

ПРОГНОЗ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СДВИГОВ СТВОЛОВ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН, ПРОБУРЕННЫХ С ПОВЕРХНОСТИ

М.А. Ильяшов, И.А. Дедич, ПрАО "Донецксталь" - металлургический завод", Украина

Е.Н. Халимендигов, ПАО "Шахтоуправление "Покровское", Украина

В.В. Радченко, ГП "Институт "УкрНИИпроект", Украина

В.В. Назимко, Донецкий национальный технический университет, Украина

Предложена комплексная методика прогнозирования сосредоточенных сдвигов стволов дегазационных скважин, пробуренных с поверхности. Методика разработана по результатам исследований цифровой четырехмерной геомеханической модели массива горных пород и откалибрована по результатам натуральных наблюдений деформации дегазационных скважин, пробуренных с поверхности.

Конъюнктура рынка ископаемых энергоносителей начала XXI века формирует условия для интенсивного развития способов извлечения метана угольных пластов. Основой большинства способов извлечения метана (дегазации) на действующих угледобывающих предприятиях являются скважины. Сооружение скважин направлено на решение комплекса проблем по обеспечению безопасности ведения подземных горных работ по газовому фактору, снижению негативного воздействия на окружающую природную среду, а также эффективному использованию ресурсов. Горно-геологические условия и применяемые системы разработки угольных шахт определяют основной источник выделения метана в очистные и подготовительные выработки – это пласты-спутники, находящиеся в кровле разрабатываемого угольного пласта. Улавливание метана осуществляется скважинами, пробуренными из выработок и поверхности.

Наиболее типичным угледобывающим предприятием Украины, ведущим свою деятельность в конкурентных условиях рынка, оснащающим производство современными образцами горнодобывающей техники, эффективно использующим возможности дальнейшей по переработке угольной продукции является шахтоуправление "Покровское". Данное предприятие отрабатывает полого залегающий угольный пласт d_4 на глубине 700-900 м. Горно-геологические условия, характеризуются как сложные и выражаются в интенсивной нарушенности пласта и вмещающих пород мало амплитудными геологическими нарушениями, высокой природной газоносностью угленосной толщи и агрессивностью подземных вод.

Шахтоуправление "Покровское" обеспечивает высокую концентрацию работ посредством достижения максимально - возможных показателей во всех элементах технологического цикла предприятия. В большинстве случаев при отработке запасов на угольных пластах средней мощности допустимая нагрузка на очистной забой ограничена по газовому фактору. Для преодоления данного ограничения в шахтоуправлении "Покровское" применена комплексная система текущей дегазации, основанная на сооружении дегазационных скважин из выработок и с поверхности. Извлекаемая системой комплексной дегазации метановоздушная смесь направляется на когенерационную установку и котельные, для переработки в тепло или электроэнергию с помощью генераторов фирмы GE Jenbacher GmbH.

Системные наблюдения за продолжительностью и интенсивностью дебита дегазационных скважин показали, что эффективная работа скважины наблюдается только после ее непосредственной подработки на протяжении от нескольких недель до нескольких месяцев, а по отдельным примерам даже более года. Существенная вариативность показателей суммарного объема извлечения метана по скважинам в абсолютно идентичных на первый взгляд условиях свидетельствует о скрытых резервах способа дегазации, которые следует изучить и использовать. На рис.1. показана типичная динамика дебита для дегазационных скважин, пробуренных с поверхности.

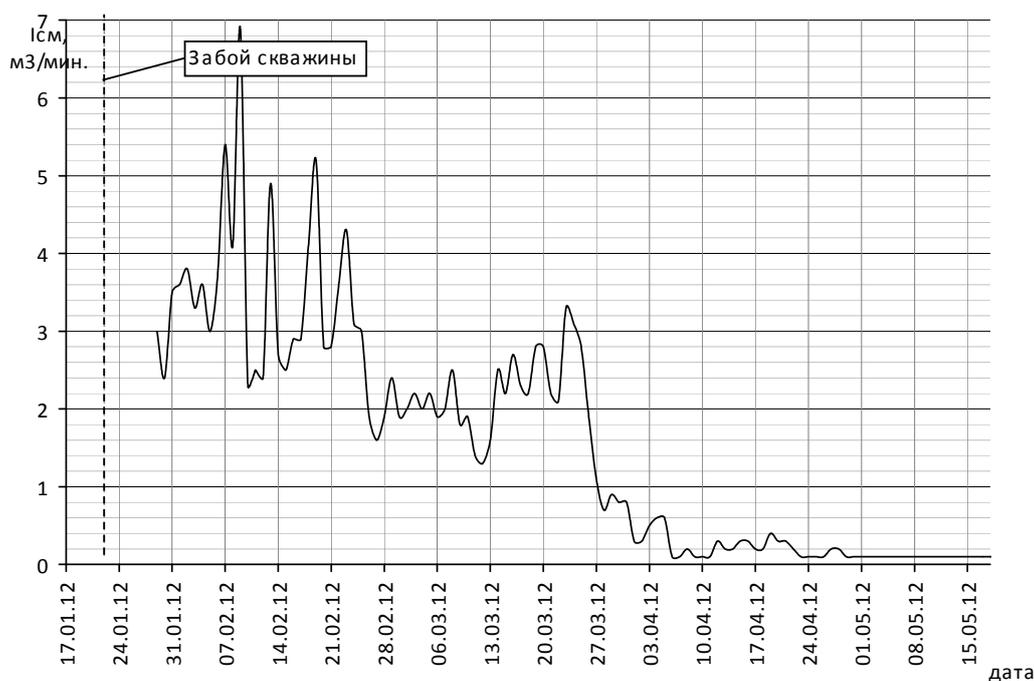


Рис. 1. Динамика дебита дегазационных скважин
(на примере скважины ДС12)

