

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗОН СКОПЛЕНИЯ СВОБОДНОГО МЕТАНА В ПЛАСТАХ - СПУТНИКАХ В УСЛОВИЯХ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ НАРУШЕННОСТИ

*Л.В. Сергиенко, Е.В. Гладкая, Институт физики горных процессов НАН Украины*

На основе критериев, учитывающих взаимодействие систем тектонической и техногенной трещиноватостей, геомеханические особенности формирования мест локального разрушения пластов-спутников, разработана методика по определению потенциальных зон скопления свободного метана в них при ведении очистных работ в условиях тектонической нарушенности.

Выделение метана из углепородного массива на шахтах Донбасса является одним из главных факторов, осложняющих добычу угля и безопасность труда.

Анализ литературных источников показал [1 – 4], что особое внимание как по интенсивности, так и по объемам выделяемого метана в горные выработки заслуживают выемочные участки, поскольку их метанообильность в газовом балансе шахты составляет 70 – 80 %. До начала ведения очистных работ породный массив находится в состоянии всестороннего сжатия. При ведении очистных работ происходят разгрузка и смещение породных слоев, залегающих в кровле пласта. Разгрузка массива приводит к его разуплотнению, повышению трещиноватости, увеличению проницаемости и коллекторских свойств, а также интенсивному выделению метана из подрабатываемых пластов-спутников. В результате исследований, проведенных такими учеными, как Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, Г.А. Шевелев и др. установлена общая закономерность изменения напряженно-деформированного состояния подрабатываемых пластов-спутников, которая основана на результатах замеров плотности газовыделения в выработанное пространство [5]. Показано, что изменение напряженно-деформированного состояния подрабатываемых пластов-спутников начинается впереди очистного забоя. При этом метан выделяется из той части пласта-спутника, которая находится в разгруженной зоне. Однако вопрос по установлению местоположения зон скопления свободного метана в пластах-спутниках при отработке выемочных участков в сложных горно-геологических условиях остается недостаточно изученным. А разработка способа их прогноза с учетом геомеханических особенностей формирования мест локального разрушения пластов-спутников является актуальной задачей, решение которой позволит существенно повысить не только эффективность дегазации подрабатываемого массива, но и безопасность ведения очистных работ.

Для решения поставленной задачи в Институте физики горных процессов НАНУ, был разработан критерий  $K_3$  [16], характеризующий условия скопления свободного метана в местах тектонических нарушений, физическая сущность которого основывается на взаимодействии тектонической трещиноватости и техногенной трещиноватости, образованной при разгрузке углепородного массива:

$$K_3 = \frac{\alpha_{\text{тект}}}{\alpha_{\text{техн}}},$$

где  $\alpha_{\text{тект}}$  – угол наклона системы основной (тектонической) трещиноватости относительно горизонтальной плоскости, град.

$\alpha_{\text{техн}}$  – угол наклона системы техногенной трещиноватости относительно горизонтальной плоскости, град.

При этом, в результате исследований, проведенных в условиях шахты Красноармейская-Западная №1 в пределах 1-ой северной лавы бл.№3 было установлено, что в местах тектонических нарушений при  $0,5 \leq K_3 \leq 1,25$  в подрабатываемом пласте-спутнике формируется зона скопления свободного метана, обусловленная раскрытием существующих в угольном пласте трещин. При  $K_3 > 1,25$  – зона скопления свободного метана в подрабатываемом пласте-спутнике не формируется, что подтверждается натурными

измерениями дебита метана из дегазационных скважин.

Так, анализ изменения показателя  $K_3$  и фактических замеров дебита метана из дегазационных скважин, пробуренных в местах тектонических нарушений по длине выемочного столба 1-ой северной лавы пласта  $d_4$  бл. № 3 ШУ «Покровское» показал, что при изменениях значений  $K_3$  в пределах от 0,5 до 1,25, дебит метана в 1,5 2 раза превысил средние значения (ПК36, ПК40, ПК39, ПК122) по сравнению с значением  $K_3$  больше 1,25 (ПК35, ПК34, ПК95, ПК99, ПК101) (рис. 1).

