

УДК 622.411.332.023.623:622.83

Круковский А.П., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Круковская В.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Кочерга В.Н., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНОГО ШТРЕКА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН

Круковський О.П., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Круковська В.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Кочерга В.М., магістр
(ІГТМ НАН України)

ВПЛИВ СПОСОБУ ОХОРОНИ ВИЇМКОВОГО ШТРЕКА НА СТІЙКІСТЬ ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН

Krukovski A.P., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Krukovskaya V.V., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Kocherga V.N., M.S. (Tech.),
(IGTM of the NAS of Ukraine)

EFFECT OF THE GATE ROAD SUPPORTING METHOD ON THE METHANE DRAINING BOREHOLE STABILITY

Аннотация. Увеличение интенсивности разработки газоносных угольных пластов сопровождается повышением выделения метана в горные выработки. Обеспечить газовую безопасность при увеличении угледобычи можно только с применением высокоэффективной дегазации, при сохранении дегазационных скважин позади очистного забоя.

С помощью методов численного моделирования проведено исследование напряженно-деформированного состояния углепородного массива и устойчивости дегазационных скважин в зависимости от способа охраны выемочного штрека. Получены поля напряжений, деформаций и зоны неупругих деформаций для случаев применения стоек, ремонтин, костров, двух рядов органной крепи, бутокостров, чурбаковых перемычек. Приведены графики поперечных и продольных деформаций стенок скважин. Показано, что применение рассмотренных способов охраны выемочного штрека снижает разнокомпонентность поля напряжений вокруг выработки, сокращает зону неупругих деформаций над выработанным пространством, уменьшает деформацию стенок дегазационных скважин. При применении костров их устойчивость повышается на 6 %, костров и 2 рядов органной крепи – на 30 %; бутокостров и 2 рядов органной крепи – на 43 %; бутокостров, 2 рядов органной крепи и чурбаковой перемычки – на 45 %.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, выемочный штрек, дегазационные скважины.

Обеспечение высокой нагрузки на очистной забой – одно из главных направлений повышения эффективности горных работ. Но увеличение интенсивности разработки газоносных угольных пластов сопровождается повышением выделения метана в горные выработки. Основным средством

снижения метановыделения и обеспечения газовой безопасности при увеличении угледобычи является высокоэффективная дегазация.

На выемочных участках, проветриваемых по возвратноточной схеме (1-М), исходящая вентиляционная струя примыкает к отработанному угольному массиву, а вентиляционная выработка за лавой не обслуживается и не контролируется [1]. В таких условиях дегазационные скважины можно бурить только впереди очистного забоя навстречу его движению, рис. 1.

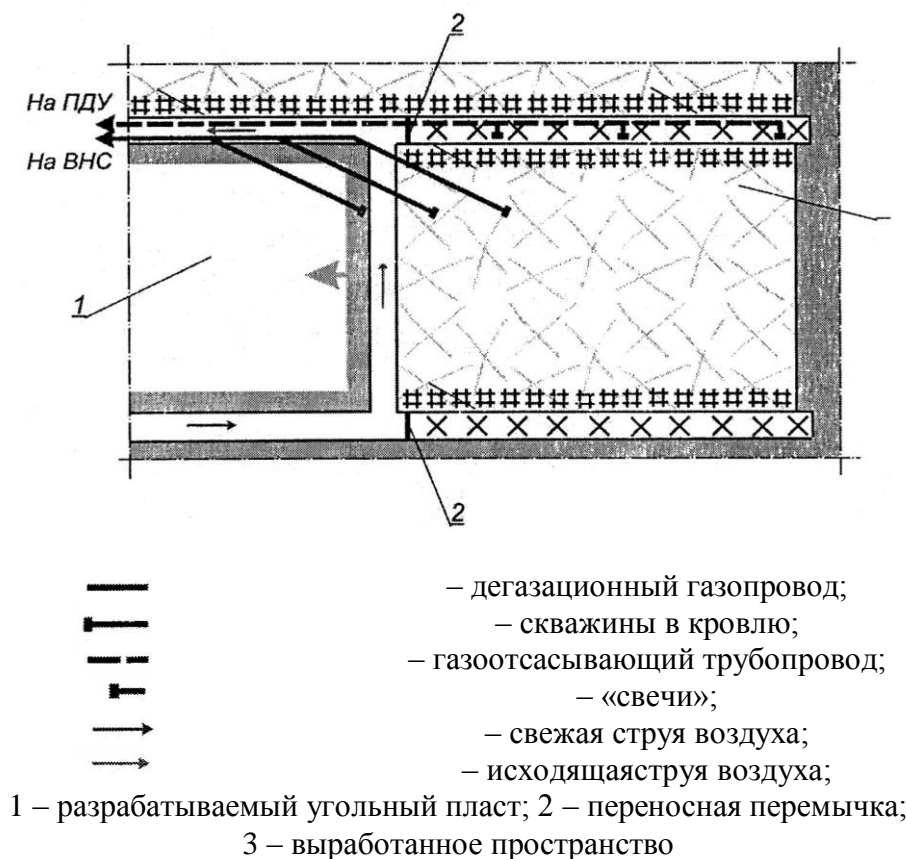


Рисунок 1 – Типовая схема дегазации кровли при возвратноточной схеме проветривания типа 1-М

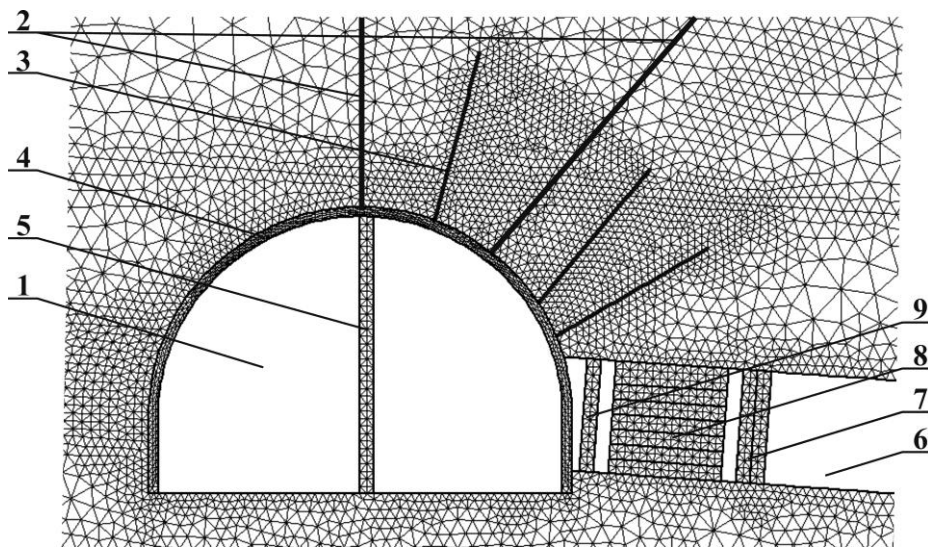
В этом случае количество одновременно работающих скважин не превышает трех, они расположены в непосредственной близости от очистного забоя, где метановыделение из угольных пластов и пород кровли не достигает максимума. Дебит метана в этих скважинах невелик, их эффективность не превышает 30 %. После прохода лавы под устьями этих скважин они разрушаются, и их отключают от дегазационной системы [1].