Газовыделение фиксируется в среднем через 7 дней после подработки скважины очистным забоем. Примерно через 10-20 суток дебит скважины достигает максимума и составляет 7-10 м³/мин. После этого наступает неустойчивое затухание дебита, который практически полностью прекращается после удаления лавы от проекции скважины на 150-250 м. Неустойчивый характер дебита дегазационных скважин указал на возможное разрушении крепи скважины или ее затопление подземными водами. Обзор ранее проведенных исследований [1,2] подтвердил возможность таких явлений. Следовательно, обосновывается актуальность проблемы прогноза разрушений скважин, пробуренных с поверхности и обоснование способов повышения их устойчивости, которая на сегодняшний день практически не изучена.

Анализ данных по дебиту дегазационных скважин, указал на наличие ранее не исследованных процессов или факторов во многом определяющих эффективность способа дегазации. Ввиду финансовой и физической сложности проведения реальных экспериментов со скважинами, пробуренными с поверхности, основным методом исследования интересующих процессов является компьютерное моделирование. Данный подход позволяет выявить основные факторы и свойства изучаемого объекта оригинала, исследовать отклик моделируемой физической системы на изменение её параметров и начальных условий.

На рис.2 приведена трехмерная модель шахтного поля шахтоуправления "Покровское", на которой показаны геологоразведочные скважины, пробуренные с поверхности, а также расположение разрабатываемого угольного пласта и пластов-спутников. База исходных данных о строении и свойствах толщи пород на данном месторождении угля формируется не только на информации, полученной при геологоразведке, но и по результатам исследований проводимых в дегазационных скважинах. Стратиграфический разрез разрабатываемой толщи в центре первой очереди блока 10, интенсивно разрабатываемого в настоящее время, представлен перемежающимися слоями алевролитов, аргиллитов и песчаников в соотношении 3:2:1. Реже встречаются известняки, угольные пласты и их спутники нерабочей мощности. Прочность песчаников на одноосное сжатие изменяется в пределах 40-90 МПа. Песчаники имеют значительную пористость (2-5%). Алевролиты имеют прочность от 30-60МПа и содержат от 10 до 60% глинистых минералов в зависимости от типа цемента. Аргиллиты характеризуются сравнительно низкой прочностью, которая изменяется в пределах 20-50МПа и способны выполнять функции водоупоров и газовых покрышек.

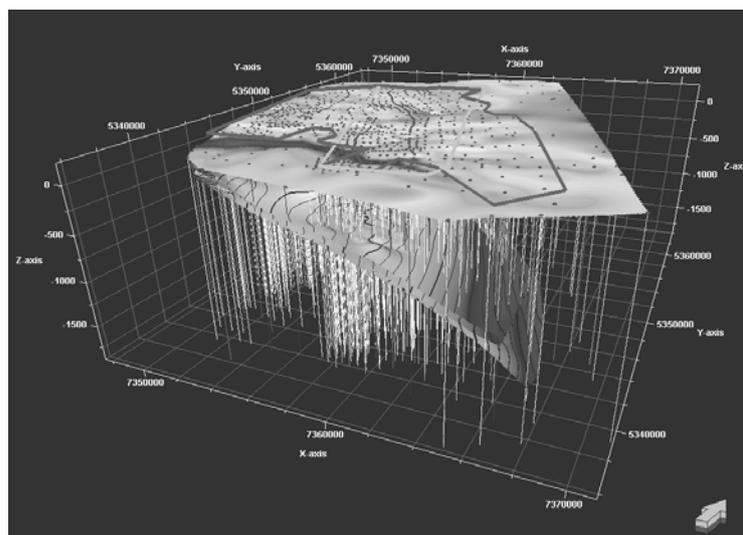


Рис. 2. Модель месторождения шахтного поля шахтоуправления "Покровское"

Как уже было выше сказано, основной объем метановоздушной смеси, извлекаемой дегазационными скважинами начинает поступать в скважину после ее подработки и попадания в зону активных сдвижений. Вид этой зоны в разрезе наглядно продемонстрирован на рис. 3 и получен по данным физического моделирования на эквивалентных материалах. Стрелками 1 указаны наиболее вероятные места разрушения дегазационных скважин. При этом анализ результатов моделирования свидетельствует о том, что наиболее вероятная форма разрушения канала скважины должна иметь форму сосредоточенного среза вдоль плоскости напластования. Такие разрушения обусловлены расслоением толщи в зоне активных сдвижений позади движущегося очистного забоя и проскальзыванием одного слоя относительно соседнего или смежного слоя, который находится с ним в контакте.

На рис. 3 поверхности расслоения, вдоль которых наиболее вероятно разрушение толщи, а значит и ствола скважины выделены линиями, совпадающими со слоистостью подрабатываемого массива.