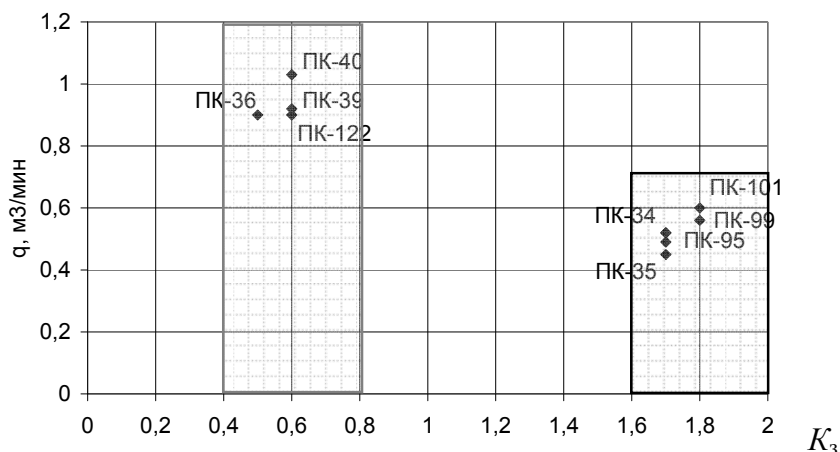


Рис. 1. Изменение дебита метана  $q$  из дегазационных скважин и критерия  $K_3$  по длине выемочного столба 1-ой северной лавы пласта  $d_4$  бл. № 3 ШУ «Покровское»

Также, с целью установления местоположения областей локального разрушения (разгрузки) в подрабатываемых пластах-спутниках, обуславливающих формирование потенциальных зон скопления свободного метана в них до первичной посадки основной кровли угольного пласта, была получена зависимость, позволяющая определить величину отхода очистного забоя  $L$  от монтажного ходка, при которой начнется разрушение пласта-спутника.

Известно, что гипотеза сдвижения горных пород, основанная на изгибе упругих плит (в плоской задаче – балок) с поперечным сдвигом, наиболее близко отвечает характеру сдвижения горных пород, наблюдаемого в натуральных условиях [6, 7].

Исследованиями таких известных ученых, как И.В. Хохлов, А.А. Борисов, Ж.М. Канлыбаева, И.А. Турчанинов, Г.Н. Кузнецов, Г.Л. Фисенко и др. [6 – 9], было установлено, что по мере отхода лавы от монтажного ходка и при развитии фронта очистных работ породные слои, прогибаясь под собственным весом, ведут себя, как жестко защемленные плиты с четырёх, трёх и двух сторон. Для определения напряжений в породном слое, сложный расчет прогиба плит заменяется расчетом статически неопределимых балок.

Для разработки инженерного метода определения предельных напряжений в углепородном массиве, в частности пластов-спутников, породные слои разделяются на группы, и устанавливается очередность их обрушения.

Известно, что породные слои имеют различные физико-механические свойства и могут служить для ранее обрушившихся вышележащих породных слоев мощными и прочными слоями, способными выдерживать определенную нагрузку. Поэтому подрабатываемый углепородный массив разделяется на группы слоев, в которых нижний слой является несущим [10].

С учетом слоистости кровли [6] предельный пролет определяется по выражению

$$l_n = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{сж} h}{7\sigma_p}\right)^2 + \frac{h}{\gamma}(\sigma_{сж} - 2\lambda\gamma H)} - \frac{\sigma_{сж} h}{7\sigma_p}, \text{ м} \quad (1)$$

где  $h$  – мощность рассчитываемого слоя, м;  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_p$  – предел прочности породы

соответственно на сжатие и растяжение, Па;  $\lambda$  – коэффициент бокового распора;  $\gamma$  – удельный вес породы, Н/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина залегания слоя, м.

По методу, разработанному в ИФГП НАНУ [10], определяются группы породных слоев, участвующих в совместном обрушении для исследуемого участка. При этом принимается, что группы породных слоев, в состав которых входит пласт-спутник ведут себя как один слой разрушения.