Процесс фильтрации метана из подрабатываемых источников метановыделения достигает максимальной интенсивности позади очистного забоя, в зоне, где породы кровли частично или полностью разрушены [2]. Возможно ли сохранить дегазационные скважины в этой области? Как обеспечить высокий дебит метана в скважинах и не допустить их разрушения? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние той части углепородного массива, где

расположены дегазационные скважины.

В связи с этим **целью работы** является исследование напряженно-деформированного состояния углепородного массива вокруг выемочного штрека при применении различных способов его охраны для повышения устойчивости дегазационных скважин.

Постановка задачи. Рассмотрим горную выработку, проведенную в слоистом массиве горных пород, закрепленную рамно-анкерной крепью, рис. 2, с двумя дегазационными скважинами, впереди и позади очистного забоя. При моделировании принимаем, что горный массив является однородным в пределах каждого породного слоя.



1 – выработка; 2 – дегазационные скважины; 3 – сталеполимерный анкер;
4 – рамная крепь; 5 – ремонтинна; 6 – выработанное пространство; 7 – 2 ряда органной крепи;
8 – костер (бутокостер); 9 – стойка

Рисунок 2 – Центральный фрагмент конечно-элементной сетки

Напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности горной выработки описывается системой уравнений:

$$\sigma_{ij,j} + X_i(t) = 0,$$

где $\sigma_{ij,j}$ – производные от компонент тензора напряжений по x, y , МПа/м;
 $X_i(t)$ – проекции внешних сил, действующих на единицу объема твердого тела, Н/м³.

Граничные условия:

$$u_x|_{\Omega_1} = 0; \quad u_y|_{\Omega_2} = 0;$$

где u_i – перемещения, м; Ω_1 – вертикальные границы внешнего контура; Ω_2 –

горизонтальные границы внешнего контура.

Задача решается в упругопластической постановке. Для математического описания процесса перехода горных пород в нарушенное состояние применяется условие прочности Кулона-Мора, которое учитывает возможность возникновения разрушения в результате как сдвига, так и отрыва [3].

Для анализа напряженно-деформированного состояния породного массива в работе используются геомеханические параметры, характеризующие разнокомпонентность поля напряжений и величину разгрузки пород от горного давления [4, 5]:

$$Q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H}; \quad P = \frac{\sigma_3}{\gamma H}, \quad (1)$$

где σ_1 – максимальная компонента тензора главных напряжений; σ_3 – минимальная компонента тензора главных напряжений; γ – усредненный вес вышележащих горных пород, Н/м³; H – глубина проведения выработки, м.

Расчеты проводились с использованием метода конечных элементов [6, 7] для горно-геологических условий ШУ «Покровское». Параметры дегазационных скважин приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры дегазационных скважин

Скважина	Длина скважины, L , м	Угол подъема скважины к горизонту, град	Угол разворота скважины от оси выработки, град	Глубина герметизации, м
1	45	45	0	10
2	48	49	35	10

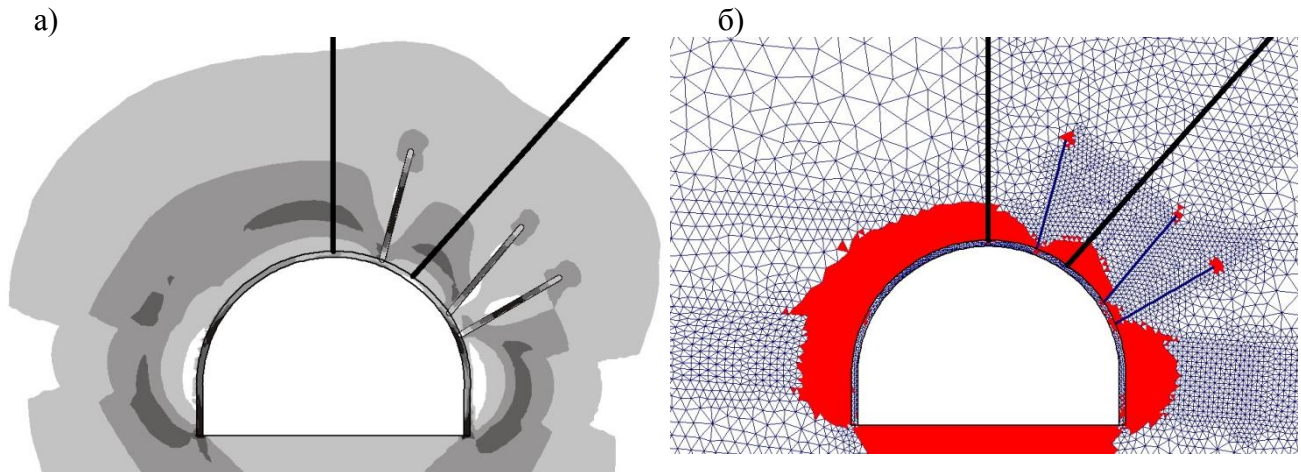
Рассмотрим следующие варианты использования охранных конструкций:

- 1) охранные конструкции не применяются, сечение впереди очистного забоя;
- 2) охранные конструкции не применяются (сечение позади очистного забоя);
- 3) стойка, ремонтна, костер (сечение позади очистного забоя);
- 4) стойка, ремонтна, костер, 2 ряда органной крепи (сечение позади очистного забоя);
- 5) стойка, ремонтна, бутокостер, 2 ряда органной крепи (сечение позади очистного забоя);
- 6) стойка, бутокостер, 2 ряда органной крепи, чурбаковая перемычка (сечение позади очистного забоя).

Результаты расчета. В результате расчетов были получены поля напряжений, деформаций и зоны неупругих деформаций для перечисленных выше случаев. На рис. 3 показано распределение значений параметра Q и зоны неупругих деформаций для участка выработки перед подходом лавы (вариант № 1).

В непосредственной близости от контура выработки минимальная компо-

нента напряжений становится близкой к нулевому значению. Разрушение приконтурного массива в таких условиях происходит посредством разделения его на отдельные слабо взаимодействующие блоки и требует на свое развитие минимальных затрат энергии. Зона самопроизвольного развития разрушения полностью включает в себя области в боках и кровле выработки, где $0,8 < Q < 1,2$, а также области неупругих деформаций.



а) Распределение значений параметра Q ; б) зоны неупругих деформаций

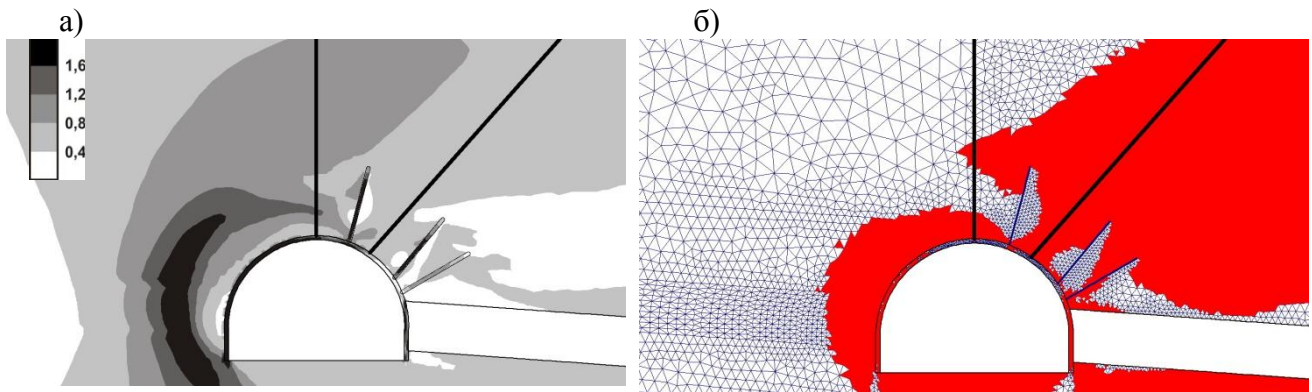
Рисунок 3 – Результаты расчета для участка выработки впереди лавы

С удалением от контура выработки все большая часть упругой энергии сжатых горных пород расходуется не на развитие разрушения, а на трение между блоками, отдельностями и берегами трещин. Система «зона нарушенных горных пород – зона ненарушенных горных пород» приходит в равновесное состояние.