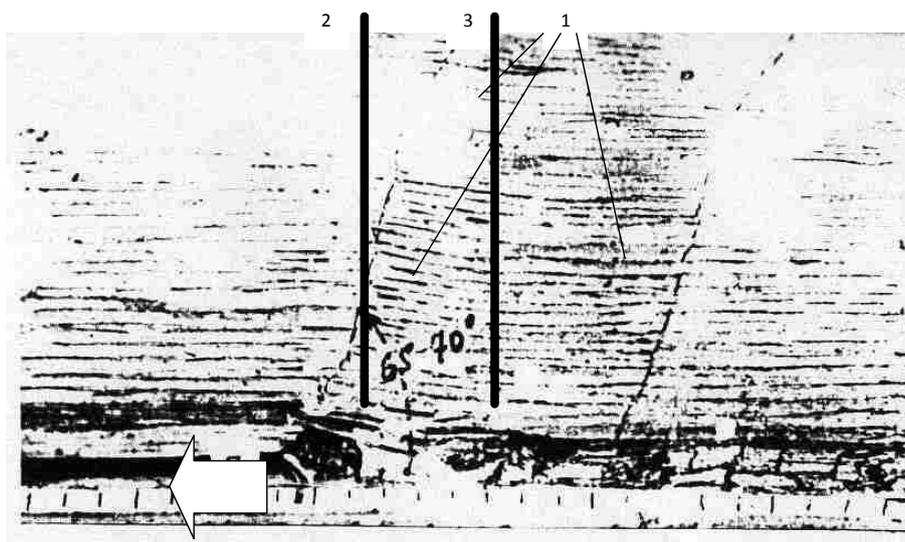


Рис. 3. Вид толщи в области активных сдвижений по результатам многочисленных исследований ВНИМИ, ДонУГИ, ДПИ (ДонНТУ) на моделях эквивалентных материалов

Наиболее вероятный интервал разрушения скважины сильно зависит от расстояния, на которое очистной забой удалился после ее подработки. На рис.3 условно показан ствол скважины 2, у которого может разрушиться только нижняя или донная часть, поскольку она

уже попала в зону наибольших изгибов с возможным расслоением сплошности. В отличие от этого, скважина 3 может разрушиться на всем интервале, поскольку нижняя часть скважины уже перешла в зону полных сдвижений, а верхняя часть ее интервала находится в зоне максимальных изгибов. Важно отметить, что сосредоточенный срез ствола скважины имеет максимальную амплитуду в зоне наибольших изгибов, а после перехода скважины в зону полных сдвижений амплитуда среза может уменьшиться или совсем исчезнуть. Эти явления сопровождают сложный процесс необратимых сдвижений массива горных пород. При этом, величина сосредоточенного среза ствола скважины зависит от множества факторов: механических свойств горных пород; физико-механических свойств контактов между смежными породными слоями, а также величины перепада указанных свойств; степени обводненности подрабатываемого массива; скорости подвигания очистного забоя, который подрабатывает скважину; места расположения скважины относительно боковых границ выработанного пространства, то есть относительно вентиляционного или конвейерного штрека; расстояние до кровли обрабатываемого пласта; и ряда других.

Следовательно, одним из направлений повышения эффективности способа дегазации скважинами, пробуренными поверхности является прогноз сосредоточенных срезов скважин. Решение данной задачи находится в плоскости геомеханики необратимых сдвижений подрабатываемой толщи. В данной работе описано исследование указанных геомеханических процессов комплексным методом, включающим: изучение физико-механических свойств вмещающих пород; анализ гидрогеологии подрабатываемого массива; мониторинг состояния скважин с помощью цифровой глубинной камеры; мониторинг дебита метана и его давления; контроль уровня затопления скважин подземными водами. Основное внимание уделено компьютерному моделированию динамики напряженно-деформированного состояния подрабатываемого массива, в котором размещены дегазационные скважины.

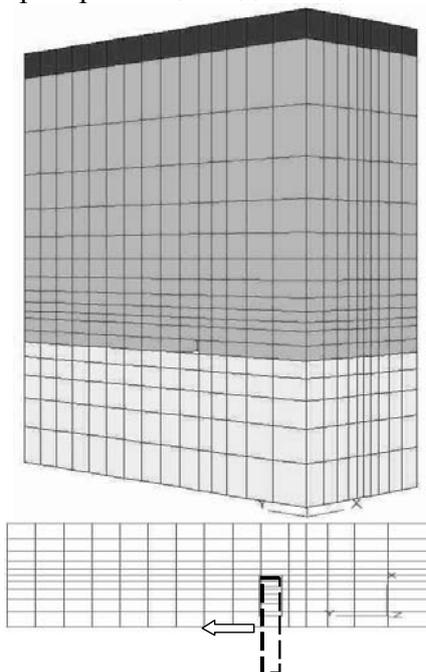


Рис. 4. Расчетная схема. Положение лавы показано при отходе от разрезной печи на 40м (вид в плане)

В качестве алгоритма компьютерного моделирования применен метод конечных разностей для решения системы дифференциальных уравнений, описывающих второй закон Ньютона в дифференциальной форме, а также необратимое поведение горных пород в условиях трехмерного напряженного состояния. Таким образом в явном виде учитывалось время протекания процессов необратимых сдвижений массива горных пород, что позволило учесть влияние скорости подвигания лавы.

На рис. 4 приведена расчетная схема модели, с помощью которой осуществлялось изучение эволюции напряженно-деформированного состояния толщи в процессе отработки лавы. Ширина модели составила 300 м, высота 700 м, длина вдоль направления подвигания очистного забоя 600 м. Указанные габаритные размеры предоставили возможность расположить выработанное пространство лавы длиной 200 м в модели так, чтобы не нарушить граничные условия моделирования.