Предельный пролет верхней границы породного слоя (рис. 2) определяется с учетом угла прогиба [10, 11] породных слоев ( $\varphi = 45^\circ$ ) по формуле

$$l_i^g = l_i^h - \frac{2(h_i + \sum h_p)}{\operatorname{tg} \varphi}, \text{ м} \quad (2)$$

где  $l_i^g$  – предельный пролет верхней границы несущего породного слоя, м;  $l_i^h = l_n$  – предельный пролет нижней границы рассчитываемого слоя, м;  $h_p$  – мощность слоев пригрузки, м;  $i$  – номер слоя.

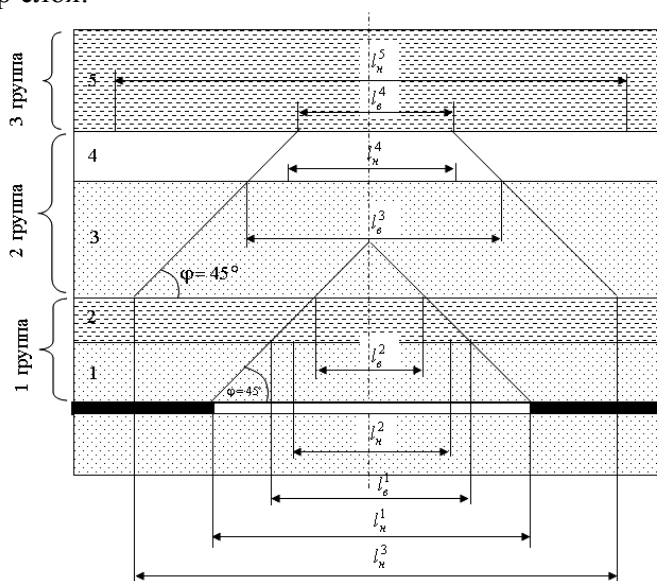


Рис. 2. Схема определения групп породных слоев

Если предельный пролет верхней границы нижележащего слоя больше предельного пролета нижней границы вышележащего слоя ( $l_i^g \geq l_{i+1}^h$ ), то верхний слой обрушается раньше нижележащего и является слоем пригрузки, а нижележащий – несущим слоем. Таким образом, каждый вышележащий слой, будучи пригрузкой для несущего слоя, входит в состав его группы. Если предельный пролет верхней границы нижележащего слоя меньше предельного пролета нижней границы вышележащего слоя ( $l_i^g < l_{i+1}^h$ ), то верхний слой обрушается после обрушения нижележащего и является самостоятельным несущим слоем.

Первая группа слоев, в основании которой залегает несущий слой, представленный мощным породным слоем, является основной кровлей. После установления группы породных слоев, участвующих в обрушении основной кровли пласта, строим расчетную схему для определения предельных напряжений в пласте-спутнике. На расчетной схеме (рис. 3) показан совместный прогиб породных группы слоев, общей мощностью  $h$ , вмещающей пласт-спутник.