Справа, на участке с анкерной крепью, зоны повышенной разнокомпонентности и неупругих деформаций имеют значительно меньшие размеры по сравнению с левой частью выработки. Между двумя сближенными анкерами сохранена область ненарушенных, монолитных горных пород. Рамная крепь нагружена больше на участках в боках выработки, не примыкающих к зоне анкерного крепления, в которой три сталеполимерных анкера ограничивают смещения приконтурных пород и уменьшают нагрузку на раму. Дегазационные скважины практически по всей длине, исключая участки в непосредственной близости от их устья, находятся в устойчивом состоянии.

После прохода лавы (вариант № 2) картина распределения значений разнокомпонентности поля напряжений и контуры зоны неупругих деформаций значительно изменяются (рис. 4).

Глубина зоны нарушенных пород в левом боку выработки увеличивается более чем в 1,5 раза, в кровле – в 6-7 раз по сравнению с предыдущим случаем, рис. 4 а. Величина разнокомпонентности поля напряжений возрастает – в левом боку появляется область, в которой $Q > 1,6$.



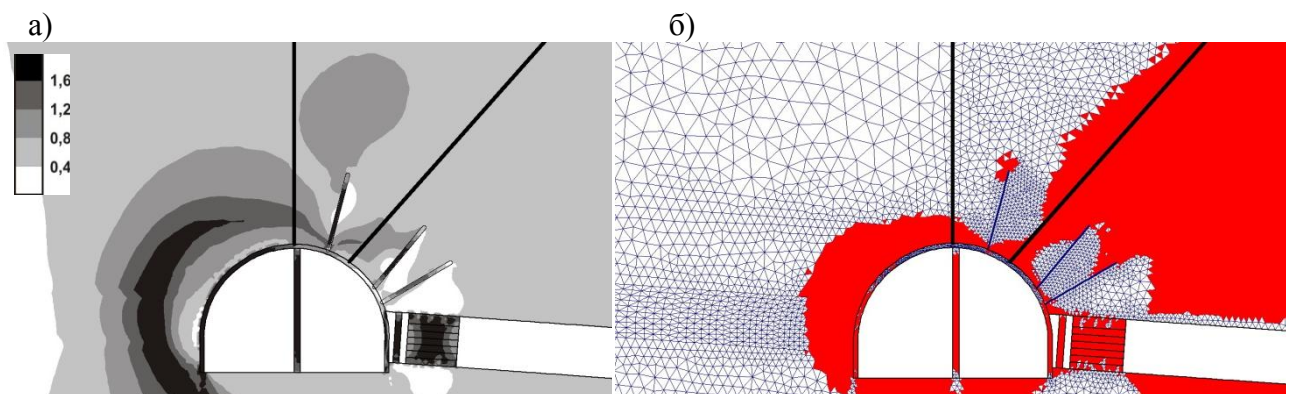
а) распределение значений параметра Q ; б) зоны неупругих деформаций

Рисунок 4 – Результаты расчета для участка выработки позади лавы

Всю правую часть исследуемой области, расположенную над выработанным пространством, охватывает зона неупругих деформаций (рис. 4 б). Скважина № 2 полностью попадает в эту зону и разрушается, что делает невозможным ее функционирование. Скважина № 1 пересекает зону разрушения на протяжении 3-4 м над выработкой.

Нагрузки в стойках рамы превышают предел прочности практически по всей их длине. Анкерная крепь лишь частично сдерживает разрушение пород, но ее воздействия не хватает на то, чтобы удержать образовавшуюся над выработанным пространством консоль в устойчивом состоянии.

Применение костров для охраны выемочного штрека (вариант № 3) улучшает напряженное состояние вмещающих пород (рис. 5). Хотя глубина зоны нарушенных пород и размеры области повышенной разнокомпонентности поля напряжений, где $Q > 1,6$, в левом боку выработки практически не уменьшились, высота области интенсивной трещиноватости, где $0,8 < Q < 1,2$, над выработкой снизилась в 2 раза (рис. 5 а).



а) Распределение значений параметра Q ; б) зоны неупругих деформаций

Рисунок 5 – Результаты расчета, охранные сооружения – костры

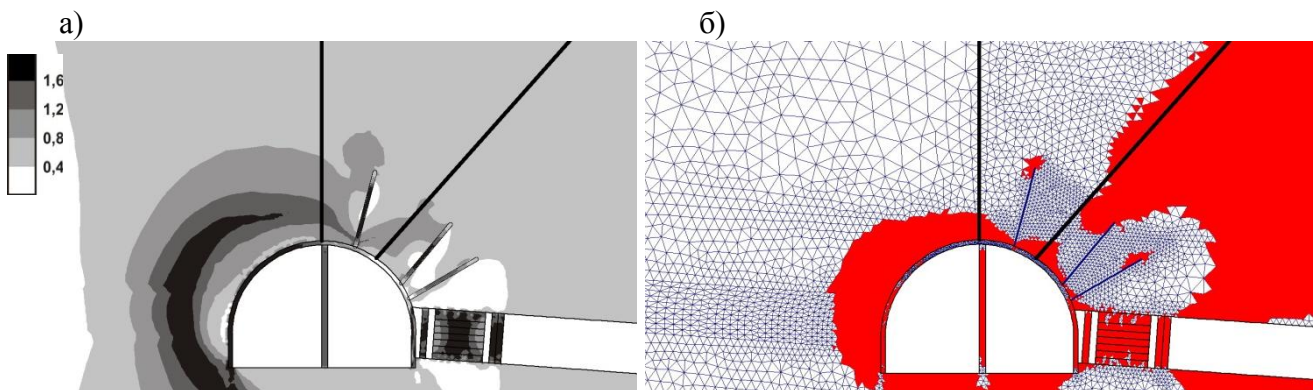
Зона неупругих деформаций над выработанным пространством также изменила свои очертания. Область разрушенных пород между дегазационными

скважинами уменьшилась, сместив свои границы к скважине № 2, которая, однако, по-прежнему полностью разрушается, попадая в зону неупругих деформаций (рис. 5 б). Скважина № 1 пересекает зону разрушения на протяжении 2-3 м над выработкой, что в 2 раза меньше, чем в предыдущем случае.

Зона ненарушенных пород ($Q < 0,4$) в заанкерванной области увеличилась, но, вероятно, этого недостаточно для поддержания породно-анкерной консоли над выработанным пространством в устойчивом состоянии. Значения напряжений в ремонтине по центру выработки, в костре и деревянной стойке превышают их пределы прочности, эти охранные конструкции перегружены и испытывают неупругие деформации.

Распределение значений параметра Q и зоны неупругих деформаций для варианта № 4 (стойка, ремонтина, костер, 2 ряда органной крепи) показаны на рис. 6. Как видно из рис. 6 а, напряженное состояние пород в левом боку и в кровле выработки не изменилось по сравнению с вариантом № 3.