Данная модель предусматривает: расположение монтажной камеры на расстоянии 200 м от границы расчетной области; расстояние от конвейерного штрека до боковой стенки расчетной области составляет 200 м; а дно модели отстояло от почвы обрабатываемого паста также на расстоянии 200 м. Указанные параметры позволяют устранить возможное влияние стенок модели на напряженное состояние толщи в окрестности действующего очистного забоя.

Строение толщи вокруг лавы принято в виде типичного слоистого массива, отражающего характерную стратиграфию для условий Донецко-Макеевского и Красноармейского угленосных районов. Мощность наносов составила 40 м. Вынимаемая мощность пласта 2 м. Длина лавы 200 м, скорость подвигания очистного забоя 100 м/мес. Моделирование подвигания осуществлялось в пять этапов по 40 м. На каждом этапе производился расчет напряженно-деформированного состояния с учетом достигнутого на начало этапа состояния. Другими словами в качестве начального состояния системы принималось состояние, полученное на предыдущем этапе подвигания.

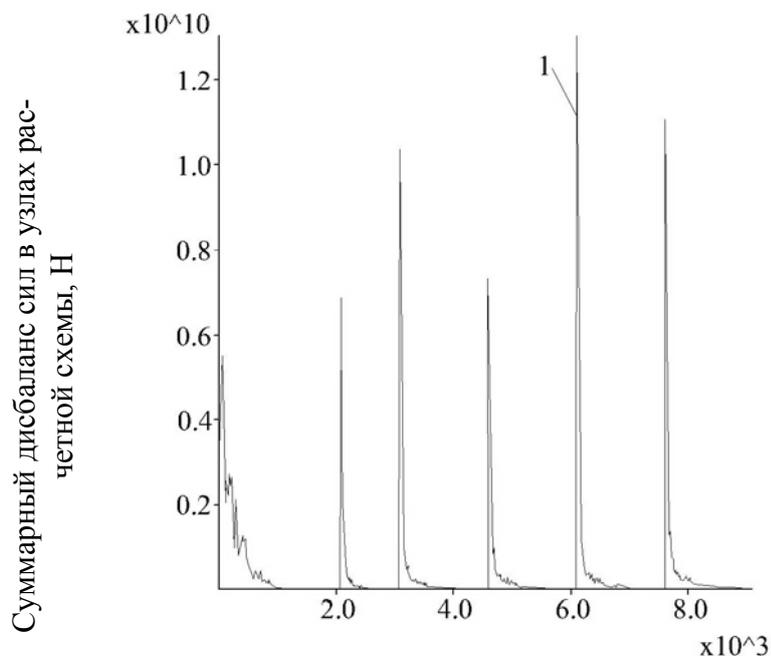


Рис. 5. Динамика сдвижений подрабатываемого массива горных пород

Исследованию подверглась правая по ходу лавы половина расчетной области. Необходимо указать, что на первом этапе решалась задача о напряженном состоянии нетронутого массива и только после этого осуществлялась первая выемка заходки на длину 40 м. Такой подход существенно повысил достоверность результатов моделирования, поскольку задача решалась в неупругой постановке. Также следует отметить, что неупругий вариант решения учитывал запредельное деформирование пород с учетом их дилатансии (изменение объема материала при сдвиговой деформации) и длительной прочности, что также содействовало увеличению достоверности результатов моделирования. На рис. 4 показано положение лавы и ее выработанного пространства в плане на момент отхода от монтажной камеры на 40 м. Левая половина лавы является виртуальной и с учетом принятых граничных условий в ее явном моделировании нет необходимости исходя из симметрии расчетной области относительно центральной линии выработанного пространства в направлении подвигания лавы. На рис. 5

приведена диаграмма дисбаланса сил в узлах расчетной области по мере подвигания очистного забоя. Первый пик нарушения равновесия массива приурочен к решению задачи о нахождении напряженного состояния нетронутого массива. Далее следуют пять пиков нарушения равновесия, связанных с подвиганием лавы, причем пик 1 отвечает моменту первичной посадки основной кровли. Как видим, эти закономерности хорошо отражают поведение толщи при отработке лавы в реальном массиве горных пород.

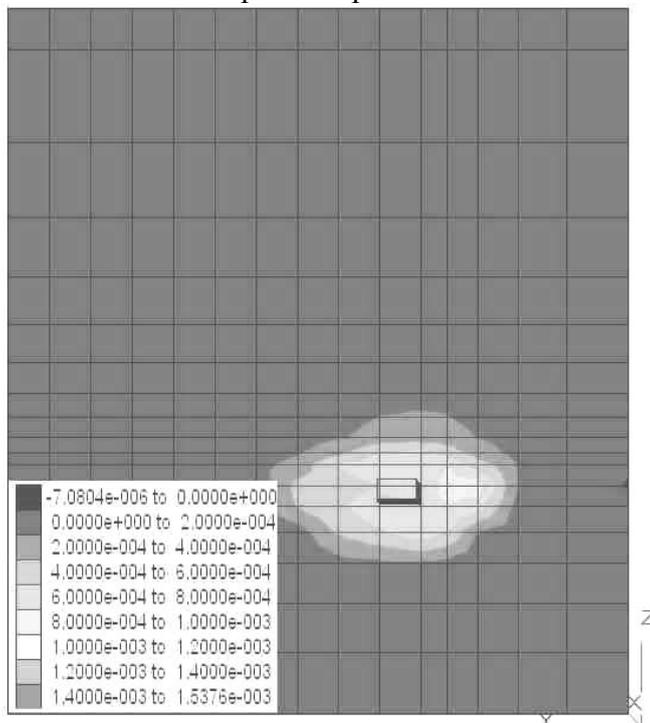


Рис. 6. Распределение интенсивности касательных деформаций толщи при отходе лавы на 40 м