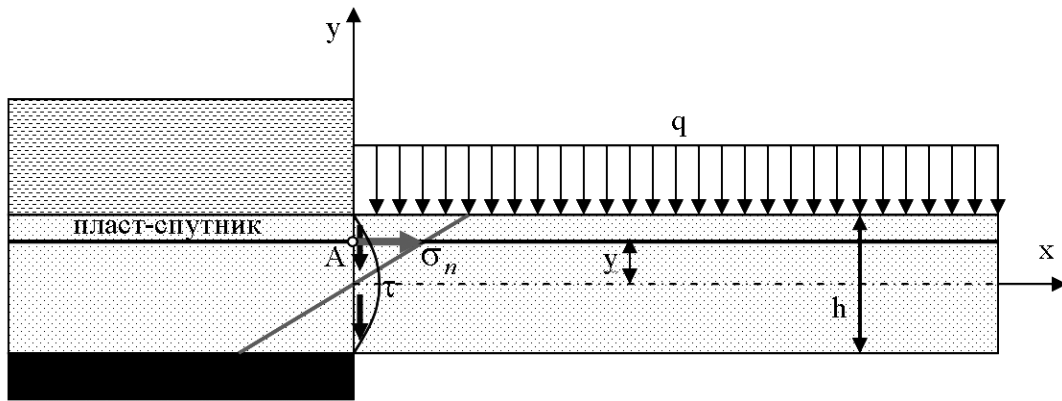


Рис. 3. Расчетная схема для определения предельных напряжений в пласте-спутнике

Как известно [12, 13], при прогибе слоя у заделки в поперечном сечении наряду с нормальными напряжениями действуют касательные. Для установления области локального разрушения в пластах-спутниках необходимо определить нормальные и касательные напряжения в нём. В качестве критерия предельного состояния используется критерий Мора, который зависит от касательных и нормальных напряжений и определяется по формуле

$$\tau = \tau_0 + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

где  $\tau_0$  и  $\varphi$  – соответственно сцепление и угол внутреннего трения разрушаемого материала;  $\sigma_n$  – нормальная составляющая напряжения, Па;  $\tau$  – предельные касательные напряжения, Па.

Согласно разработанной расчетной схеме (рис. 2) определяем нормальные и касательные напряжения в пласте-спутнике.

Известно, что глубина залегания, гравитационные силы и силы бокового распора являются факторами постоянного и повсеместного действия [6, 14]. Поэтому при определении нормальных напряжений в пласте-спутнике учитывается давление бокового распора. Нормальные напряжения [12] находятся по выражению

$$\sigma_n = \frac{12 \cdot M \cdot y}{h^3} \quad (4)$$

С учетом давления бокового распора

$$\sigma_n = \frac{12 \cdot M \cdot y}{h^3} - \lambda \cdot \gamma \cdot H \quad (5)$$

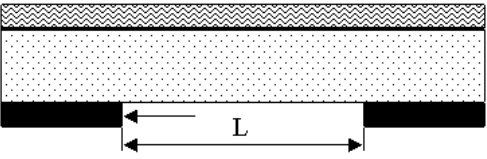
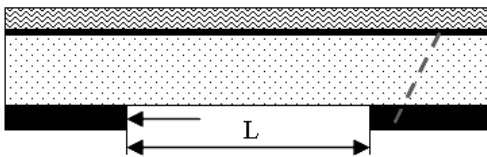
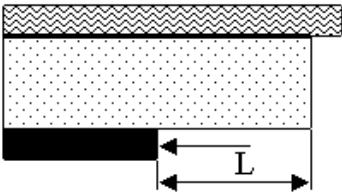
касательные напряжения [12] составляют

$$\tau = \frac{6 \cdot Q}{h^3} \cdot \left( \frac{h^2}{4} - y^2 \right), \quad (6)$$

где  $y$  – расстояние от центра оси рассматриваемой группы слоев до пласта-спутника, м;  $\gamma$  – средний объемный вес пород, Н/м<sup>3</sup>;  $h$  – мощность группы слоев, м;  $H$  – глубина залегания пласта-спутника, м;  $M$  – изгибающий момент, действующий на группу слоев, Н·м;  $Q$  – сила нагрузки породных слоев, Н.

Параметры  $M$  и  $Q$  определяются в расчете на единицу длины лавы и зависят от схемы расположения геологических нарушений в очистном забое (таблица).

Выбор расчетной схемы для определения параметров  $M$  и  $Q$ 

№ СХЕМЫ	РАСЧЕТНАЯ СХЕМА	$M$	$Q$
1.		$M = \frac{\gamma \cdot (h + h_n) \cdot L^2}{12}$	$Q = \frac{\gamma \cdot (h + h_n) \cdot L}{2}$
2.		$M = \frac{\gamma \cdot (h + h_n) \cdot L^2}{8}$	$Q = \frac{5 \cdot \gamma \cdot (h + h_n) \cdot L}{8}$
3.		$M = \frac{\gamma \cdot (h + h_n) \cdot L^2}{2}$	$Q = \gamma \cdot (h + h_n) \cdot L$

Для определения величины отхода очистного забоя  $L$  от монтажного ходка, при котором происходит разрушение подрабатываемого пласта-спутника, подставляем выражения (5, 6) и параметры  $M$  и  $Q$  (таблица) в соотношение (1) и рассчитываем:

