

Академик НАН Украины А.Ф. Булат,
канд. техн. наук Ю.Н. Пилипенко
(ИГТМ НАН Украины)

СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОГО ГЕОМАТЕРИАЛА ПРИ РАЗРУШЕНИИ

Наведено аналітичні залежності зміни проникності при руйнуванні флюїдонасиченого геоматеріалу в умовах об'ємного стиснення в пружній, граничній та позаграничній області деформування. Встановлено зв'язок міцності, деформаційних параметрів і коефіцієнту Пуассона з фільтраційними властивостями вугілля та гірських порід шляхом апроксимації кривих параметричними сплайнами.

SPLINE-APPROXIMATION OF PERMEABILITY CHANGES IN FLUID- SATURATED GEOMATERIAL AT ITS BREAKING

The author shows analytical dependences of permeability of fluid-saturated geomaterial when it is broken at 3D compression in elastic, boundary and beyond boundary deformation areas. Interaction of strength and deformation parameters and Poisson's ratio with filtration properties of the coals and rocks was established by means of curve approximation and parametric splines.

Для обеспечения безопасности ведения горных работ необходимо получение надежной и достоверной информации о структуре и состоянии угленосного массива, особенно при переходе разрывных дислокаций механизированными комплексами нового технического уровня. Регламентированный нормативными документами прогноз выбросоопасности в очистных забоях затрудняет определение границ опасных зон, а активное применение опережающей дегазации выемочных столбов при добыче угля влияет на результаты текущего прогноза, по которому сложно судить о потенциальной опасности угленосного массива [1,2]. Кроме того, малоамплитудные тектонические нарушения являются природными каналами миграции флюидов и газа метана, поэтому для прогнозной оценки состояния горных выработок и поведения флюидонасыщенных пород и угля необходимо определение параметров физико-механических и коллекторских свойств, которые вычисляются при обработке полных диаграмм «напряжение – деформация» [3,4]. Для контроля разрушения применяют геофизические методы, в частности, сейсмоакустический (СА), позволяющий получить достоверную, непрерывную и оперативную информацию о состоянии образца или массива, автоматизировать процесс регистрации и обработки сигналов, локализовать очаги интенсивного трещинообразования.

Исследованиям влияния влаги на прочностные и деформационные свойства углей и горных пород посвящено значительное количество публикаций [4-6]. Все работы, в той или иной степени, базировались на изучении эффекта Ребиндера-Баренблатта для двухфазных (ДФ) и гетерогенных сред. Основной объем исследований выполнен применительно к проблемам добычи жидких и газообразных углеводородов на больших глубинах. Изучение фильтрационных свойств пород-коллекторов проводилось устройствами для исследования проницаемости керна (УИПК-1м), (УИК) по схеме Кармана или их аналогами [7-9]. Полученные результаты не могут быть использованы в полной мере при реше-

нии проблем дегазации и устойчивости выработок, так как не позволяют установить закономерности изменения фильтрационных свойств геоматериала при разрушении в предельной и запредельной области деформирования. Применить аналитическое описание сложно в связи с отсутствием гибкого математического аппарата, который позволил бы в простой, удобной для расчетов форме получить численные изменения этих характеристик, которые оказывают большое влияние на параметры конструктивных элементов систем разработок и схем дегазации. Цель работы: разработать теоретические предпосылки для исследования динамики разрушения горных пород и угля с различной степенью флюидонасыщения. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи – разработать модель ДФ-среды и выполнить аналитическое описание взаимосвязи фильтрационных свойств геоматериала и напряженного состояния угля и горных пород при деформировании и разрушении в удобной для инженерных расчетов форме. Полученные результаты составят теоретическую основу при разработке методики исследования поведения геоматериала в условиях объемного сжатия и воздействии на него газа и растворов с регулируемыи реологическими свойствами.

