

УДК 622.831.325.3

Л.В. Сергиенко¹, Е.В. Гладкая¹, А.И. Сергиенко²

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

¹Институт физики горных процессов НАН Украины

²Красноармейский индустриальный институт Донецкого национального технического университета

Разработана инженерная методика определения напряжений в углепородном массиве, в частности, в пластах-спутниках. Получена зависимость, позволяющая определить величину (расстояние) отхода очистного забоя до первичной посадки основной кровли, при котором начинается разрушение подрабатываемых пластов-спутников.

Ключевые слова: породные слои, дегазация, углепородный массив, пласт-спутник, напряженно-деформированное состояние, области разрушения, геологическое нарушение

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 происходит 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 [5]. Согласно исследованиям Ф.А. Абрамова, Б.Е. Грецингера, Г.А. Шевелева и др. предложена общая закономерность изменения напряженно-деформированного состояния подрабатываемых пластов-спутников, которая основана на результатах замеров плотности газовыделения в выработанное пространство. Ими установлено, что изменение напряженно-деформированного состояния подрабатываемых

мых пластов-спутников начинается впереди очистного забоя. При этом метан выделяется из той части пласта-спутника, которая находится в разгруженной зоне. Однако данный вопрос является недостаточно изученным, поскольку численные значения напряжений в подрабатываемых пластах-спутниках не определяются, что соответственно, не дает возможности установить месторасположение начала разрушения подрабатываемых пластов-спутников до первичной посадки основной кровли. Поэтому геомеханическое обоснование мест локального разрушения пластов-спутников с целью установления зон скопления свободного метана в них, остаётся актуальной задачей, решение которой позволит существенно повысить не только эффективность дегазации подрабатываемого массива, но и безопасность ведения очистных работ.

Известно, что гипотеза сдвижения горных пород, основанная на изгибе упругих плит (в плоской задаче – балок) с поперечным сдвигом наиболее близко удовлетворяет характеру сдвижения горных пород наблюдаемых 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. 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 плиты, жестко защемленные с 4-х, 3-х и 2-х сторон. Вначале отхода лавы породный слой кровли ведет себя как толстая плита, поскольку величина отхода меньше десятикратной мощности слоя. По мере подвигания очистного забоя, когда величина отхода превысит десятикратную мощность породного слоя, расчет выполняется для тонкой плиты. При решении плоской задачи сложный расчет упругих плит сводится к расчету упругих балок [6–9].

Для разработки инженерного метода определения напряжений в углепородном массиве, в частности пластов-спутников, породные слои углепородного массива 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; $\sigma_{сж}$, σ_p – предел прочности породы соответственно на сжатие и растяжение, Па; λ – коэффициент бокового распора; γ – удельный вес породы, Н/м³; H – глубина залегания слоя, м.

По методу, разработанному в ИФГП НАНУ [10] определяем группы породных слоев участвующих в совместном обрушении для исследуемого участка, при этом мы принимаем, что группы породных слоев, в состав которых входит пласт-спутник ведет себя как один слой разрушения.

Предельный пролет верхней границы породного слоя (рис. 1) определяется с учетом угла прогиба породных слоев ($\varphi = 45^\circ$) по формуле [10, 11]:

$$l_i^e = l_i^H - \frac{2(h_i + \Sigma h_p)}{\text{tg } \varphi}, \text{ м}, \quad (2)$$

где l_i^e – 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.