1) для схемы № 1 (без учета геологического нарушения)

$$L = \frac{\sqrt{9 \cdot \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)^2 + \frac{4}{q} \cdot h^3 \cdot y \cdot \operatorname{tg}(\rho) \cdot (\tau_0 + \operatorname{tg}(\rho) \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot H_{cn})} - 3 \cdot \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}{2 \cdot y \cdot \operatorname{tg}(\rho)}; \quad (7)$$

2) для схемы № 2 (с учетом геологического нарушения)

$$L = \frac{\sqrt{\frac{225}{16} \cdot \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)^2 + \frac{6}{q} \cdot h^3 \cdot y \cdot \operatorname{tg}(\rho) \cdot (\tau_0 + \operatorname{tg}(\rho) \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot H_{cn})} - \frac{15}{4} \cdot \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}{3 \cdot y \cdot \operatorname{tg}(\rho)}; \quad (8)$$

3) схема № 3 (для периодического обрушения без учета геологического нарушения)

$$L = \frac{\sqrt{36 \cdot \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)^2 + \frac{24}{q} \cdot h^3 \cdot \tau_0 \cdot y \cdot \operatorname{tg}(\rho)} - 6 \cdot \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}{12 \cdot y \cdot \operatorname{tg}(\rho)} \quad (9)$$

где  $q = \gamma \cdot (h + h_n)$  – распределенная нагрузка, Н/м<sup>2</sup>;  $h_n$  – мощность группы слоев нагружения, м.

После определения величины отхода очистного забоя от монтажного ходка  $L$ , при

котором образуются локальные области разрушения в подрабатываемых пластах-спутниках, в зонах тектонических нарушений с помощью разработанного критерия  $K_3$  [15] устанавливаем потенциальные зоны скопления свободного метана.

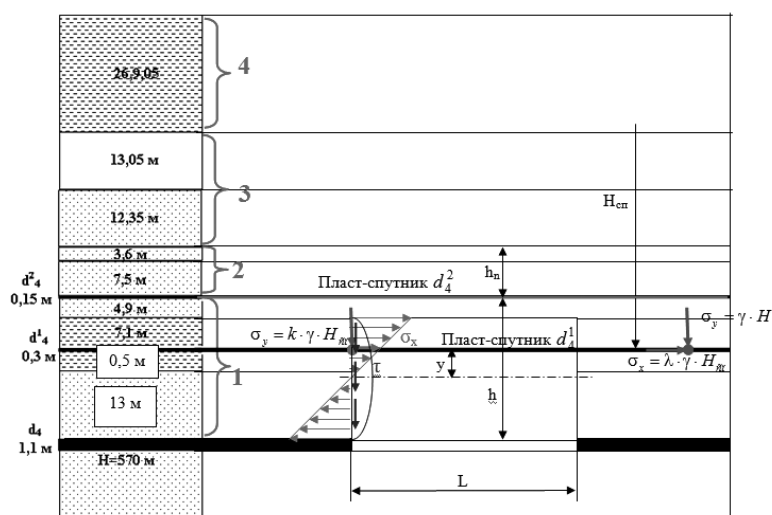
С целью предотвращения аварий и простоев очистного забоя, связанных с загазованностью во время первичной посадки основной кровли пласта, необходимо повысить эффективность дегазационных скважин, которая зависит от выбранных параметров. Поэтому расчет параметров (длина, угол наклона, угол поворота) дегазационных скважин выполняется с учетом установленных прогнозных зон скопления метана в пластах-спутниках.

Согласно разработанной методике, на примере 1-й северной лавы пласта  $d_4$  блока №3 ШУ «Покровское» были определены области локального разрушения в подрабатываемых пластах-спутниках  $d_4^1$  и  $d_4^2$  при отходе очистного забоя от 1-го монтажного ходка и монтажного ходка «бис».

По геологоразведочным данным для исследуемого участка (скважина № 3393) выбрана расчетная схема № 2 из таблицы 1 и установлены группы слоев, участвующие в обрушении.