Модель ДФ-среды и ее описание. Неоднозначное поведение флюидонасыщенного угля и горных пород при изменении режима нагружения объясняется их структурными особенностями, а именно, параметрами трещинно-порового пространства. В задачах фильтрации растворов в геоматериале важным параметром является эффективная ширина трещин, определяющая законы движения жидкости и газа. Изучение трещиноватости является довольно сложной задачей. Это связано с неоднозначностью подходов при выборе площадок наблюдений, так как данные измерений нельзя использовать при анализе трещиноватости в других сечениях произвольного направления и при теоретических расчетах. Для описания модели геоматериала с интенсивностью системы трещин I_{0ii} , рассмотрим область S площадью S_0 (рис.1).

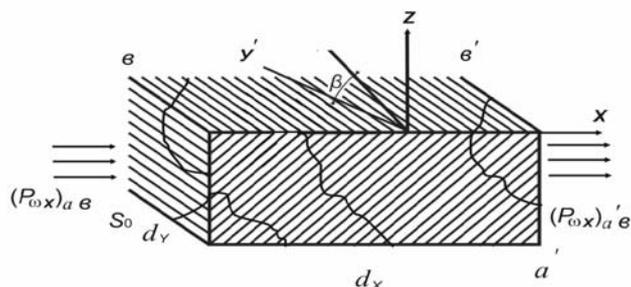


Рис. 1 – Модель фильтрации флюида в геоматериале с нарушенной структурой

Движение флюида будет характеризоваться давлением, расходом и временем преодоления пути dx , а геоматериал – проницаемостью, трещиноватостью и напряженностью среды. Экспериментальные факты снижения прочности с ростом влажности объясняются тем, что адсорбция воды на поверхности частиц горных пород сопровождается образованием двойного промежуточного слоя, который определяет толщину слоя (количество) связанной воды (прочно и рых-

ло-связанной) и зависит от комплекса обменных катионов и концентрации электролита в растворе. Поэтому при исследовании флюидонасыщения процесс фильтрации жидкости в горной породе будет рассматриваться как ньютоновское течение. Изучение физических свойств геоматериала проведено в различных направлениях по отношению к слоистости, трещиноватости при фиксированных значениях влажности и пористости исследуемых образцов. На основании этих работ установлена взаимосвязь разрушения слабых горных пород (аргиллит, алевролит) с изменениями проницаемости флюидонасыщенной среды. На рис.2 представлена модель изменения проницаемости при деструкции геоматериала.