Зона неупругих деформаций над выработанным пространством немного уменьшилась, но большая часть скважины № 2 по-прежнему находится в зоне неупругих деформаций (рис. 6 б).



а) Распределение значений параметра Q ; б) зоны неупругих деформаций

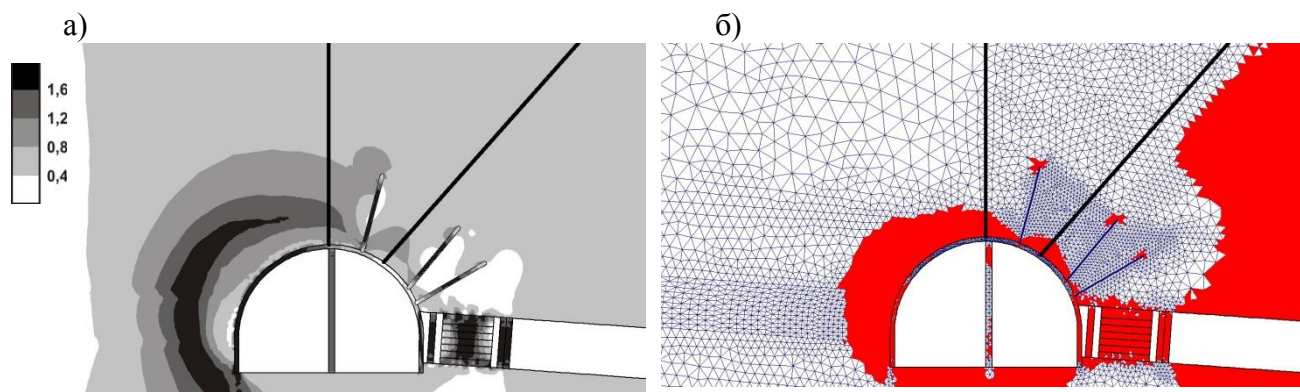
Рисунок 6 – Результаты расчета, охранные сооружения – костры и 2 ряда органной крепи

Состояние рамной крепи практически не изменилось, зона связанных пород в заанкерванной области еще немного увеличилась. Значения напряжений в ремонтине по центру выработки, в костре и деревянной стойке, а также в двух рядах органной крепи превышают их пределы прочности.

Применение бутокостров в сочетании со стойкой, ремонтинной и 2-мя рядами органной крепи (вариант № 5) кардинально изменяет ситуацию (рис. 7).

Хотя напряженное состояние пород в левом боку и в кровле выработки не изменилось по сравнению с вариантами № 3 и 4 (рис. 7 а), зона неупругих деформаций над выработанным пространством уменьшилась настолько, что часть скважины № 2 от устья до первого угольного пропластка вышла за пределы зоны неупругих деформаций (рис. 7 б). В случае применения бутокостров и 2-х рядов органной крепи скважина № 2 останется работоспособной даже на участке позади лавы. Состояние рамной крепи не изменилось, зона ненарушенных

пород в заанкереної області значительно увеличилась. Анкерная крепь совместно с охранными конструкциями сдерживает разрушение образованной над выработанным пространством породно-анкерной консоли, которая находится в устойчивом состоянии.

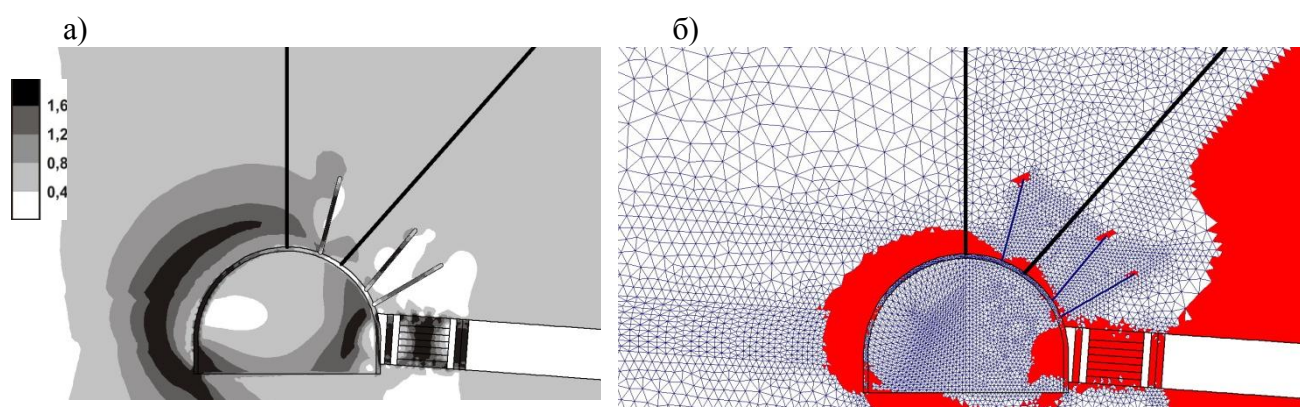


а) Распределение значений параметра Q ; б) зоны неупругих деформаций

Рисунок 7 – Результаты расчета, охранные сооружения – бутокостры и 2 ряда органной крепи

Напряженное состояние ремонтин в центре выработки удовлетворительное, большая ее часть остается в допредельном состоянии. При этом бутокостер, деревянная стойка и 2 ряда органной крепи испытывают предельную нагрузку.

При закладке сечения выработки чурбаковой перемычкой и применении стойки, бутокостров и 2-х рядов органной крепи (вариант № 6) характеристики НДС пород вокруг выработки становятся еще более благоприятными для проведения дегазации подрабатываемого массива (рис. 8).



а) Распределение значений параметра Q ; б) зоны неупругих деформаций

Рисунок 8 – Результаты расчета, охранные сооружения – бутокостры, 2 ряда органной крепи и чурбаковая перемычка

Напряженное состояние пород в левом боку и в кровле выработки изменилось по сравнению с предыдущими вариантами: глубина зоны нарушенных пород в боку выработки уменьшилась в 1,6 раз, площадь области повышенной

разнокомпонентности $Q > 1,6$ сократилась (рис. 8 а). Зона неупругих деформаций над выработанным пространством уменьшилась еще более, отступив от скважины № 2 на 1,5-4 м (рис. 8 б). В этом случае скважина № 2 также останется работоспособной на участке позади лавы.

В рамной крепи наиболее нагруженной по-прежнему остается левая стойка, но за счет включения в работу чурбаковой перемычки нагрузки в ней по сравнению с предыдущим вариантом охраны ниже, и она практически вся остается в допредельном состоянии. Анкерная крепь совместно с охранными конструкциями сдерживает разрушение и обрушение образованной над выработанным пространством породно-анкерной консоли. Напряжения в той части чурбаковой перемычки, которая примыкает к выработанному пространству, превысили предел прочности.

На рис. 9 показано расположение дегазационных скважин относительно зоны неупругих деформаций для всех рассмотренных случаев. Видно, что удовлетворительная работа скважины обеспечивается перед подходом лавы и позади очистного забоя с применением охранных конструкций в вариантах № 5 и № 6.