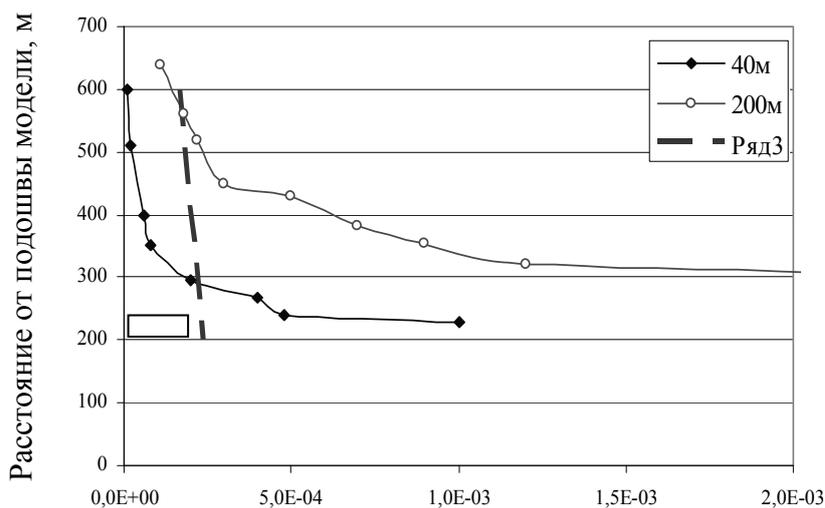


Рис. 7. Распределение интенсивности касательных деформаций по глубине

В связи с тем, что предварительный анализ результатов физического моделирования показал, что главной причиной разрушения и возможного перекрытия каналов скважин являются сосредоточенные сдвиги толщи, основное внимание уделялось изучению касательных деформаций. На рис. 6 показано распределение интенсивности этих деформаций вокруг лавы

после ее отхода на 40 м. Именно интенсивность касательных деформаций является одной из главных компонент большинства моделей прочности горных пород. Максимум интенсивности деформаций составляет 0,00154 (0,15%) и наблюдается в окрестности выработанного пространства лавы позади монтажной камеры, от которой отошел очистной забой.

По мере удаления в сторону кровли величина касательных деформаций быстро затухает и на расстоянии 150 м от кровли отработанного пласта уменьшается на порядок. При дальнейшем отходе лавы от монтажной камеры максимум интенсивности касательных деформаций перемещается в подработанную толщу, а величина деформаций существенно возрастает. Так, при достижении расстояния 200 м максимальная величина деформаций возрастает до 2% в непосредственной близости к выработанному пространству обрабатываемой лавы, причем положение максимума интенсивности деформаций приурочено к области, расположенной примерно над средней частью общего выработанного пространства, которое сформировалось на текущий момент.

На рис. 7 приведены сводные распределения касательных деформаций в подработываемой толще для разной величины отхода лавы от монтажной камеры. Анализ показывает, что все распределения деформаций имеют подобную форму кривых и характерные особенности, которые заключаются в следующем. Во-первых интенсивность касательных деформаций, ответственных за возникновение сосредоточенного сдвига вдоль напластования возрастает по мере увеличения размера выработанного пространства или по мере отхода лавы от монтажной камеры. Во-вторых для одного и того же отхода лавы величина деформаций затухает по мере удаления вверх от кровли отработанного пласта. В-третьих максимум деформаций приурочен к области, расположенной примерно над средней частью выработанного пространства. В-четвертых графики распределения максимальных деформаций имеют особенности, которые состоят в следующем.

Затухание деформаций по мере удаления вверх от кровли отработанного пласта происходит вначале с замедлением (интервал 1). На этом участке темпы падения деформаций изменяются от $6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$ до $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$. Затем на интервале 2 опасные деформации затухают с ускорением ($4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$). Характерно, что конец интервала 2 приурочен к высоте примерно равной длине лавы, которая подработывает толщу. При дальнейшем увеличении расстояния от кровли обрабатываемого пласта деформации уменьшаются в затухающем темпе ($1 \cdot 10^{-6 \dots 5} \text{ м}^{-1}$), падение которого пропорционально удалению от кровли. В наносах интенсивность касательных деформаций затухает практически до нуля.

Специальными исследованиями также установлено [3,4], что с увеличением темпов подвигания лавы касательные деформации в подработываемой толще существенно уменьшаются. При этом характерна та особенность, что степень затухания амплитуды касательных деформаций в непосредственной близости к обрабатываемому пласту (то есть в районе основной и непосредственной кровель) максимальна. На большем же удалении от кровли обрабатываемого пласта величина касательных деформаций тоже падает с ростом скорости подвигания лавы, однако темпы ее падения меньше.