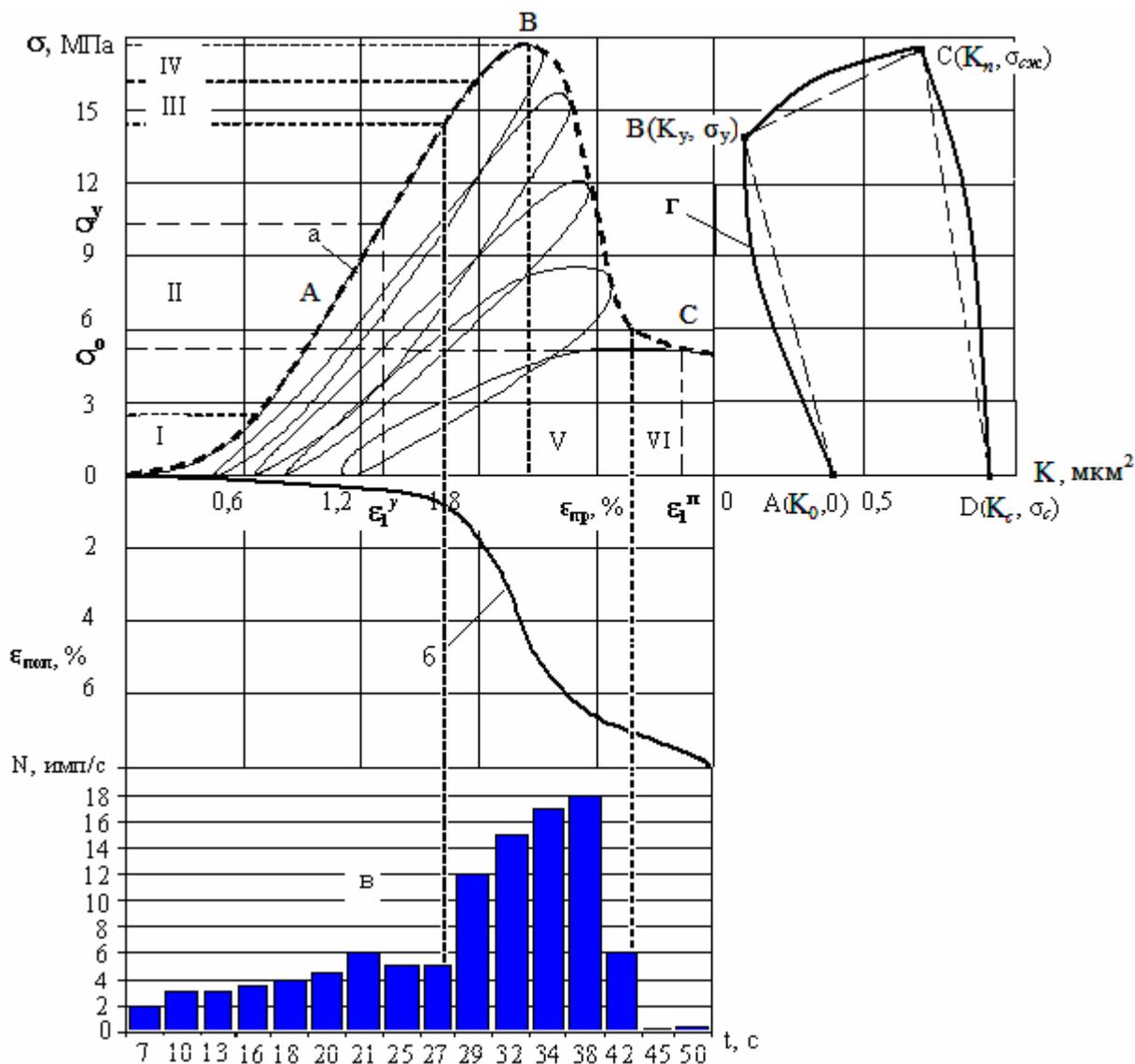


Рис. 2 – Обобщенная модель разрушения геоматериала (а) и схема изменения его проницаемости (г) под нагрузкой

На схеме приняты следующие обозначения: $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие; σ_y , σ_c – напряжения в области упругих деформаций и остаточной прочности, соответственно; продольные ($\epsilon_{пр}$) и поперечные ($\epsilon_{поп}$) деформации» образ-

ца угля при объемном сжатии с боковым давлением P , характерные области деформирования пород (I-VI) и соответствующие диаграммы изменения: интенсивности сейсмоакустической эмиссии и γ -проницаемость K_0, K_y, K_n, K_c – при нулевом напряжении, в области упругих деформаций, в предельной области напряжений и в области остаточных напряжений. В наиболее общем виде взаимосвязь проницаемости и напряженно-деформированного состояния среды описывается с помощью параметрических сплайн-функций [10, 11], а процесс фильтрации жидкости в геоматериале законом Дарси в элементарной форме [7]

$$K = \frac{Q \cdot \mu \cdot l}{A \cdot \Delta P}, \quad (1)$$

где Q – объем фильтрата; μ – динамическая вязкость; l – геометрические параметры образца; A – площадь сечения образца; ΔP – разность давлений.

Допустим, что кривая, характеризующая зависимость проницаемости среды от напряжений (рис. 2г), задана в плоскости OX_1X_2 своими параметрическими уравнениями $X_k = \varphi_k(t)$ ($k=1;2$); $t \in [a,b]$; где $\varphi_k(t)$ – гладкие функции. Ее можно аппроксимировать при помощи сплайн-кривых. Введем на отрезке $[a,b]$ произвольное разбиение δ_n : $a = t_0 < t_1 < \dots < t_{n-1} < t_n = b$ и обозначим $\varphi_k^{(i)}(t) = d^i \varphi_k / dt^i$ ($i=0,1$); $\varphi_k^{(0)}(t) = \varphi_k(t)$ ($k=1;2$); $h_j = t_{j+1} - t_j$ ($j=0,1,\dots,n-1$).

