тр.}$; фиктивная пористость $m_{пр}$.

Газоотдача из образовавшихся блоков и разрушившегося угля в процессе вибровоздействия, представляет собой процесс релаксации, обусловленный воздействием на угольный пласт, приводящий к образованию новых и увеличению зияния существующих трещин, а значит приводящему к резкому увеличению площади газоотдачи.

Газовая проницаемость является обобщающей многофакторной характеристикой.

При этом оказывает существенное влияние на газовую проницаемость горного давления. Известно, также, что краевая часть угольного пласта имеет эффективную пористость в 2-4 раза выше, чем ее природное значение, соответственно и газовая проницаемость краевой части пласта должна быть выше на 2-4 порядка.

Применение вибрационного воздействия увеличивает трещиноватость и пористость образовавшихся блоков, что значительно обеспечивает скорость переноса газа в угольном массиве. При вибрационном воздействии образуется значительная сеть трещин и снижает давление газа сорбированного при давлении Рн, т.е. в явном виде зависимость переноса газа из сорбированного состояния Qн.с. = Qн.с.(Рн) определяется уравнением изотермы сорбции газа из угольного массива в процессе воздействия.

Кроме того, необходимо знать начальное пластовое давление газа *Рн.п.;* границы зоны обработки пласта *Rэф*, в процессе вибровоздействия, а также распределение давления газоносности по образовавшимся трещинам и блокам.

Проницаемость угольного пласта обуславливается системами развитых в нем открытых трещин и пропорциональна их пустоте. Подсчет густоты видимости трещин определяется по формуле [1]

$$Г_в = \frac{n}{L};\ 1/мм \qquad (3)$$

где $Г_в$ – густота трещин; $n$ - количество видимых трещин; $L$ – длина нормали и плоскости измеряемых видимых трещин.

Е.С. Ромм [1] дает запись коэффициента трещиноватости в функции параметров трещиноватости:

$$Кт = B \sum \frac{\sum b^3 l}{\sum S}; \qquad (4)$$

где $B$ – среднее раскрытие трещин, мм; $l$ – средняя длина трещины, мм; $S$ – площадь станции замеров, мм$^2$; b – численный коэффициент, зависящий от количества трещин.

В лаве производились наблюдения трещиноватости пласта К-2 с целью определения параметров пластовых систем трещин и конфигурации зоны обработки пласта в процессе вибровоздействия. Наблюдения также проведены на соседнем участке с одинаковыми горногеологическими условиями – в лаве № 3-2 пласта ГОАО «Шахтоуправление им. 17 Партсъезда».

При изучении трещиноватости в лаве измерялись параметры трещин. Производилось описание их морфологии и минерального заполнения, фиксирова-

лись отдельные крупные трещины и системы трещин.

В каждом пункте наблюдения визуально выделено по две взаимно перпендикулярных системы естественных нормальносекущих внутрислойных трещин. Хорошо выражены и изучены трещины основной, наиболее выраженной системы трещин. Трещины второй системы выражены хуже, имеют ломаную поверхность, вследствие большей густоты трещин первой системы. Трещины третьей системы обладали явно выраженной густотой на отдельных обработанных блоках угля.

При вибровоздействии появляются дополнительно 2-3 новых систем трещин, что является результатом вибрационного воздействия.

Внутрислойные трещины представляют собой основную систему трещиноватости, где в зоне воздействия развиваются крупные трещины, секущие весь пласт. Эти трещины, искусственно вызваны, отличаются от естественных нормальносекущих трещин меньшими размерами.

Выдержанными элементами ориентировки трещин – при их образовании отмечено несколько внутрислойных нормальносекущих трещин, которые сливаются в одну искусственную, внутрипластовую, Искусственные трещины, вследствие невыдержанной ориентировки, имеют извилистую форму. Поверхность их стенок неровная, раскрытость доходит до 0,1- 5,0 мм.

Наиболее крупные искусственные трещины секут всю основную пачку угля, направлены по естественным нормальносекущим трещинам, имеют зияние до 2,0-5,0 мм, заполнены перемятым углем и угольной пылью.

Из наблюдения проведенного после вибровоздействия следует, что элементы ориентировки систем пластовых трещин меняются незначительно, по сравнению с природной. При определении систем учтено, что трещины одной системы с углами падения, близкими к нормальным и противоположными направлениями падения имеют азимуты падения, различающимися на $180^{o}$, они отнесены к одной системе трещин. Элементы ориентировки систем трещин имеют небольшой разброс.

Густота трещин в различных пунктах наблюдения колеблется: по первой системе трещин 1,7–5,6 *1/см*, по второй системе трещин – 2,1-3,8 *1/см*.

Анализ результатов исследований показал, что две системы трещин, наблюдаемые в пласте К-2, принадлежат к одному генетическому типу и параметры их ориентировки не испытывают закономерных изменений, а разнятся лишь за счет случайных вариаций. Пункты наблюдения имеют одну и ту же геологическую характеристику: ориентировка пласта в пунктах наблюдения не меняется. Но из трех выявленных систем трещин результаты, полученные в процессе вибровоздействия, существенно отличаются от всех остальных.