Так, расчет мест локального разрушения подрабатываемых пластов при отходе очистного забоя от 1-го монтажного ходка (рис. 4, а) выполняется при условии, что пласты-спутники  $d_4^1$  и  $d_4^2$  попадают в первую группу породных слоев. При отходе очистного забоя от монтажного ходка «бис» (рис. 4, б) пласт-спутник  $d_4^1$  попадает в первую группу породных слоев, а пласт-спутник  $d_4^2$  во вторую.

а)



б)

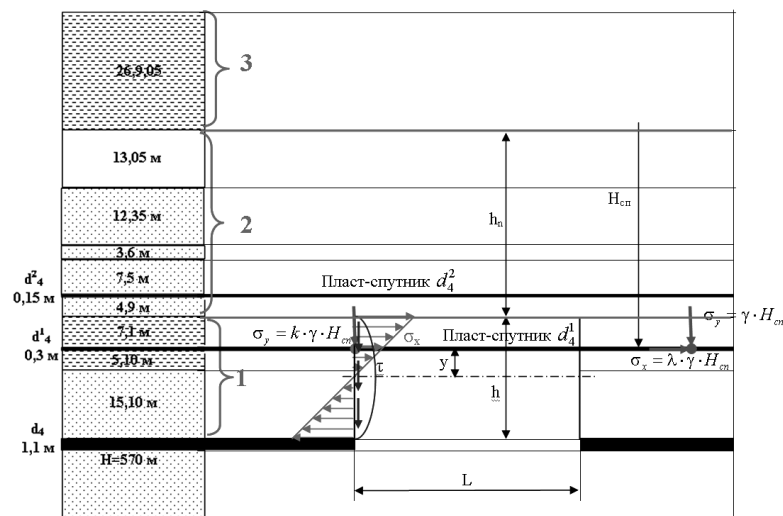


Рис. 4. Расчетная схема к определению осевых нормальных и касательных напряжений при отходе очистного забоя: а) от 1-го монтажного ходка; б) от монтажного ходка «бис»

Результаты расчета показали, что расстояние  $L$ , при котором начинается разрушение пластов-спутников, при отходе очистного забоя от 1-го монтажного ходка составляет  $L_1 = 61,1$  м (для пласта-спутника  $d_4^1$ ) и  $L_2 = 40,7$  м (для пласта-спутника  $d_4^2$ ). При отходе очистного забоя от монтажного ходка «бис»  $L_1$  составляет 49,4 м для пласта-спутника  $d_4^1$  (первая группа слоев), а  $L_2 - 89,1$  м для пласта-спутника  $d_4^2$  (вторая группа слоев). При этом зоны локальной разгрузки пластов-спутников на исследуемом участке формируются в интервалах от расчетных расстояний  $L$  до первичных посадок основной кровли, зафиксированных на 120 м от монтажного ходка и 91 м от монтажного ходка «бис» (рис. 5).

Также в результате исследований было установлено, что формирование областей разрушения в подрабатываемых пластах-спутниках, обуславливает образование локальных зон скопления свободного метана в них до первичной посадки основной кровли. Так, при отходе очистного забоя от 1-го монтажного ходка наблюдалось увеличение дебита метана из дегазационных скважин, пробуренных в области, соответствующие расчетным зонам разгрузки пластов-спутников  $d_4^1$  и  $d_4^2$  (рис. 5) в 2 – 2,5 раза (ПК116, П118, П120).