Кривой γ поставим в соответствие параболическую эрмитовую сплайн-кривую $Y_2(\gamma)$, которая на каждом промежутке $[t_j, t_{j+1}]$ ($j=0,1,\dots,n-1$) задается уравнениями:

$$Y_2(j, \varphi_k, t) = \sum_{p,i=0}^1 \varphi_k^{(i)}(t_{j+p}) \psi_{j,p}(t) \quad (k=1,2), \quad (2)$$

где

$$\psi_{1,0}(t) = \begin{cases} (t-t_j)(2t_{j+1}+t_j-3t)/2h_j, & t_j \leq t \leq t_{j+1/2}; \\ (t_{j+1}-t)^2/2h_j, & t_{j+1/2} \leq t \leq t_{j+1} \end{cases};$$

$$\psi_{1,1}(t) = \begin{cases} -(t-t_j)^2/2h_j, & t_j \leq t \leq t_{j+1/2}; \\ (t_{j+1}-t)(t_{j+1}+2t_j-3t)/2h_j, & t_{j+1/2} \leq t \leq t_{j+1} \end{cases};$$

$$\psi_{0,1}(t) = 1 - \psi_{0,0}(t);$$

$$\psi_{0,0}(t) = \begin{cases} 1 - 2 \left(\frac{t-t_j}{h_j} \right)^2, & t_j \leq t \leq t_{j+1/2} = (t_j + t_{j+1})/2 \\ 2 \left(\frac{t_{j+1}-t}{h_j} \right)^2, & t_{j+1/2} \leq t \leq t_{j+1} \end{cases},$$

интерполирует в точках $A_j(\varphi_1(t_j), \varphi_2(t_j))$ ($j=0,1,\dots,n$) и имеет в A_j тот же угол на-

клона касательной к оси OX_1 , что и γ . Подставляя в формулу (2) вместо $\varphi_k^{(1)}(t_j)$ их приближенные значения $\hat{\varphi}_k^{(1)}(t_j)$, рассчитанные на основании имеющейся информации о кривой γ , при $j=0$ и $j=n$, соответственно получим:

$$\begin{cases} \hat{\varphi}_k^{(1)}(t_0) = [\varphi(t_1) - \varphi(t_0)]/h_0, \\ \hat{\varphi}_k^{(1)}(t_n) = [\varphi(t_n) - \varphi(t_{n-1})]/h_{n-1} \end{cases} \quad (3)$$

Применяя для остальных t_j ($j=2, \dots, n-1$) интерполяционные полиномы Лагранжа $l_2(\varphi_k, t)$ степени 2, интерполирующие $\varphi_k(t)$ в точках t_{j-1}, t_j, t_{j+1} , и вычисляя значения их первых производных в точках t_j , запишем:

$$\hat{\varphi}_k^{(1)}(t_j) = l_2^{(1)}(\varphi_k, t_j) = -\varphi_k(t_{j-1}) \frac{h_j}{h_{j-1}(h+h_{jn})} - \varphi_k(t_j) \frac{h_{j-1} - h_j}{h_{j-1} \cdot h_j} + \varphi_k(t_{j+1}) \frac{h_{j-1}}{h_j(h_{j+1} + h_j)} \quad (4)$$

В качестве параметра целесообразно использовать длину ломаной с вершинами в точках интерполяции A_j ($j=0, 1, \dots, n$), отсчитываемую от A_0 . В этом случае $t_0=0$, $t_n=\alpha$, где α длина всей кривой.

Используем кусочно-полиномиальные функции для описания деформационных кривых $G(\varepsilon_1)$ и $R(\varepsilon_3)$, полученные для одной и той же пробы при объемных испытаниях на сжатие (рис. 2а) и в лабораторно-сухом и влагонасыщенном состоянии (рис.3).