Полученные закономерности позволяют сделать следующие предварительные выводы. Во-первых наиболее вероятно, что ствол скважины будет поврежден деформацией сосредоточенного среза после подработки скважины и удалении лавы от проекции скважины на расстояние, не меньшее половины длины лавы. Во-вторых вероятность сосредоточенного среза скважины при прочих равных условиях увеличивается с приближением к кровле обрабатываемого пласта. Чем ближе участок скважины к кровле пласта, тем больше вероятность ее сосредоточенного среза. В-третьих вероятность сосредоточенного среза ствола скважины возрастает по мере отхода лавы от монтажной камеры и по-видимому стабилизируется на максимальном значении после отхода лавы на расстояние, равное ее длине.

С практической точки зрения представляет особый интерес определение допустимого уровня интенсивности касательных деформаций, при превышении которого может произойти сосредоточенный сдвиг в слоистой толще вдоль напластования, а, следовательно, ствол дегазационной скважины нарушится сосредоточенным срезом. Для решения указанной задачи следует иметь ввиду то, что разрушение слоистого массива в виде сосредоточенного сдвига

происходит в условиях трехмерного напряженного состояния, которое реализуется в динамике во времени (то есть зависит от скорости подработки массива) и в условиях влияния подземных вод, которые, как известно, уменьшают прочность вмещающих пород.

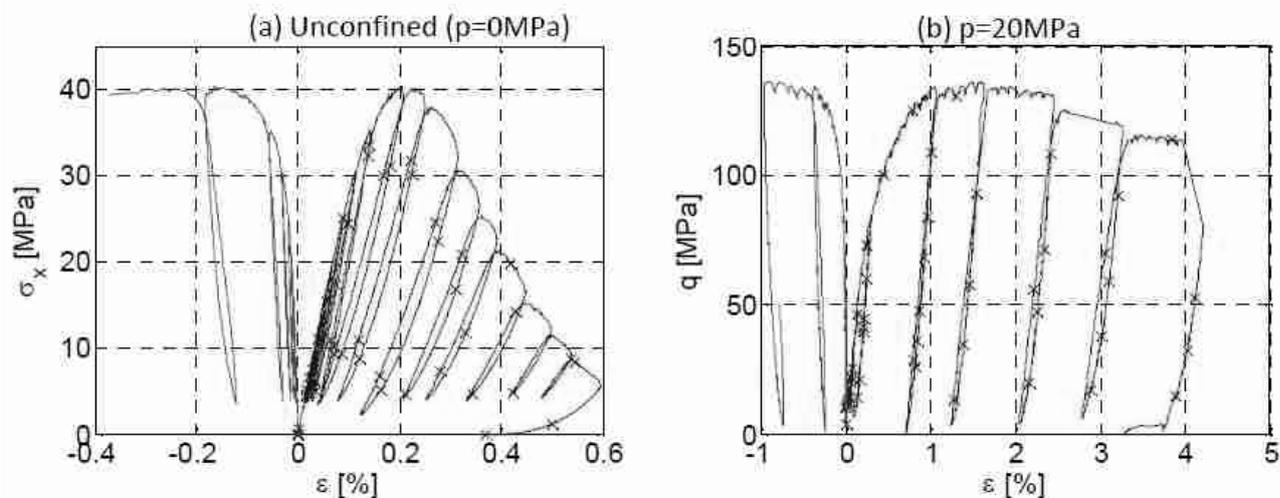


Рис. 8. Зависимость девиатора напряжений q от девиатора деформаций ε при разном уровне всестороннего сжатия p согласно результатам трехосных испытаний образца [5]

Для учета указанных выше факторов использованы результаты испытаний горных пород в условиях трехмерного напряженного состояния [5-8]. Решение задачи усложняется тем, что деформирование и даже разрушение подрабатываемой толщи происходит как правило в режиме заданной деформации. Испытания образцов горных пород в данном случае необходимо осуществлять на жестких прессах. В данной работе были использованы результаты испытаний зарубежных лабораторий.

На рис. 8 приведены графики зависимостей девиатора напряжений q от девиатора деформаций ε при разном уровне всестороннего сжатия p согласно результатам трехосных испытаний образца. Девиатор как известно представляет собой разность напряжений или деформаций между отдельными компонентами и средним их значением. Фактически девиатор деформаций и представляет собой интенсивность касательных напряжений, которая исследуется в данной работе. Итак слева на рис. 8 показана диаграмма испытаний образца в условиях одноосного сжатия на жестком прессе (то есть в условиях заданной деформации). При этом испытуемый образец имел прочность на одноосное сжатие, близкую к 40 МПа. Такая порода является весьма типичной для условий Донбасса.

Справа от вертикальной оси графика приведена динамика изменения девиатора деформаций, которые совпадают по направлению с активной силой, которую прикладывали к образцу в процессе испытаний. Слева от оси показана диаграмма изменения девиатора деформаций в направлении, перпендикулярном направлению силы. Циклические петли на диаграммах отражают повторяющийся процесс нагружения-разгрузки образца. Видно, что в условиях одноосного сжатия разрушение образца происходит при достижении девиатора деформации 0,2% в направлении действия испытательной силы и 0,1% в поперечном направлении. Правый график на рис. 8 показывает, что в условиях всестороннего сжатия, уровень которого соответствует глубине примерно 1300м, величина предельно допустимой деформации, при превышении которой начинается разрушение образца породы, увеличивается в 5 раз и доходит уже до 1%.