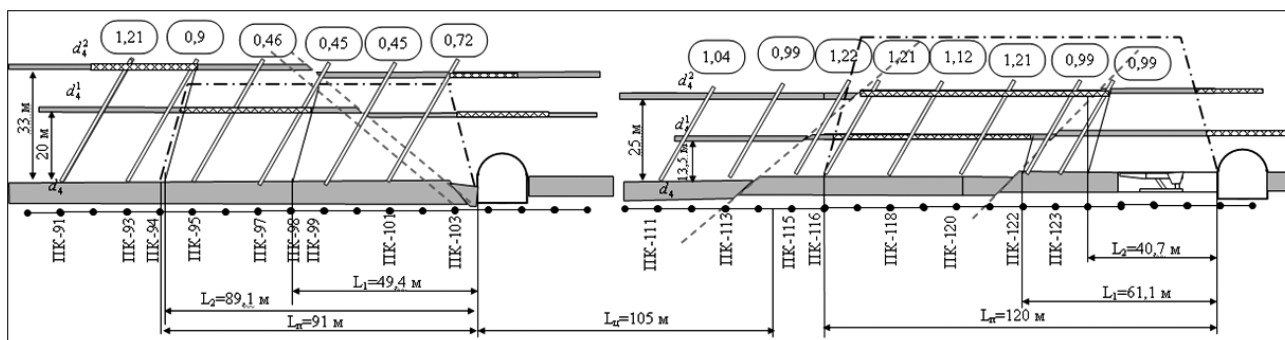


Рис. 5. Образование локальных мест разрушения пластов-спутников

В тоже время, шахтные исследования показали, что скопление свободного метана в локальных областях разгрузки пластов-спутников тесно связаны с положением геологических нарушений по отношению к забою на выемочном участке (рис. 5).

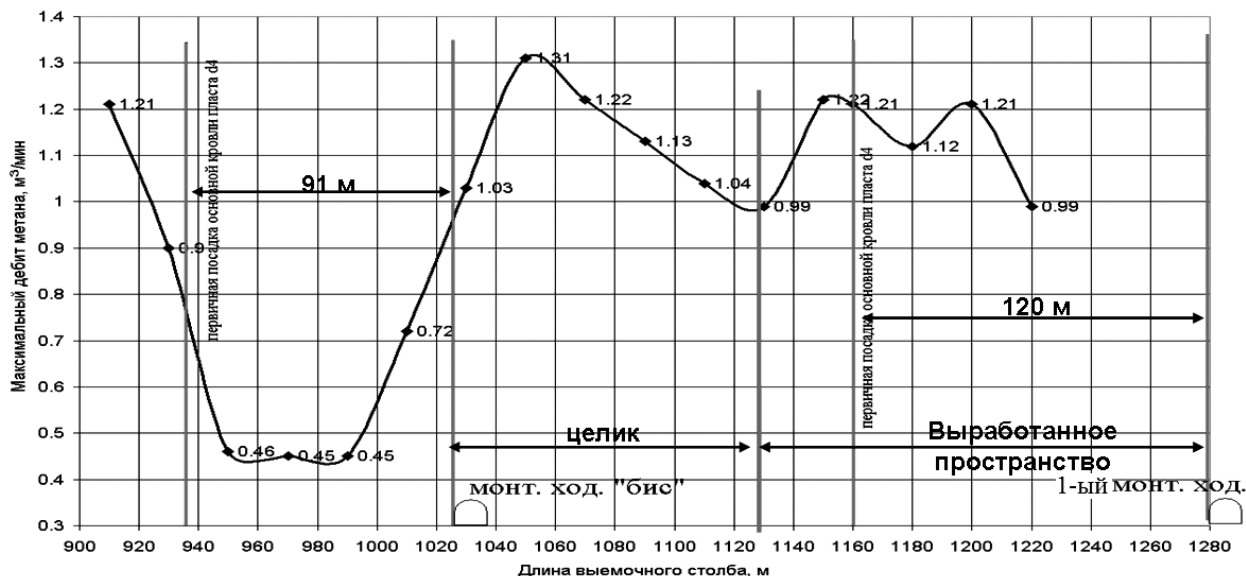


Рис. 6. Изменение дебита метана из дегазационных скважин по длине выемочного столба

Так, например, при отходе очистного забоя от 1-го монтажного ходка «бис» в условиях тектонической нарушенности (рис. 5), в интервале ПК 95 – ПК 99 наблюдалось уменьшение дебита из дегазационных скважин до 0,45–0,46 м³/мин (рис. 6).

## Выводы

Таким образом, на основе критериев, учитывающих взаимодействие систем

тектонической и техногенной трещиноватостей, геомеханические особенности формирования мест локального разрушения (разгрузки) пластов-спутников, разработана методика по определению потенциальных зон скопления свободного метана в них при ведении очистных работ в условиях тектонической нарушенности.