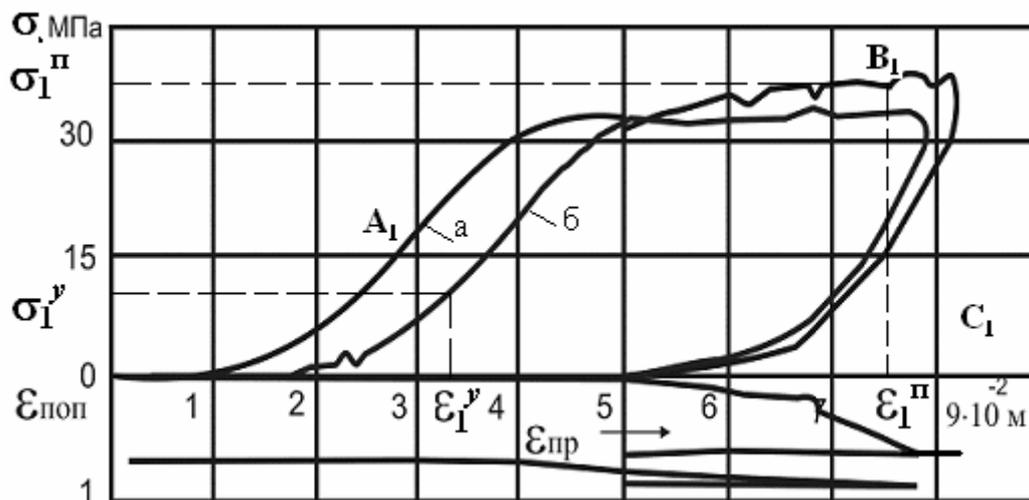


Рис.3 – Полные кривые «напряжение-деформация» угля во влагонасыщенном (а) и лабораторно-сухом (б) состоянии

Отметим, что участку OA деформационной кривой (рис. 2а) соответствует дуга AB на (рис. 2г), участку AB – дуга BC , участку BC – дуга CD .

Приближенные уравнения деформационных кривых будут иметь следующий вид:

$$G(\varepsilon_1) = \begin{cases} \sigma_{сж} \left(\frac{\varepsilon_1^n}{\varepsilon_1^0}\right)^2 + 2\sigma_{сж} \left(\frac{\varepsilon_1^n}{\varepsilon_1^0}\right); & 0 \leq \varepsilon_1 \leq \varepsilon_1^n \\ \sigma_{сж} + (\sigma_c - \sigma_{сж})(\varepsilon_1 - \varepsilon_1^n)^2 / (\varepsilon_1^0 - \varepsilon_1^n)^2; & \varepsilon_1^n \leq \varepsilon_1 \leq \varepsilon_1^0 \end{cases} \quad (5)$$

$$R(\varepsilon_3) = \begin{cases} \sigma_{сж} \frac{\varepsilon_3^n}{\varepsilon_3^0}; & 0 \leq \varepsilon_3 \leq \varepsilon_3^n \\ \sigma_{сж} + (\sigma_c - \sigma_{сж})(\varepsilon_3 - \varepsilon_3^n)^2 / (\varepsilon_3^0 - \varepsilon_3^n)^2; & \varepsilon_3^n \leq \varepsilon_3 \leq \varepsilon_3^0 \end{cases} \quad (6)$$

где ε_1 и ε_3 - соответственно продольная и поперечная деформация образца; ε_1^n , ε_3^n и ε_1^0 , ε_3^0 - значения деформации, соответствующие пределу прочности на сжатие и остаточному напряжению на полных деформационных кривых.

Решая соотношения $\sigma = G(\varepsilon_1)$ и $\sigma = R(\varepsilon_3)$ на участках монотонности ОАВ и АВ (рис.2а,2г) или, что то же самое, на участках АВС и CD (рис.2а) относительно ε_1 и ε_3 , получим:

$$\varepsilon_1(\sigma) = \begin{cases} \varepsilon_1^n \left[1 - \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{сж}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}; & 0 \leq \sigma \leq \sigma_{сж} \\ \varepsilon_1^n + (\varepsilon_1^0 - \varepsilon_1^n) \left[\frac{\sigma - \sigma_{сж}}{\sigma_c - \sigma_{сж}}\right]^{\frac{1}{2}}; & \sigma_c \leq \sigma \leq \sigma_{сж} \end{cases},$$

$$\varepsilon_3(\sigma) = \begin{cases} \sigma \frac{\varepsilon_3^n}{\sigma_{сж}}; & 0 \leq \sigma \leq \sigma_{сж} \\ \varepsilon_3^n + (\varepsilon_3^0 - \varepsilon_3^n) \left[\frac{\sigma - \sigma_{сж}}{\sigma_c - \sigma_{сж}}\right]^{\frac{1}{2}}; & \sigma_c \leq \sigma \leq \sigma_{сж} \end{cases}. \quad (7)$$

Используя формулы (6), (7), вычислим коэффициент Пуассона полной деформационной кривой $\nu = \frac{\varepsilon_3(\sigma)}{\varepsilon_1(\sigma)}$. На участке восходящей кривой (ОАВ) рис. 2г

(1) получим:

$$\nu = \nu_n \frac{\sigma / \sigma_{сж}}{1 - \left[1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{сж}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (8)$$

где $\nu_n = \frac{\varepsilon_3^n}{\varepsilon_1^n}$.