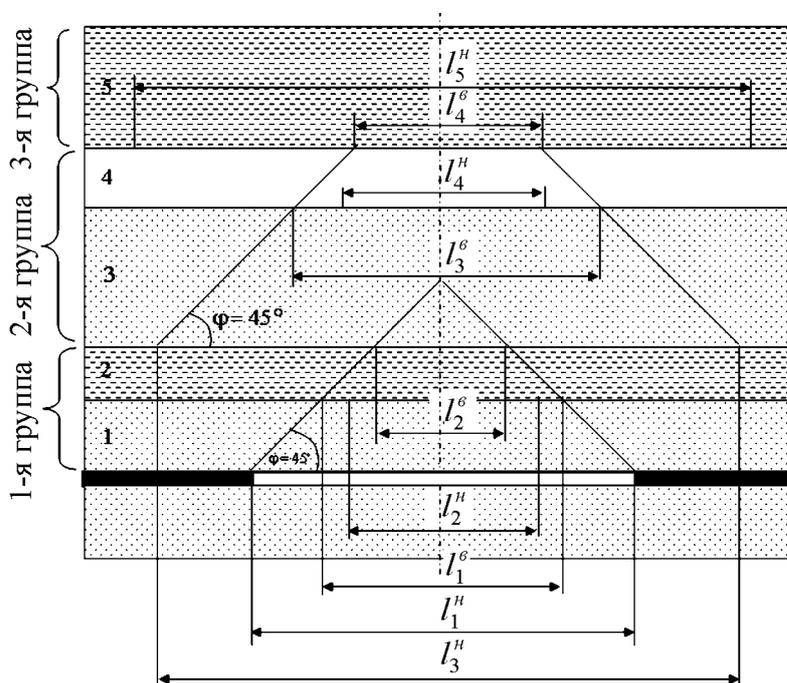


Рис. 1. Схема определения групп породных слоев

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

меньше предельного пролета нижней границы вышележащего слоя ($l_i^e < l_{i+1}^n$), 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 кровле пласта строим расчетную схему для определения предельных напряжений в пласте-спутнике. На расчетной схеме (рис. 2) показан совместный прогиб породных групп слоев, общей мощностью h , вмещающей пласт-спутник.

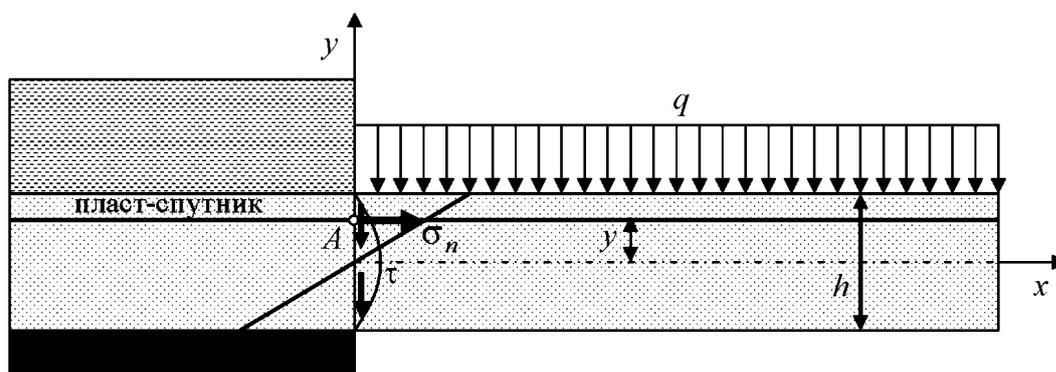


Рис. 2. Расчетная схема для определения предельных напряжений в пласте-спутнике

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, которые испытывает пласт-спутник. 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 τ_0 и φ – соответственно сцепление и угол внутреннего трения разрушаемого материала; σ_n – нормальная составляющая напряжения, Па; τ – 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 определяются по выражению [12]:

$$\sigma_n = \frac{12My}{h^3}, \quad (2)$$

а с учетом давления бокового распора:

$$\sigma_n = \frac{12My}{h^3} - \lambda\gamma H, \quad (3)$$

касательные напряжения [12]:

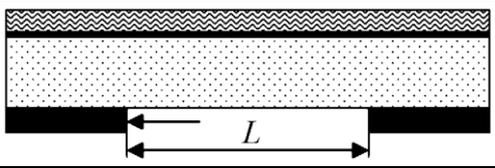
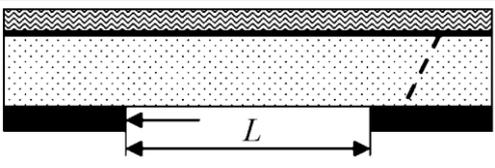
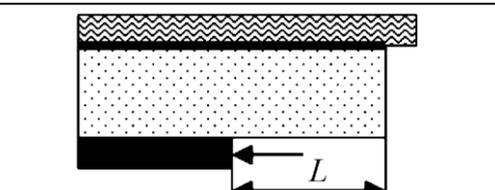
$$\tau = \frac{6Q}{h^3} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right), \quad (4)$$

где y – расстояние от центра оси рассматриваемой группы слоев до пласта-спутника, м; γ – средний объемный вес пород, Н/м³; 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 (табл. 1).

Таблица 1

Выбор расчетной схемы для определения параметров M и Q

№ схемы	Расчетная схема	M	Q
1		$M = \frac{\gamma(h+h_n)L^2}{12}$	$Q = \frac{\gamma(h+h_n)L}{2}$
2		$M = \frac{\gamma(h+h_n)L^2}{8}$	$Q = \frac{5\gamma(h+h_n)L}{8}$
3		$M = \frac{\gamma(h+h_n)L^2}{2}$	$Q = \gamma(h+h_n)L$

Для определения величины отхода очистного забоя от монтажного ходка, при котором происходит разрушение подрабатываемого пласта-спутника подставляем выражение (3), (4) и параметры M и Q из (табл. 1) в (1) и выразив параметр L , получим:

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

$$L = \frac{\sqrt{9\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)^2 + \frac{4}{q}h^3y \operatorname{tg}(\rho)(\tau_0 + \operatorname{tg}(\rho)\lambda\gamma H_{cn}) - 3\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}}{2y \operatorname{tg}(\rho)}; \quad (5)$$

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

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

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

$$L = \frac{\sqrt{36\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)^2 + \frac{24}{q} \cdot h^3 \cdot \tau_0 y \operatorname{tg}(\rho) - 6\left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)}}{12y \operatorname{tg}(\rho)}, \quad (7)$$

где $q = \gamma(h + h_n)$ – распределенная нагрузка, Н/м²; 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 местах с тектоническими нарушениями, с помощью разработанного критерия K_3 [15] устанавливаем 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.

В качестве примера был выбран участок 1 северная лава пласта d_4 блока № 3 ШУ «Покровское». По геологоразведочным данным исследуемого участка (скважина № 3393) выбрана расчетная схема № 2 из табл. 1 и установлены группы слоев, участвующие в обрушении (рис. 3).

Расстояние отхода очистного забоя L от 1-го монтажного ходка, при которой начнется разрушение пластов-спутников составили: для пласта-спутника d_4^2 – $L = 40,7$ м, $d_4^1 - L = 61,1$ м соответственно и продлиться до первичной посадки основной кровли, которая согласно акту посадки равна 120 м (рис. 5).

Расстояние отхода очистного забоя L от монтажного ходка «бис» при котором начнется разрушение, составили: для пласта-спутника $d_4^1 - L = 49,4$ м (первая группа слоев), $d_4^2 - L = 89,1$ м (вторая группа слоев) и продлиться до первичной посадки основной кровли, которая согласно акту посадки равна 90 м (рис. 5).