В любом случае очевидно, что предельная величина деформаций уже сопоставима с деформациями, которые возникают в подрабатываемой толще горных пород, а значит сосредоточенный срез ствола дегазационной скважины, пробуренной с земной поверхности весьма вероятен. Более того, с ростом глубины вероятность сосредоточенного сдвига быстро увеличивается и уже на глубине 100м (это соответствует всестороннему напряжению сжатия

примерно на уровне 2,5 МПа) в пять раз превышает вероятность разрушения породы от растяжения.

Дополнительно существуют три фактора, которые значительно понижают допустимый уровень девиатора деформаций. Первым фактором является обводнение массива горных пород. Наиболее чувствительны к обводнению являются породы, содержащие значительное количество глинистого цемента. Это в первую очередь аргиллиты и алевролиты с глинистым цементом. Доказано, что предел прочности породы может снизиться в несколько раз а то и на порядок при ее размокании, особенно в том случае, когда она содержит значительное количество глинистых минералов. Второй фактор, который содействует снижению прочности пород в массиве, связан с так называемым масштабным эффектом [9,10]. Фактически масштабный эффект связан с ослабляющим действием трещин и отдельностей, в результате чего прочность породы, определенная в образце может в несколько раз и даже на порядок быть меньшей при переходе к массиву от образца. Третий фактор снижения прочности породы зависит от скорости нагружения образца. Чем она меньше, тем предел прочности ниже [11]. Фактически скорость нагружения связана с темпами подвигания лавы [12]. Экспериментально подтверждено, что с уменьшением скорости деформирования образца падает его прочность, хотя в обводненных образцах этот эффект выражен слабо.

На предел прочности породы в массиве влияет множество факторов, причем это влияние часто противоречиво и поэтому достоверно определить предел прочности в конкретных условиях весьма проблематично. В частности значительную неопределенность в нахождение предела прочности вносит сильный разброс параметров трещиноватости (угол наклона и азимут трещин, их раскрытие, расстояние между трещинами, морфология поверхности трещин и обводненность, материал заполнителя полостей трещин). Это значит, что величину предела прочности массива пород на сосредоточенный сдвиг мы можем определить только с высокой степенью разброса, который имеет естественную природу и фактически неизбежен.

Сопоставляя расчетные деформации массива на сдвиг для отхода лавы от монтажной камеры на 200м и оценку допустимого уровня этих деформаций можно сделать однозначный вывод о том, что вероятность сосредоточенного среза ствола вертикальной скважины, пробуренной с поверхности и подверженной прямой подработке длинным очистным забоем весьма высока на любой глубине. Возможно, исключение касается только наносов, где интенсивность касательных деформаций незначительна.



Рис. 9. Результаты мониторинга скважин

Для экспериментального подтверждения полученной теоретической оценки были выполнены специальные инструментальные наблюдения полостей двадцати дегазационных скважин, которые были подработаны лавами. Мониторинг полостей скважин осуществлялся с помощью специальной глубинной цифровой камеры типа в пределах шахтного поля шахтоуправления "Покровское". Мониторинг полостей дегазационных вертикальных скважин, пробуренных с земной поверхности осуществлялся путем опускания глубиной цифровой камеры с помощью ручной лебедки на глубину 100-750м. При этом была сконструирована специальная капсула для герметизации цифровой камеры, поскольку ряд

скважин обследовались в затопленном состоянии. Капсула прошла специальные испытания в МакНИИ и подтвердила свою герметичность и гидростатическую стойкость.

Данные мониторинга полностью подтвердили результаты теоретических исследований, выполненных авторами данной работы. На рис. 9 приведены характерные снимки участков дегазационных скважин, на которых произошел сосредоточенный срез их стволов. Как видим, величина среза в некоторых случаях превышала 150мм, что больше радиуса скважины. Доказано [13], что при перерезывании ствола дегазационной скважины сосредоточенной деформацией сдвига на величину более, чем радиус этой скважины происходит резкое увеличение ее аэродинамического сопротивления, в результате чего она практически перестает каптировать метан.