На участке кривой (ВС) (рис. 2г) имеем:

$$\nu = \frac{\varepsilon_3^n + (\varepsilon_3^0 - \varepsilon_3^n) \left(\frac{\sigma_{сж} - \sigma}{\sigma_{сж} - \sigma^0}\right)^{1/2}}{\varepsilon_1^n + (\varepsilon_1^0 - \varepsilon_1^n) \left(\frac{\sigma_{сж} - \sigma}{\sigma_{сж} - \sigma_y}\right)^{1/2}} \quad (9)$$

Изучение физико-механических свойств угля и горных пород выполнено для условий Западного Донбасса. В табл. 1 приведены результаты обработки полных кривых «напряжение – деформация» для угля марки Г-Д шахты «Павлоградская», которые составили основу для определений относительных коэффициентов.

Таблица 1 – Прочностные и деформационные параметры угля и горных пород

| Геоматериал | Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа | E , ГПа | M , ГПа | Напряжение начала трещинообразования, МПа | Коэффициент полных поперечных деформаций | | Коэффициент разрыхления | |
|----------------------------|---|-----------|-----------|---|--|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| | | | | | разупрочнения | остаточной прочности | | |
| | | | | | ε_l | ε_3 | $\sigma = \sigma_{сж}^0$ | $\sigma = \sigma_{сж}^{ост}$ |
| Уголь пласт С ₅ | 32,0 | 13,0 | 19,0 | 21,0 | 0,11 | 3,18 | 0,991 | 1,063 |
| | 32,0 | 14,0 | 22,0 | 19,0 | 0,18 | 8,17 | 0,988 | 1,021 |
| | 34,0 | 18,0 | 20,6 | 16,0 | 0,24 | 0,18 | 0,986 | 0,988 |
| Алевролит | 28,0 | 11,0 | 2,17 | 15,0 | 3,19 | 2,61 | 1,010 | 1,075 |
| | 27,0 | 15,0 | 1,47 | 18,0 | 2,01 | 1,06 | 0,993 | 0,995 |
| | 29,0 | 17,0 | 1,54 | 23,0 | 0,62 | 0,57 | 0,973 | 0,976 |
| Аргиллит | 26,0 | 11,0 | 2,41 | 13,9 | 2,91 | 3,01 | 1,013 | 1,050 |
| | 29,0 | 15,0 | 1,94 | 25,0 | 2,35 | 2,64 | 0,979 | 0,975 |
| | 24,0 | 17,0 | 1,75 | 20,0 | 1,31 | 2,01 | 0,943 | 0,954 |

Разрешая соотношения (8) и (9) относительно σ , получим на кривой ОАВ:

$$\sigma = 2\sigma_{сж} \frac{\nu\nu_n}{\nu^2 + \nu_n^2}, \quad 0 \leq \nu \leq \nu_n; \quad (10)$$

кривой ВС:

$$\sigma = \sigma_{сж} - (\sigma_{сж} - \sigma_c) \left(\frac{\nu - \nu_n}{\nu - \nu_n + (\nu_0 - \nu)\varepsilon_1^0 / \varepsilon_1^n} \right)^2, \quad \nu_n \leq \nu \leq \nu_0, \quad (11)$$

где $\nu_0 = \frac{\varepsilon_3^0}{\varepsilon_1^0}$ - выражения напряжений через коэффициент Пуассона полной деформационной кривой.

Отметим участки АВ, ВС, CD зависимости проницаемости от механических напряжений, изображенных на рис. 2г.