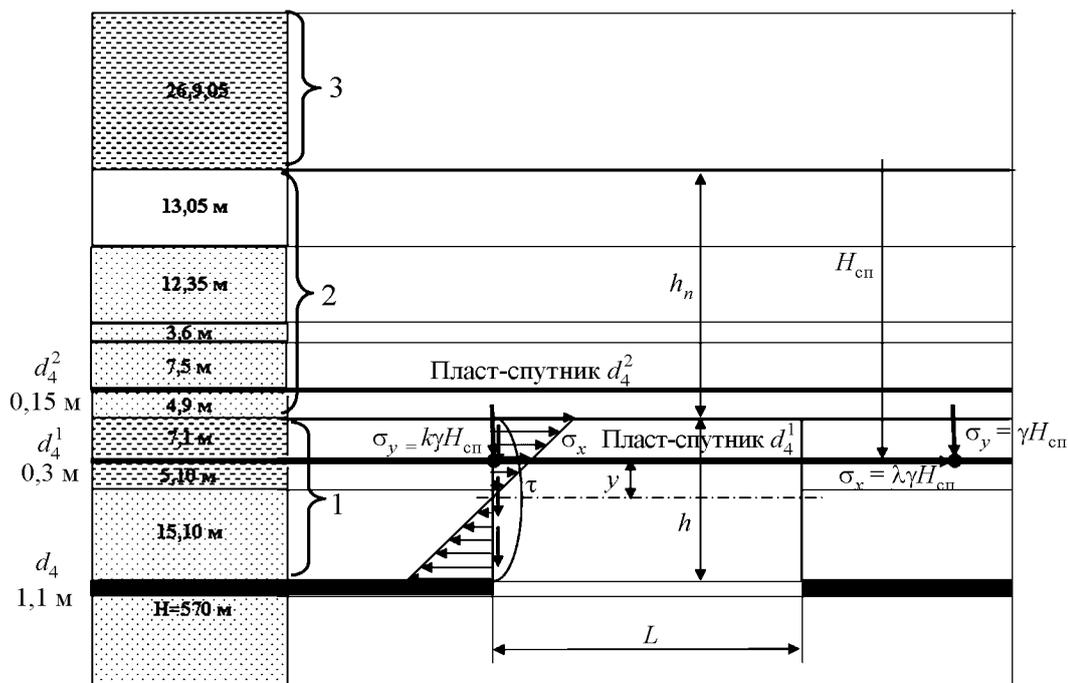


Рис. 3. Расчетная схема к определению осевых нормальных и касательных напряжений

На рис. 4 приводится изменение максимального дебита метана из дегазационных скважин по длине выемочного столба для 1-го монтажного ходка и монтажного ходка «бис».

По результатам исследований установлено, что при отходе очистного забоя от 1-го монтажного ходка до первичной посадки основной кровли пласта d_4 максимальный дебит метана составил 1,12–1,21 м³/мин, для монтажного ходка «бис» 0,45–0,46 м³/мин соответственно.