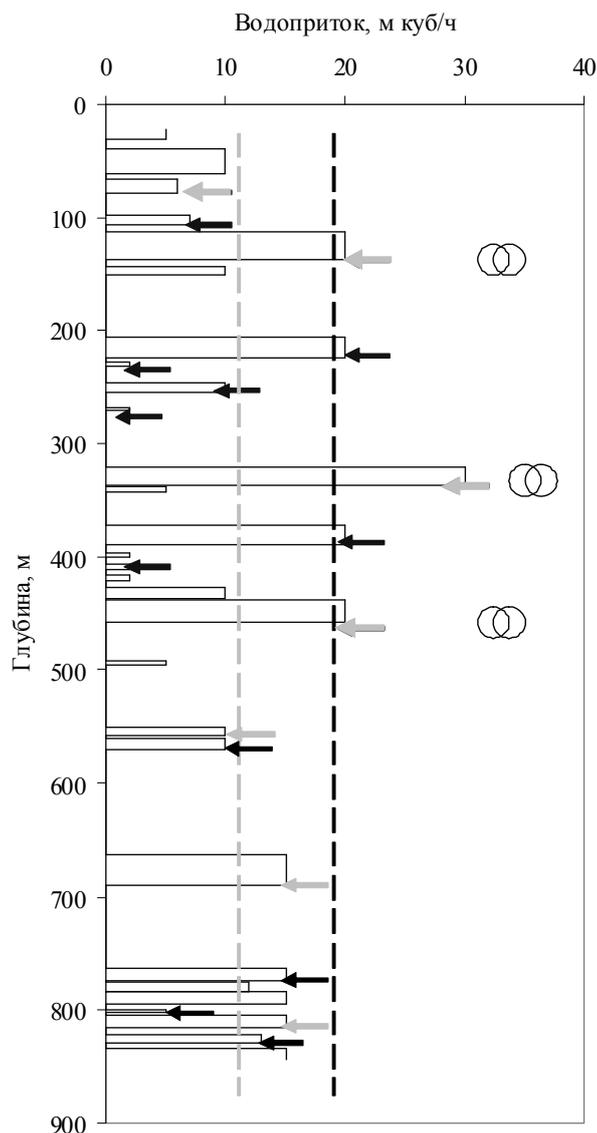


Рис. 10. Совмещенная схема распределение водопритоков и положения слоев аргиллитов (серым) и алевролитов, содержащих глинистый цемент (черным)

С учетом выполненных исследований разработана методика оценки возможных участков и интервалов дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности, в пределах которых возможно нарушение ствола в виде сосредоточенной деформации – среза, которая учитывает: стратиграфическое строение массива горных пород, подрабатываемого длинным очистным забоем; физико-механические свойства вмещающих пород и их контактов; степень обводненности массива и отдельных слагающих его породных слоев, темпы подвигания

лавы, глубину расположения участков дегазационных скважин и другие факторы, которые оказывают существенное влияние на вероятность разрушения ствола скважины.

На рис. 10 приведена диаграмма водопритоков из водоносных слоев песчаника совмещенная и структурная колонка одной из скважин, пробуренной с земной поверхности на отводе шахтоуправления "Покровское". Видно, что величина водопритоков колеблется в пределах от 2,5 до 30 м³/час. Стрелками выделены водоносные слои, которые подстилаются аргиллитами (серые стрелки) и алевролитами (черные стрелки), имеющими глинистый цемент. Вертикальными пунктирными линиями обозначены соответствующими цветами уровни, отвечающие допустимым сочетаниям величины водопритоков и содержанию глинистых минералов в подстилающих породных слоях. При превышении указанных уровней весьма вероятен сосредоточенный срез ствола скважины на участке контакта водоносного слоя с глинистой подстилающей породой.

Как видим на трех участках, расположенных на глубинах соответственно 137м, 328м и 457м цифровая глубинная камера зафиксировала сосредоточенные срезы скважины. Именно на указанных участках фактическое сочетание водопритоков значительно превышало допустимые уровни, что свидетельствует о достоверности результатов исследований и подтверждает надежность разработанной методики.

Дальнейшими исследованиями предусмотрено уточнение параметров методики с целью повышения ее надежности и точности получаемых результатов.

Список литературы

1. Бокий Б.В. Исследование физики потока газа к поверхностным скважинам/ Б.В. БокийЮ П.Е. Филимонов, С.Г. Ирисов// Уголь Украины,-2013.-№5.- С.26-30.
2. Кулибаба С.Б. Деформации крепи технических скважин при их подработке/ С.Б. Кулибаба, Б.В. Хохлов//Проблеми гірського тиску:сб. наук. праць. -Донецьк: Доннту, 2007. – Вип.15. –С. 141-150.
3. Назимко И.В. Исследование влияние скорости подвигания очистного забоя на характер деформирования покрывающих пород // Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Кривий Ріг, вип. 5(15), 2006. – С. 41 – 45.
4. Назимко И.В. Параметры зоны максимальных прогибов при разных скоростях подвигания очистного забоя // Проблеми гірського тиску. Збірник наукових праць ДонНТУ. Донецьк, №15, 2007. – С. 163 – 177.
5. Malecot Y. Strength and damage of concrete under high triaxial loading/ Yann Malecot, Laurent Daudeville, Fabrice Dupray, Cédric Poinard, Eric Buzaud// European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2010.- Vol. 14.- Issue 6-7.
6. Arnold E. Schwartz. Failure Of Rock In The Triaxial Shear Test// The 6th U.S Symposium on Rock Mechanics (USRMS), October 28 - 30, 1964 , Rolla, Missouri. Document ID 64-109 American Rock Mechanics Association.
7. Kwaśniewski M. Volume changes in sandstone under true triaxial compression conditions/ Kwaśniewski M. 1, Takahashi M. 2, Li X. 3//The 10th International Society for Rock Mechanics Congress– Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 2003.
8. Bohat. D. Fracture characterization of chalk in uniaxial und triaxial tests by rock mechanics, fractographic and electromagnetic radiation methods/ Dov Bahat, Avinoam Rabinovich, Vladimir Frid//Journal of Structural geology, 2001.-Vol.23.-1531-1547.
9. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2004. – 132 с.
10. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. - М., изд-во "Недра", 1969. – 392 стр.
11. Díaz-Rodríguez, J. Strain-Rate Effects in Mexico City Soil/ J.Díaz-Rodríguez, Martínez-Vasquez, J.Santamarina//Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering , February 2009, Vol. 135, No. 2 : pp. 300-305.
12. Назаренко В.А. Влияние скорости подвигания очистного забоя на сдвигание земной поверхности / Науковий вісник НГА України. - №13, 2002. - С. 16-20.
13. Назимко В.В., Демченко А.И., Брюханов П.А. Исследование связи между деформацией дегазационной скважины и ее аэродинамическими параметрами// Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб науч тр/-.-Макеевка: МакНИИ, 2010, №2(26).-с. 25-42.