В результате исследования трещиноватости пласта К-2 в лаве в зоне вибровоздействия установлено, что ориентировка естественных систем трещин практически не отличается от трещин вибровоздействия (искусственных). Выявлено отличие трещин вибровоздействия от естественного происхождения протяженностью и зиянием.

Следовательно, газовая проницаемость угольного массива в процессе вибровоздействия представляет собой характеристику коллекторских свойств обрабатываемого массива. При изучении газоотдачи из угольного массива с ненарушенной структурой фильтрация

газа будет ламинарной и изменяться от характера воздействия на него.

В угольном массиве, подвергнутому вибрационному воздействию, уже при незначительных воздействиях возникают условия для перераспределения напряжений и образования нескольких систем трещин, т.к. появляются упругие деформации. При этом разрушение слоев угля зависит от имеющейся системы трещин, мощности пласта, глубины разработки и склонности угля к хрупкому разрушению. Краевая часть угольного пласта испытывает деформации растяжения направленные как перпендикулярно напластованию, так и в сторону поверхности обнажения. Деформации растяжения приводят к образованию систем трещин, увеличивающей газовую проницаемость.

Трещиноватость и газовая проницаемость угольного массива характеризуется двумя различными состояниями- это состояние геомеханического равновесия до вибрационного воздействия и после этого воздействия. Область и характер влияния вибрации на угольный массив определяется стадиями воздействия. При вибровоздействии образуется системы трещин, их значительный рост по длине. Дальнейшее воздействие сопровождается прорастанием трещин в образовавшихся блоках меньших размеров. При этом образуются зоны в образовавшихся блоках с участками интенсивного дробления. Образовавшиеся вновь блоки приводят к увеличению площади обнажения, которая существенно начинает отдавать газ, поскольку является свежей обнаженной поверхностью.

Рост трещиноватости в процессе вибровоздействиии при увеличении времени и интенсивности воздействия оценивается глубиной проникновения их на участке воздействия. На этом участке наблюдается существенное увеличение трещиноватости и проницаемости угольного массива.

В случае приложении внешних воздействий (гидрорасчленение, вибровоздействие и т.д.) на угольный пласт происходит активизация тектонической деятельности, которые приводят к образованию новых и расширению существующих трещин.

Ведущим фактором процесса является интенсивный энергоперенос, определяющий изменение структуры горного массива, проявление аномалий физических и гидрохимических свойств пород. При этом происходит перераспределении напряжений в массиве горных пород с формированием зон разгрузки. Подобные зоны возникают на стадии также в частности, процессе вибровоздействия. Такие структурные нарушения закладываются в период преобразования угленосной толщи в процессе вибровоздействия. В зависимости от степени воздействия меняется структура, текстура угля. Структурная неоднородность массива в этом случае создается в результате смены характера воздействия на толщу угля. Напряженно-деформированное состояние массива под действием вибровоздействия и тектонических сил изменчиво в зависимости от прочностных и деформационных параметров угля.

Воздействие вибрации существенно повышает изменчивость физико-механических свойств пород с развитием естественной дискретности и зональности в напряженно-деформированном состоянии массива.

В условиях неоднородного по свойствам массива, тектонические деформации приводят к образованию разнообразных

типов структур, среди которых нарушения, разрушая блочную структуру массива, оказывают наибольшее влияние на изменение свойств и состояние, а также в распределении напряжений в горных породах.

Деформирование блочного массива происходит путём создания в нем дополнительной системы трещин и увеличение числа и величины зияния трещинам, а также за счёт вновь образующихся разломов. Процесс образования крупных трещин включает появление серии мелких трещин, которые разрастаются и объединяются в протяженные, сложно построенные системы трещин. Наблюдается весьма равномерное распределение трещин в блоке.

При этом в пределах одного блока, характеризующегося неизменной ориентацией главных трещин, появление новых трещин будет изменяться и в зависимости от пространственной ориентировки нарушений.

Неравномерность распределения трещиноватости в блоке проявляется не только по нормали к нему, но и по поверхности контакта. С удалением от контактной поверхности вибровоздействия направление трещин постепенно выравниваются, при этом приобретают направление и величины, присущие трещинам всего блока угля на участке обработки.

Выводы

1. Деформирование блочного массива при вибровоздействии происходит путём создания в нем дополнительных систем трещин (до 2-3) и увеличение числа и величины зияния трещинам (в 3-5 раз).

2. Характер снижения скорости газоотдачи угольного пласта в зоне вибрационной обработки подтверждает вывод о создании в зоне воздействия несколько систем газопроводящих трещин, что позволило интенсивно дренироваться газу из угольной толщи и обеспечить дегазацию участка обработки.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***

1. *Ромм Е.С.* Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. - М.: Недра. - 966. - 133 с.

2. *Васючков Ю.Ф.* Химико-физические способы дегазации угольных пластов. - М.: Недра, - 1986. - 255 с. ГИАБ

## *Коротко об авторах*

*Васючков Юрий Федорович* – профессор, доктор технических наук,
*Павленко Михаил Васильевич* – доцент, кандидат технических наук,

Статья представлена кафедрой «Подземная разработка пластовых месторождений» Московского государственного горного университета.