При этом, установлено, что величина отхода очистного забоя от монтажного ходка находится в зависимости от схемы расположения геологического нарушения на выемочном участке, мощности группы породных слоев, участвующих в обрушении основной кровли, а также сцепления и угла внутреннего трения.

За счет бурения дегазационных скважин в заблаговременно установленные зоны скопления свободного метана в пластах-спутниках и уменьшения выделения метана в выработанное пространство, разработанная методика позволит повысить как безопасность ведения очистных работ в условиях тектонической нарушенности, так и эффективность дегазации подрабатываемого углепородного массива.

#### Список литературы

1. Малышев Ю. Н. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов / Ю. Н. Малышев, К. Н. Трубецкой, А. Т. Айруни; Издательство Академии горных наук. – М.: ИАГН, 2000. – 519 с.
2. Айруни А. Т. Способы борьбы с выделениями метана на угольных шахтах / А.Т. Айруни. – М.: ЦНИЭУголь, 1991 – 64 с.
3. Дегазация смежных угольных пластов-спутников / А. Т. Айруни, И. В. Сергеев, А. И. Морев [и др.]. – М.: ЦНИЭУголь, 1975. – 97 с.
4. Прогноз метановыделения на выемочном участке при первичной посадке непосредственной и основной кровли / Б. Н. Иотенко // Способи та засоби створення безпечних та здорових умов праці у вугільних шахтах : зб. наук. праць МакНІІ. – М.: 2009. – Вип. 1(23). – С. 17–23.
5. Аэрогазодинамика выемочного участка / Ф. А. Абрамов, Б. Е. Грецингер, В. В. Соболевский, Г. А. Шевелев. – К.: Наук. думка, 1973. – 236 с.
6. Фисенко Г. Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок / Г. Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
7. Канлыбаева Ж. М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве / Ж. М. Канлыбаева. – М.: Наука, 1968. – 108 с.
8. Хохлов И. В. Комплексное исследование массива горных пород / И. В. Хохлов. – М.: Наука, 1986. – 163 с.
9. Определение разрушающих напряжений от прогиба слоев над выработанным пространством / Н. И. Лобков, В. М. Куцерубов, Е. Н. Халимендикова, А. И. Сергиенко, Л. В. Сергиенко // Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. труд. – Донецк: ИФГП НАН Украины, 2007. – №10. – С.119 – 127.
10. Методичні вказівки з прогнозування первинного обвалення основної покрівлі в лавах пологих пластів Донбасу: метод. рекомендації / уклад. А. Д. Алексеев, Б. А. Грядущий, М. О. Ільяшов, Є. І. Піталенко, М. І. Лобков, Є. М. Халімендіков, О. Д. Кожушок, О. І. Сергієнко; Інститут фізики гірничих процесів НАН України. – Донецьк, 2008. – 21 с.
11. Сергієнко О.І. Геомеханічне обґрунтування параметрів обвалення важкокерованої покрівлі в лавах пологих пластів Донбасу: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.15.02 / О. І. Сергієнко – Донецьк, 2009. – 18 с.
12. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К.: Наук. думка, 1988. – 736 с.
13. Тимко И. А. Сопротивление материалов / И. А. Тимко. – Х: Изд. Харьковского университета, 1970. – 347 с.
14. Турчанинов И. А. Основы механики горных пород / И. А. Турчанинов, М. А. Иофис, Э. В. Каспарьян. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
15. Пат. № 75969 Україна, G01V9/00; E21F/00. Спосіб прогнозування зон скупчення вільного метану / А. Д. Алексеев, В. М. Ревва, О. В. Гладкая, Л. В. Сергієнко, О. І. Сергієнко, Л. М. Прокоф'єва; заявник і патентоволодар: Інститут фізики гірничих процесів НАН України. – № u 201204374; заявл. 09.04.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.
16. Сергиенко Л.В. Особенности формирования зон скопления свободного метана в подрабатываемом углепородном массиве с учетом взаимодействия естественной и техногенной трещиноватости. / Л.В.Сергиенко Е.В. Гладкая, И.О. Павлов, Д.М. Житленок // Геотехническая механика. – Днепрпетровск. – 2012. - № 101. – С. 56 – 62.