На участке упругого деформирования АВ имеем:

$$\sigma = \sigma_y \left(\frac{K - K_0}{K_y - K_0} \right), \quad K_0 \leq K \leq K_y. \quad (12)$$

На участке ВС, соответствующем предельному состоянию, получим

$$\sigma = (\sigma_{сж} - \sigma_y) \left(\frac{K - K_n}{K_n - K_c} \right) + \sigma_{сж}, \quad K_c \leq K \leq K_n. \quad (13)$$

На участке CD, соответствующем пластическим деформациям, запишем:

$$\sigma = -\sigma_{сж} \left(\frac{K - K_c}{K_n - K_c} \right) + 2\sigma_{сж} \frac{K - K_c}{K_n - K_c}, \quad K_c \leq K \leq K_n. \quad (14)$$

Приравнивая правые части формул (10) и (12) на участке упругих деформаций, получим:

$$2\sigma_{сж} \frac{\nu\nu_n}{\nu^2 + \nu_n^2} = \sigma_y \left(\frac{K - K_0}{K_y - K_0} \right)^2. \quad (15)$$

Разрешая (15) относительно K , запишем:

$$K = \left(2 \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_y} \cdot \frac{\nu\nu_n}{\nu^2 + \nu_n^2} \right)^{\frac{1}{2}} [K_y - K_0] + K_0; \quad 0 \leq \nu \leq \nu_y, \quad (16)$$

где $\nu_y = \varepsilon_3^y / \varepsilon_1^y$.

Приравнивая правые части соотношений (10) и (13) на участке ВС, соответствующем предельному состоянию, получим:

$$2\sigma_{сж} \frac{\nu\nu_n}{\nu^2 + \nu_n^2} = (\sigma_{сж} - \sigma_y) \left(\frac{K_n - K}{K_n - K_y} \right)^2 + \sigma_{сж}. \quad (17)$$

Из выражения (17), получим:

$$K = (K_n - K_y) \left(\frac{\sigma_{сж}}{(\sigma_{сж} - \sigma_y)(\nu_n^2 + \nu^2)} \right)^{1/2} + K_n; \quad \nu_y \leq \nu \leq \nu_n, \quad (18)$$

Приравнивая правые части соотношений (11) и (14), на участке трещиноватости CD, получим:

$$\left(1 - \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_0} \right) \left(\frac{\nu - \nu_n}{\nu - \nu_n + (\nu_0 - \nu) \varepsilon_1^0 / \varepsilon_1^n} \right)^2 = \left(\frac{K - K_c}{K_n - K_c} - 1 \right)^2. \quad (19)$$

Из (19), получим:

$$K = (K_n - K_c) \left[\left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{сж}} \right)^{1/2} \cdot \frac{\nu - \nu_n}{\nu - \nu_n + (\nu_0 - \nu) \varepsilon_1^0 / \varepsilon_1^n} + 1 \right] + K_c, \quad \nu_n < \nu < \nu_0 \quad (20)$$

Представленные выражения (16), (18), (20) в общем виде описывают изменение проницаемости K флюидонасыщенного геоматериала в упругой, предельной и запредельной области деформирования любой кривой «напряжение – деформация» при объемном сжатии. Анализ уравнений показывает – при известных параметрах коэффициента Пуассона, величин деформаций и пределов изменения прочности геоматериала в лабораторно-сухом и флюидонасыщенном состоянии, можно выполнить прогнозную оценку фильтрационных свойств углепородного массива при расчетах устойчивости пород выработок и схем дегазации.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении разработки способов оценки и совершенствования существующих средств исследования физико-механических и фильтрационных свойств горных пород при вариации фазовой проницаемости, интенсивности порового давления, вида напряженного состояния в условиях предельного и запредельного деформирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Углепородный массив Донбасса как гетерогенная среда / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, В.В. Лукинов [и др.]. – К.: Наукова думка, 2008. – 411 с.
2. Numerical investigation of coal and gas outbursts in underground collieries / T. Xu, C.A. Tang, T.H. Yang [and others] // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2006. – № 4. – P. 905-919.
3. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
4. Карманский А.Т. Закономерности изменения прочностных свойств пород при сложном напряженном состоянии, разных уровнях влажности и порового давления. / А.Т. Карманский // Записки горного института, т.183.- СПГГИ, 2009.- С. 293-296.
5. Гольф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов / Т.Д. Гольф-Рахт. – М.: Недра, 1986. – 608 с.
6. Карманский А.Т. Изучение гидро- и газодинамики углей. / А.Т. Карманский // Уголь, № 7. - 1994. – С. 45–46.
7. Баренблатт Г.И. Движение жидкостей и газов в природных пластах / Г.И. Баренблатт, В.М. Ентов, В.М. Рыжик. – М.: Недра, 1984. – 211 с.
8. Сулейманов Б.А. Особенности фильтрации гетерогенных систем / Б.А. Сулейманов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 356 с.
9. Павлова Н. Н. Трещиноватость и разрушение горных пород / Н.Н. Павлова. – М.: Наука, 1970. – 96 с.
10. Вакарчук С.Б. Аппроксимация кривых и поверхностей сплайнами / С.Б. Вакарчук. – К.: Ин-т математики АН УССР, 1982. – 48 с.
11. Завьялов Ю.С. Методы сплайн-функций / Ю.С. Завьялов, Б.И. Иванов, В.А. Мирошниченко – М.: Недра, 1980. – 352 с.