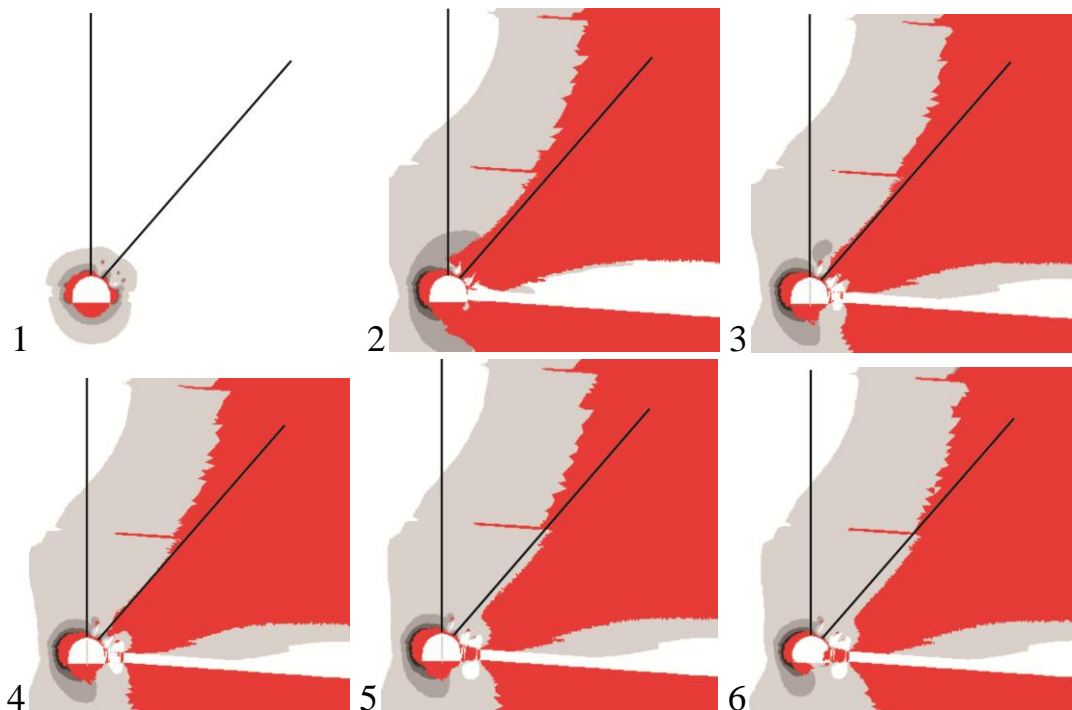


Рисунок 9 – Расположение дегазационных скважин относительно зоны неупругих деформаций

В процентном отношении устойчивая часть дегазационных скважин показана в табл. 2.

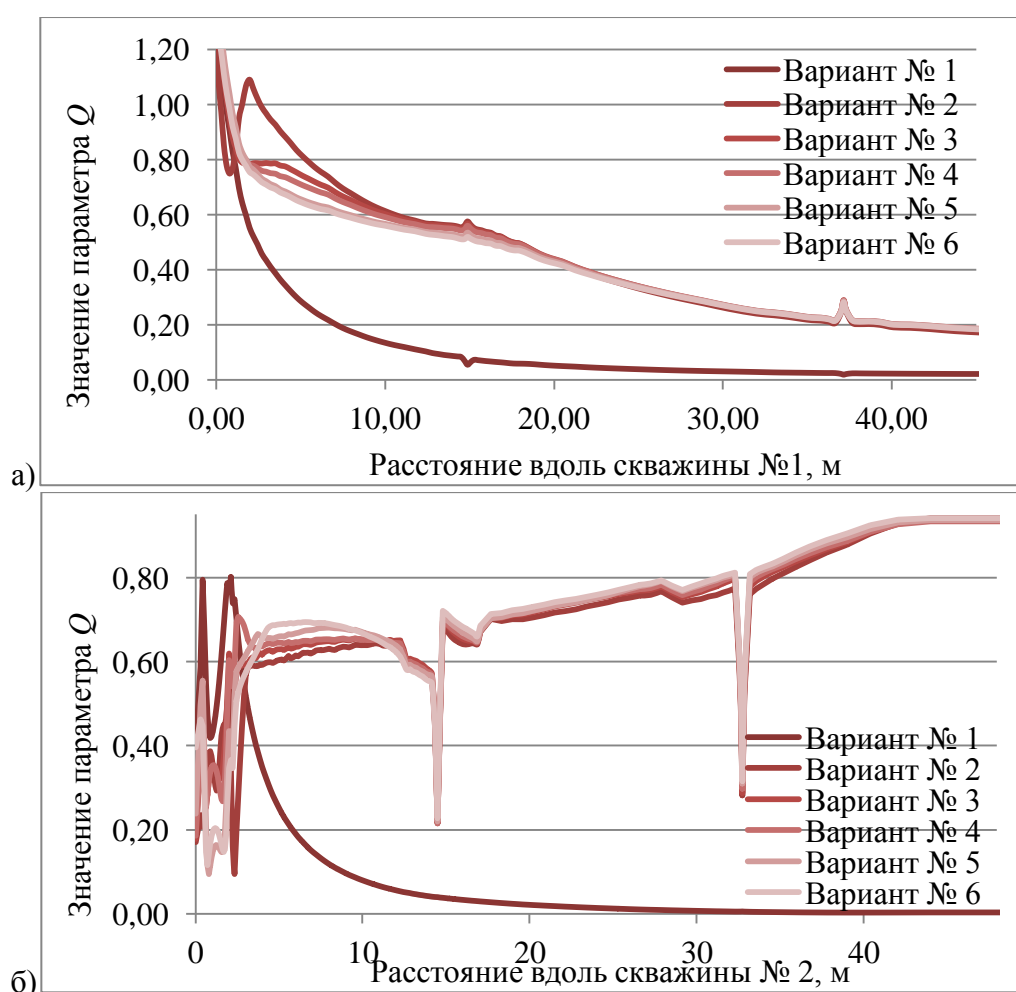
Таким образом, усиливая охрану выемочного штрека, мы повышаем устойчивость дегазационных скважин.

Построим графики изменения геомеханических параметров Q и P вдоль дегазационных скважин № 1 и № 2. Для этого из массива рассчитанных значений компонент тензора главных напряжений в узлах конечно-элементной сетки вы-

берем значения, соответствующие координатам узлов вдоль скважин № 1 и № 2 и рассчитаем значения параметров по формулам (1), рис. 10, 11.