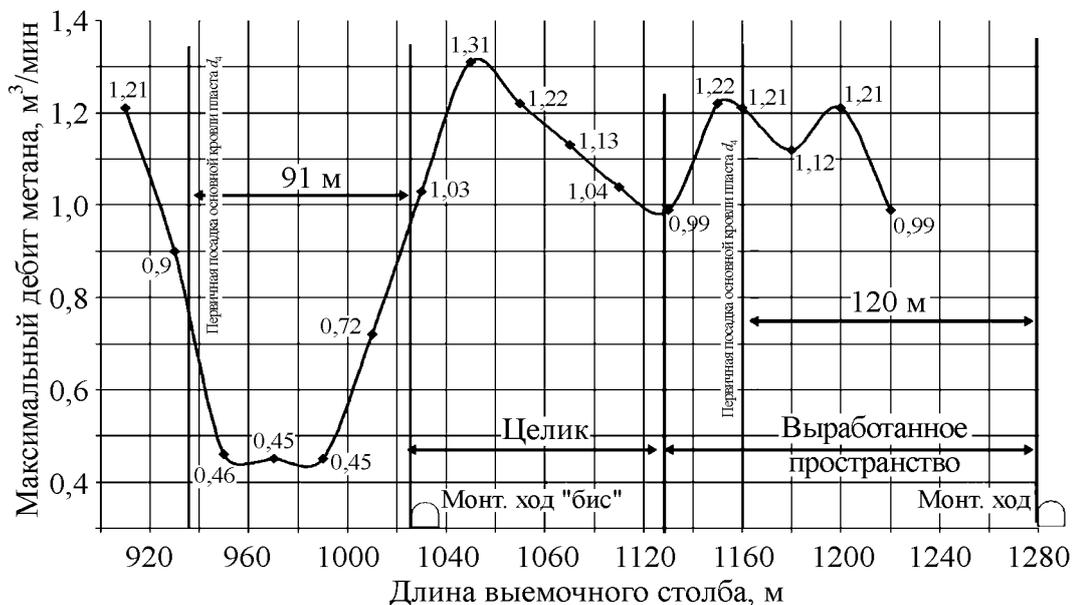


Рис. 4. Изменение максимального дебита метана по длине выемочного столба

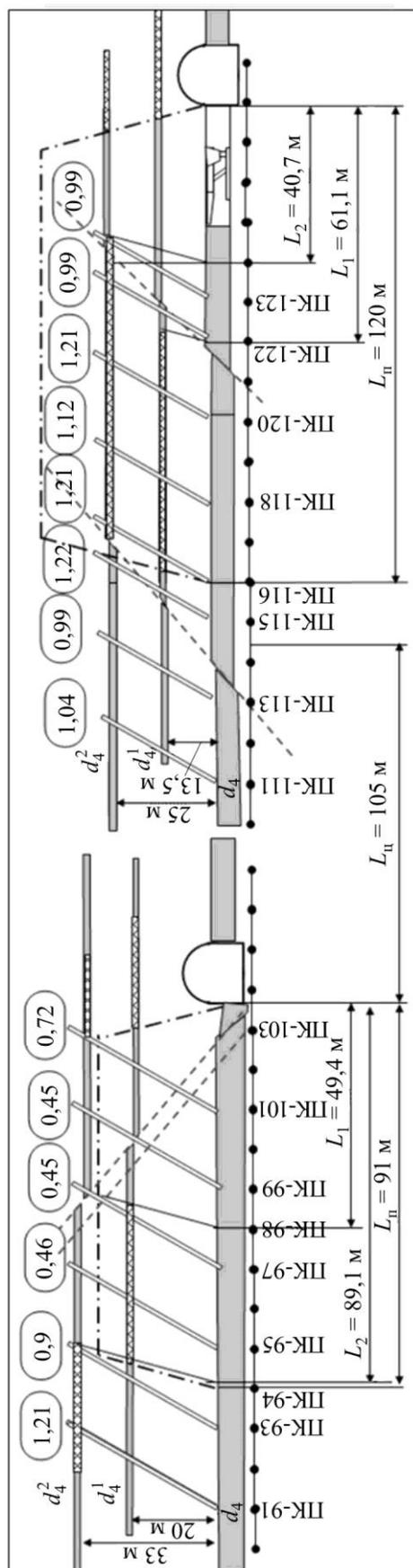


Рис. 5. Образование локальных мест разрушения пластов-спутников

С помощью критерия K_3 установлено, что при отходе очистного забоя от 1-го монтажного ходка до первичной посадки основной кровли в пластах-спутниках d_4^1 и d_4^2 формируются зоны скопления свободного метана.

Выводы

Таким образом, получена зависимость для определения величины отхода очистного забоя от монтажного ходка с учётом давления бокового распора на пласт-спутник, при котором в подрабатываемом угленосном массиве возможно разрушение пласта-спутника до первичной посадки основной кровли угольного пласта. 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. Разработанная методика определения напряжений в подрабатываемых пластах-спутниках, позволит устанавливать местоположение областей их локального разрушения, обуславливающих формирование потенциальных зон скопления свободного метана в них до первичной посадки основной кровли угольного пласта, что существенно повысит эффективность дегазации подрабатываемого массива и безопасность ведения очистных работ.