Академик НАН Украины А.Ф. Булат,
кандидаты техн. наук С.Ю. Макеев,
С.Ю. Андреев,
мл. научн. сотр. Г.А. Рыжов
(ИГТМ НАН Украины)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛНОВОГО И РОТАЦИОННОГО ПОДХОДОВ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ШАХТАХ

У роботі зроблена спроба перенести і розширити відомі погляди про хвилеві процеси в земній корі на механізм виникнення викидів у вуглепородному масиві. Для опису розповсюдження хвиль в нелінійному середовищі використано відоме рівняння синус-Гордона, властивістю якого є існування солітонних рішень за певних граничних умов. Внаслідок багатократного перевідбивання коливань в системі відбувається перерозподіл енергетичних ансамблів. У разі розсіяння енергії по масиву можна говорити про безпечну ситуацію, а у разі зосередження і накопичення її в декількох концентраторах напружень створюється передвипадонебезпечна ситуація, яка може бути спровокована навіть невеликою деформацією. Для запобігання динамічного явища пропонується зменшити градієнт деформацій до безпечної межі шляхом зміни блокової складової масиву, тобто придання йому більш однорідної структури.

WAVE AND ROTARY APPROACHES APPLIED FOR INTERPRETATION OF DYNAMIC PHENOMENA IN THE MINES

In the article, an attempt is undertaken to extend and apply knowledge of the wave processes occurred in the earth's crust to mechanism of the outburst occurrence in the coal-rock mass. To describe wave propagation in the nonlinear environment, the well-known sine-Gordon equation is used which is characterized by soliton solutions existing in certain boundary conditions. Due to the multiple wave reflections, energy ensembles are re-distributed in the system. When the energy is dissipated throughout the whole rock mass it is possible to say about safe situation, however, when the energy is concentrated and accumulated in several stress concentrators it should be understood that preconditions for outburst risk are created presenting danger even at small deformation. To prevent the dynamic phenomenon, it is proposed to decrease gradient of the deformations to the safe level by changing block structure of the rocks, i.e. to make the rock structure more homogeneous.

Несмотря на многолетние интенсивные исследования процесса возникновения внезапных выбросов угля, породы и газа, механизм этого явления до сих пор неясен. Как правило, большинство выбросов, произошедших в угольных пластах, калийных солях, песчаниках и порфиритах приурочены к зонам геологических нарушений тектонического происхождения [1] и имеют общие внешние черты, что говорит об их единой природе. В данной статье предпринята попытка объяснения механизма данного явления с позиций волновых процессов происходящих в земной коре.

Последние достижения в области физики прочности говорят о существовании в деформируемом твердом теле механического самосогласованного поля, распространяющегося в виде волн смещений и поворотов [2], которые ассоциируются, в свою очередь, с маятниковыми и кручеными или же продольными, поперечными и ротационными волнами. Наличие такого спектра волн в деформируемом породном массиве говорит о достаточно непростой картине протека-