Таблица 2 – Устойчивость дегазационных скважин

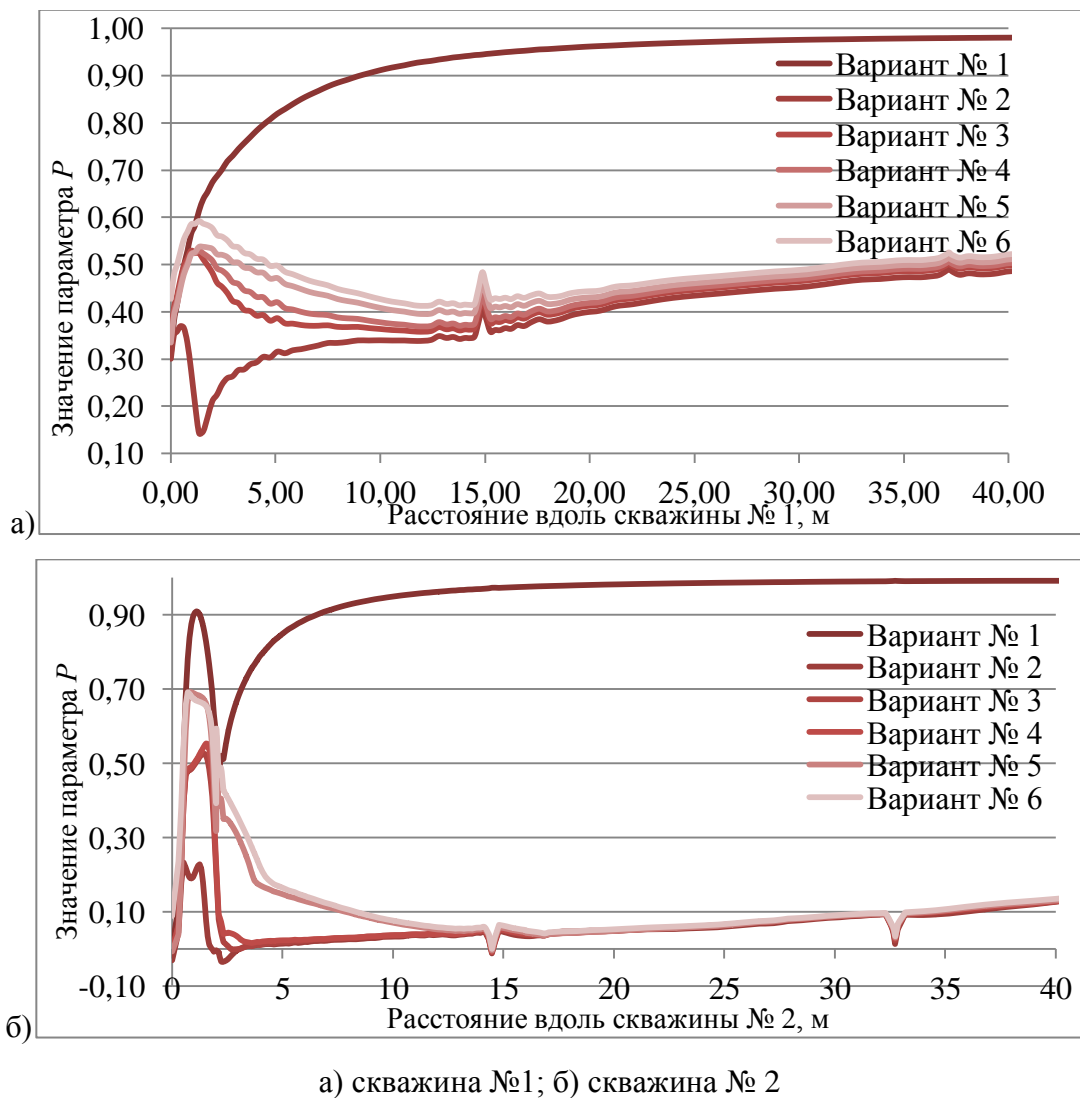
Виды охранных сооружений	Часть дегазационной скважины за пределами зоны неупругих деформаций, %	
	Скважина № 1	Скважина № 2
Вариант № 1	97,8	98,5
Вариант № 2	93,3	0
Вариант № 3	97,8	6,3
Вариант № 4	97,8	30,0
Вариант № 5	97,8	42,7
Вариант № 6	98,7	44,8



а) скважина №1; б) скважина № 2

Рисунок 10 – Изменение значений параметра Q вдоль скважин

Перед подходом лавы разнокомпонентность поля напряжений имеет высокие значения (0,6-1,2) только на 3-5-метровой зоне вокруг выработки. С удалением от нее значения параметра Q вдоль скважин № 1 и № 2 снижается до 0. В обоих случаях заметны всплески разнокомпонентности на участках пересечения скважинами подрабатываемых угольных пропластков.

Рисунок 11 – Изменение значений параметра P вдоль скважин

Позади очистного забоя две дегазационные скважины попадают в области горного массива, имеющие совершенно разные геомеханические характеристики. Скважина № 1 при всех способах охраны выемочного штрека на протяжении отрезка 2-45 м проходит через область над выработкой, в которой значения параметра Q постепенно снижаются практически по линейной зависимости от 0,8 до 0,2 (рис. 10 а).

Отличия в напряженном состоянии пород вокруг скважины № 1 при использовании различных охранных конструкций наблюдаются на отрезке 0-18 м, где усиление способа охраны выемочного штрека приводит к снижению значения параметра Q , что благоприятно влияет на устойчивость скважины.

Скважина № 2 позади очистного забоя попадает в зону обрушения над выработанным пространством. Разнокомпонентность поля напряжений здесь не уменьшается, а увеличивается вдоль всей длины скважины, достигая значения 0,94. Использование охранных сооружений понижает значение параметра Q на участке 0-3 м вдоль скважины № 2 (рис. 10 б).

Геомеханический параметр P характеризует возможность разрушения в каждой точке горного массива при $P \rightarrow 0$. Исходя из этого критерия, скважина №1 находится в безопасной области как впереди, так и позади очистного забоя (рис. 11 а). Причем в каждом из последующих рассмотренных вариантов значения параметра P снижаются вдоль всей скважины, что благоприятно влияет на ее устойчивость.

Значения параметра P вдоль скважины № 2 после прохода лавы находятся в пределах $-0,03 - 0,1$ (отрезок 2-36 м), что говорит о значительной разгрузке массива от горного давления и разрушении пород в этой области. Применение различных способов охраны выемочного штрека увеличивает значение минимальной компоненты тензора главных напряжений в области 0-16 м, в вариантах № 5 и № 6 выводя скважину из опасной зоны.

Исследуем поперечную и продольную деформацию стенок скважин во всех рассмотренных случаях. Для этого из массива рассчитанных значений деформаций в узлах конечно-элементной сетки выберем значения, соответствующие координатам узлов вдоль скважин № 1 и № 2 (рис. 12- 13).