1. *Мальшев Ю.Н.* Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов [Текст] / Ю.Н. Мальшев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни. – Москва: Изд. Академии горных наук, 2000. – С. 519.
2. *Айруни А.Т.* Способы борьбы с выделениями метана на угольных шахтах [Текст] / А.Т. Айруни. – Москва: Изд. ЦНИЭУголь, 1991 – С. 64.
3. *Айруни А.Т.* Дегазация смежных угольных пластов-спутников [Текст] / А.Т. Айруни, И.В. Сергеев, А.И. Морев и др. – Москва: ЦНИЭУголь, 1975. – С. 97.
4. *Иотенко Б.Н.* Прогноз метановыделения на выемочном участке при первичной посадке непосредственной и основной кровли / Б.Н. Иотенко // Збірник наукових праць 1(23) «Способи та засоби створення безпечних та здорових умов праці у вугільних шахтах». – МакНІІ, 2009.
5. *Абрамов Ф.А.* Аэрогазодинамика выемочного участка [Текст] / Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, В.В. Соболевский, Г.А. Шевелев. – Киев: Наукова думка, 1973. – С. 236.
6. *Фисенко Г.Л.* Предельное состояние горных пород вокруг выработок [Текст] / Г.Л. Фисенко. – Москва: Недра, 1976. – С. 272.
7. *Канлыбаева Ж.М.* Закономерности сдвижения горных пород в массиве / Ж.М. Канлыбаева. – Москва: Наука, 1968. – С. 108.
8. *Хохлов И.В.* Комплексное исследование массива горных пород / И.В. Хохлов. – Москва: Наука, 1986. – С. 163.
9. *Лобков Н.И.* Определение разрушающих напряжений от прогиба слоев над выработанным пространством / Н.И. Лобков, В.М. Куцерубов, Е.Н. Халимендииков,

- А.И. Сергиенко, Л.В. Сергиенко // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк. – 2007. – №10. – С.119–127.
10. *Алексеев А.Д., Грядущий Б.А., Ильяшов М.О., Піталенко Є.І., Лобков М.І., Халімендіков Є.М., Кожушок О.Д., Сергієнко О.І.* / Методичні вказівки з прогнозування первинного обвалення основної покрівлі в лавах пологих пластів Донбасу. – Донецьк: ІФГП НАН України, 2008. – С. 15.
 11. *Сергієнко О.І.* Геомеханічне обґрунтування параметрів обвалення важкокерованої покрівлі в лавах пологих пластів Донбасу / О.І. Сергієнко // Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» – Донецьк, 2009, 18 с.
 12. *Писаренко Г.С.* Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наук. думка, 1988. – С. 736.
 13. *Тимко И.А.* Сопротивление материалов / И.А. Тимко. – Харьков: Изд. харьковского университета, 1970. – С. 347.
 14. *Турчанинов И.А.* Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. – Ленинград: Недра, 1989. – С. 488.
 15. *Патент* Украины на полезную модель № 75969 от 25.12.2012 бюл. № 24. «Способ прогнозирования зон скопления свободного метана».

Л.В. Сергієнко, О.В. Гладка, О.І. Сергієнко

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ЗОН СКУПЧЕННЯ ВІЛЬНОГО МЕТАНУ У ПЛАСТАХ-СУПУТНИКАХ В УМОВАХ ТЕКТОНІЧНОЇ ПОРУШЕНОСТІ

Розроблена інженерна методика визначення напружень у вуглепородному масиві, зокрема пластів-супутників. Отримана залежність, що дозволяє визначити величину відходу очисного вибою до первинної посадки основної покрівлі, при якому починається руйнування підроблюваних пластів-супутників.

Ключові слова: породні шари, дегазация, пласт-супутник, напружено-деформований стан, області руйнування, геологічне порушення

L.V. Sergienko, E.V. Gladkaya, A.I. Sergienko

TECHNIQUE WORKING OUT BY DEFINITION ZONES OF THE ACCUMULATION OF FREE METHANE IN SEAMS-COMPANIONS IN THE CONDITIONS OF TECTONIC INFRINGEMENT

The engineering technique of definition of voltage in a pedigree file, in particular, seams-companions is developed. The dependence is gained, allowing to define magnitude of a withdrawal of a breakage face before primary landing of the basic roofing at which destruction of snubed seams-companions begins.

Keywords: pedigree layers, decontamination, a seam-companion, intense-deformed condition, destruction areas, geological infringement