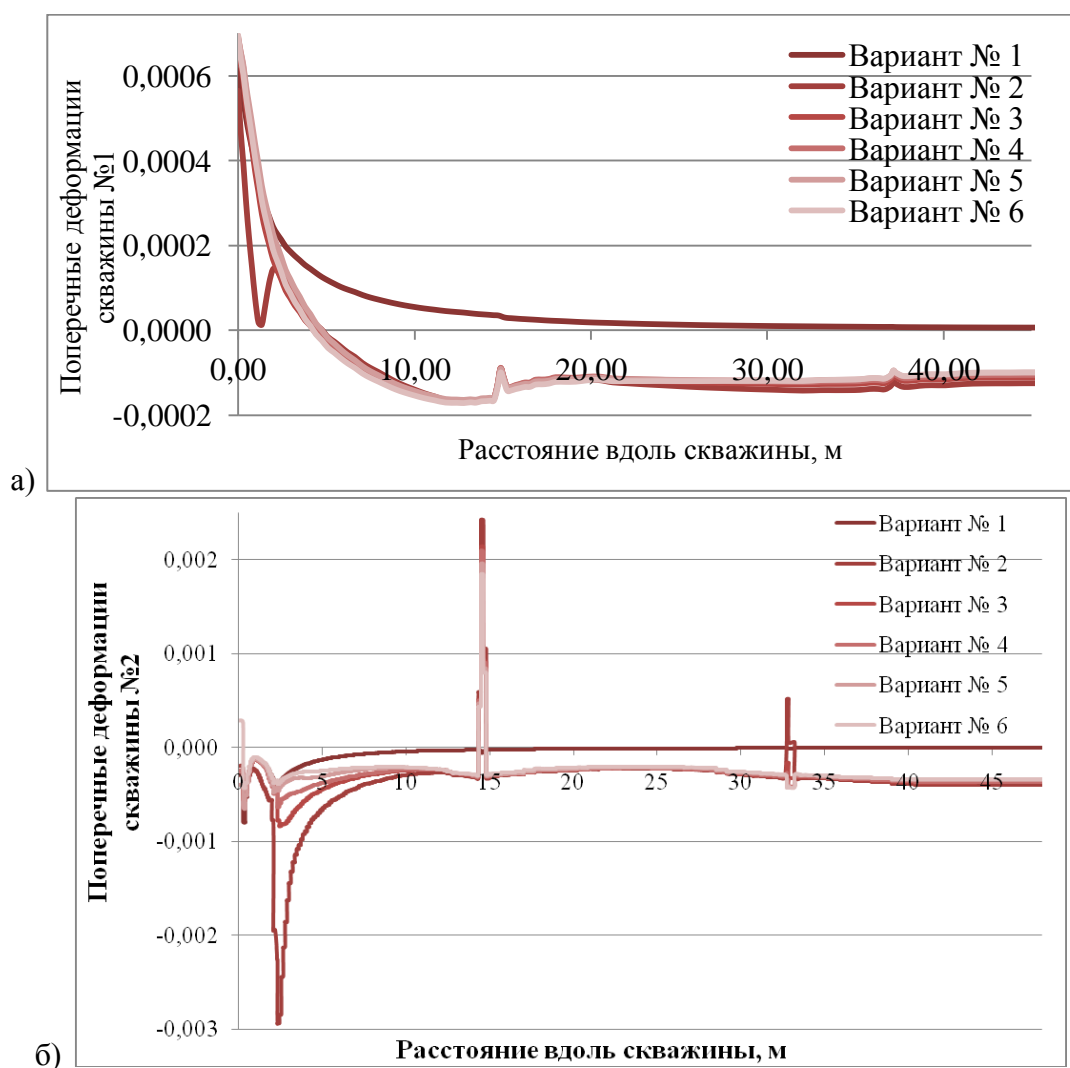
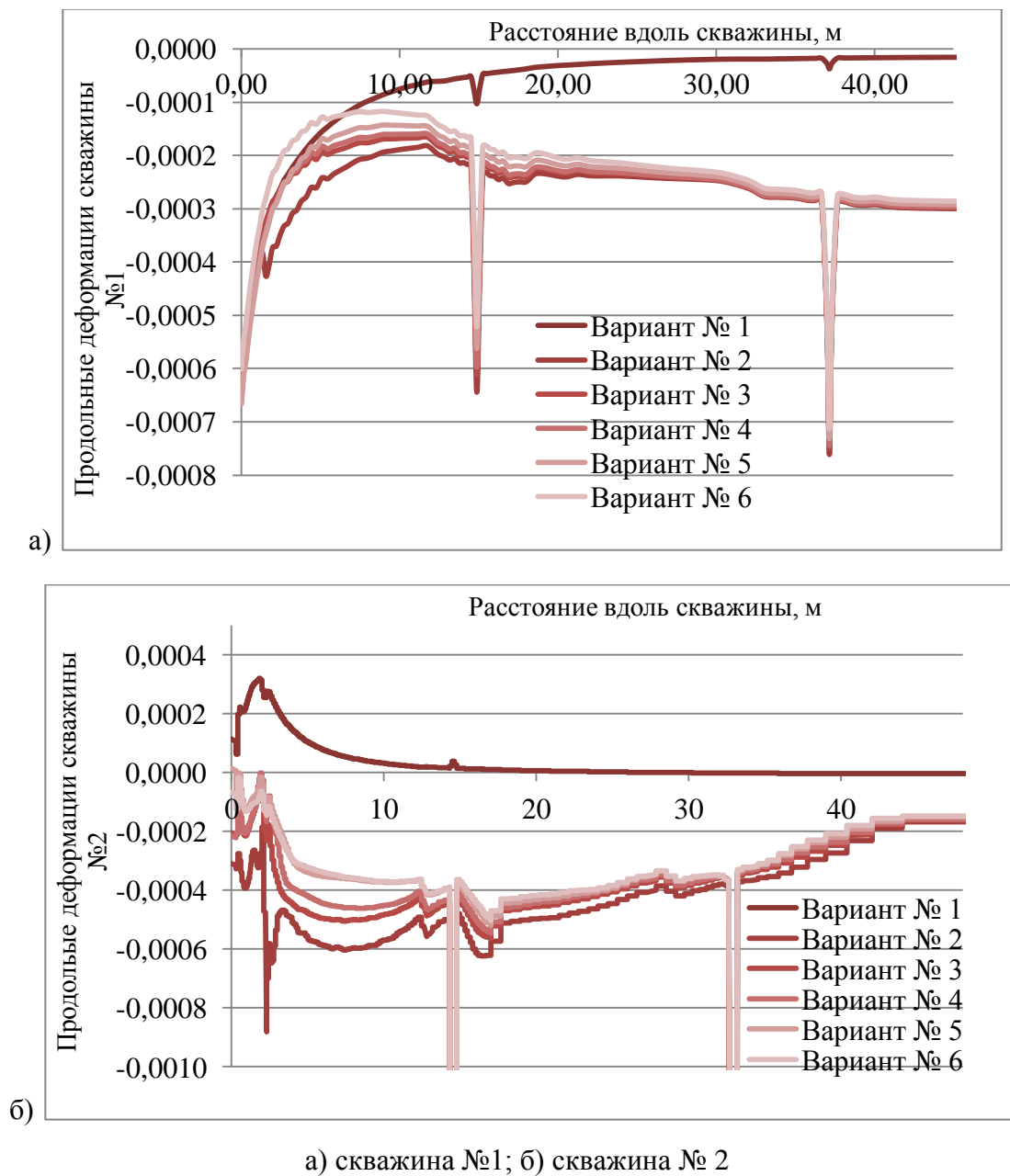


Рисунок 12 – Поперечные деформации стенок скважин в рассмотренных случаях



а) скважина №1; б) скважина № 2

Рисунок 13 – Продольные деформации стенок скважин в рассмотренных случаях

В варианте № 2 большие поперечные деформации стенок скважины № 1 на расстоянии до 2-2,5 м от поверхности выработки (рис. 12 а) происходят в результате смещения породной бермы. Одной из причин ее отрыва от массива и последующего обрушения в выработанное пространство является отсутствие охранных конструкций в этом варианте. В каждом последующем варианте расчета ситуация в приконтурной части стенок скважины № 1 значительно улучшается.

Высокие значения деформации стенок скважины № 2 мы видим на участках пересечения подрабатываемых угольных пропластков, в зонах их интенсивного расслоения.

Как видно, поперечные деформации скважины № 2 имеют значения

(рис. 12 б), на порядок большие, чем поперечные деформации скважины № 1. Наиболее высокие значения они принимают на участке 2-10 м от устья скважины, в зоне интенсивных смещений над выработанным пространством, в случае, когда охранные конструкции выемочного штрека не применяются. При применении каждого из охранных сооружений ситуация в этой части скважины № 2 улучшается, деформирование стенок скважины происходит менее интенсивно.

Применение охранных сооружений снижает поперечные деформации вертикальной скважины в 22 раза на участке 0-2 м, наклонной скважины – в 1,2-7,8 раз на участке 0-15 м.

Высокие значения продольной деформации стенок обеих скважин наблюдаются на участках пересечения подрабатываемых угольных пропластков, в зонах их интенсивного расслоения. Видно, что продольные деформации скважины № 2 в 2 раза превышают деформации скважины № 1.

Применение охранных сооружений снижает продольные деформации вертикальной скважины в 1,2-1,9 раза, наклонной скважины – в 1,2-6,0 раз на участках 0-20 м.

Выводы. На основании анализа результатов вычислительных экспериментов показано следующее.

При отсутствии охраны выемочного штрека после прохода лавы поперечные и продольные деформации скважины № 2 имеют наиболее высокие значения на участке 2-10 м от устья скважины, в зоне интенсивных смещений над выработанным пространством. Скважина № 2 полностью попадает в зону неупругих деформаций и разрушается, что делает невозможным ее функционирование.

Применение рассмотренных способов охраны выемочного штрека снижает разнокомпонентность поля напряжений вокруг выработки, сокращает зону неупругих деформаций над выработанным пространством настолько, что

- поперечные деформации вертикальной в проекции на плоскость очистного забоя скважины уменьшаются в 22 раза на участке 0-2 м, наклонной на лаву скважины – в 1,2-7,8 раз на участке 0-15 м;

- продольные деформации вертикальной скважины уменьшаются в 1,2-1,9 раза, наклонной скважины – в 1,2-6,0 раз на участках 0-20 м.

- вертикальная скважина сохраняется полностью;

- в случаях использования буюкостров и чурбаковой перемычки – часть наклонной скважины от устья до первого угольного пропластка выходит за пределы зоны разрушения и остается работоспособной даже на участке позади лавы;

- устойчивость дегазационных скважин при применении костров повышается на 6,3 %, костров и 2 рядов органной крепи – на 30 %; буюкостров и 2 рядов органной крепи – на 42,7 %; буюкостров, 2 рядов органной крепи и чурбаковой перемычки – на 44,8 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кочерга, В.Н. Эффективность комплексной дегазации выемочных участков на шахте «Краснолиманская» / В.Н.Кочерга, И.В. Сытник, Г.С. Левчинский // Уголь Украины, 2014. – № 11. – С. 26-31.
2. Topographic influence on stability for gas wells penetrating longwall mining areas / S. Liang, D. Elsworth, X. Li, D. Yangc // International Journal of Coal Geology, 2014. – № 132. – P. 23-37.
3. Баклашов, И.В. Геомеханика. Том 1. Основы геомеханики / И.В. Баклашов. – М.: МГУ, 2004. – 208 с.
4. Круковский, А.П. Напряженно-деформированное состояние пород в окрестности горной выработки, закрепленной простыми конструкциями анкерной крепи / А.П. Круковский // Геотехническая механика: сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – № 89. – С. 99-109.
5. Круковский, А.П. Моделирование изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива при отходе забоя горной выработки / А.П. Круковский // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук.праць. – Дніпропетровськ: Ліра, 2011. – Вип. 17. – С. 175-181.
6. Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М. Недра, 1987. – 224с.
7. Zienkiewicz, O.C. The finite element method / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – Butterworth-Heinemann, 2000. – 690 p.

REFERENCES

1. Kocherga, V.N., Syitnik, I.V. and Levchinskiy, G.S. (2014), "The efficiency of an integrated degassing blocks at the mine "Krasnolimanskaya", *Coal of Ukraine*, no. 11, pp. 26-31.
2. Liang, S., Elsworth, D., Li, X. and Yangc, D. (2014), "Topographic influence on stability for gas wells penetrating longwall mining", *International Journal of Coal Geology*, no. 132, pp. 23-37.
3. Baklashov, I.V. (2004), *Geomekhanika. Tom 1. Osnovy geomekhaniki* [Geomechanics. Vol 1. Fundamentals of geomechanics], *MGGU*, Moscow, Russia.
4. Krukovskiy, A.P. (2010), "The Stress-Deformed State Of Rock In The Neighborhood Of The Mine Working Fixed By Simple Constructions Of The Roof Bolting", *Geo-Technical Mechanics*, no. 89, pp. 99-109.
5. Krukovskiy, A.P. (2011), "Modelling Changes Of Stress-Strain State Of Solid Edge During The Distance Of Working Face Of Mine Workings", *Problemy obchyslyvalnoyi mekhaniky i mitsnosti konstruktsiy*, vol.17, pp. 175-181.
6. Fadeev, A. B. (1987), *Metod konechnykh elementov v geomekhanike* [The Finite Element Method in Geomechanics], Nedra, Moscow, USSR.
7. Zenkevich, O. and Taylor, R.L. (2000), "The finite element method", Butterworth-Heinemann, Germany.

Об авторах

Круковский Александр Петрович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора института по научным вопросам, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtm@ua.fm.

Круковская Виктория Викторовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtm@ukr.net.

Кочерга Виктор Николаевич, магистр, главный технолог отдела управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtm@ukr.net.

About the authors

Krukovskiy Alexander Petrovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Deputy Director of the institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ua.fm.

Krukovskaya Victoriya Victorovna, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Control of Dynamic Demonstrations of Rock Pressure, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ukr.net.

trovsk, Ukraine, igtm@ukr.net.

Kocherga Viktor Nikolaevich, Master of Sciences, Chief Technologist of Department of Pressure Dynamics Control in Rock, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ukr.net.

Анотація. Збільшення інтенсивності розробки газоносних вугільних пластів супроводжується підвищенням виділення метану в гірничі виробки. Забезпечити газову безпеку при збільшенні вуглевидобутку можна тільки із застосуванням високоефективної дегазації, при збереженні дегазаційних свердловин позаду очисного вибою.

За допомогою методів чисельного моделювання проведено дослідження напружено-деформованого стану вуглепородного масиву і стійкості дегазаційних свердловин в залежності від способу охорони виїмкових штреків. Отримано поля напружень, деформацій і зони непружних деформацій для випадків застосування стійок, ремонтин, кострів, двох рядів органного кріплення, бутокострів, чурбакових перемичок. Наведені графіки поперечних і поздовжніх деформацій стінок свердловин. Показано, що застосування розглянутих способів охорони виїмкового штреку знижує різнокомпонентність поля напружень навколо виробки, скорочує зону непружних деформацій над виробленим простором, зменшує деформацію стінок дегазаційних свердловин. При застосуванні кострів їх стійкість підвищується на 6%, кострів і 2 рядів органного кріплення – на 30%; бутокострів і 2 рядів органного кріплення – на 43%; бутокострів, 2 рядів органного кріплення і чурбакової перемички – на 45%.

Ключові слова: напружено-деформований стан, комп'ютерне моделювання, виїмковий штрек, дегазаційні свердловини.

Abstract. More intensive gas-bearing coal seam mining is accompanied by growing methane emissions into the mine tunnels. To ensure the mine safety by gas leakage at increased coal production is only possible with high-performance degassing and preserved methane draining boreholes behind the stope.

With the help of numerical simulation methods, the rock mass stress-strain state and methane draining borehole stability were studied depending on the method the gate road were supported. Stress and strain fields and zones with inelastic deformations were defined for the cases when props, scaffolds, timber cribs, two rows of cutting-off supports, pack-timber cribs and wood billets were used. Transverse and longitudinal deformations of the borehole walls are shown in graphs. It is stated that use of the considered methods for the gate road supporting reduces difference between the maximum and minimum stress field components around the tunnel, inelastic deformation zone over the goaf, and wall deformation in the methane draining boreholes. The borehole stability is increased by certain per cents when the following facilities are used: timber cribs - by 6 %, timber cribs and two rows of cutting-off support – by 30 %; pack-timber cribs and two rows of cutting-off support – by 43 %; pack-timber cribs, two rows of cutting-off support and wood billets – by 45 %.

Keywords: stress-strain state, computer simulation, gate road, methane draining boreholes.

Статья поступила в редакцию 20.10.2015

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Минеевым С.П.