значительно разрядить сложную ситуацию, сложившуюся в топливно-энергетическом комплексе экономики Украины и ослабить её зависимость от импорта углеводородов из-за рубежа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Авдеева А.М., Зося А.Н. К вопросу о скоплениях (залежах) свободных углеводородных газов в угленосных отложениях Юго-Западного Донбасса // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Регіон – 2003: стратегія оптимального розвитку". - Харків, 2003. - С. 202–203.

2 Газообильность каменноугольных шахт СССР. Комплексное освоение газоносных угольных месторождений / Под ред. Г.Д. Лидина.- М.: Наука, 1990. - 216 с.

3 Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т.1. Угольные бассейны и месторождения юга европейской части СССР / Под. ред. С.А. Скробова. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. - 1210 с.

4 Зося А.Н. Ресурсы углеводородного сырья осадочных толщ Юго-Западного Донбасса // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Регіон – 2003: стратегія оптимального розвитку". - Харків, 2003. - С. 239–240.

УДК 622.815

Докт. техн. наук І.Г. Зезекало,
канд. техн. наук П.І. Світалка,
інженер В.В. Нєвєжин (ПВ УкрДГРІ)

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ПРОХОДКИ ТА ЗМІННИХ У ЧАСІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД НА ЇХ ДОПУСТИМУ ДЕФОРМАЦІЮ

Рассмотрена модель М. М. Протодьяконова скорости проходки с учетом релаксации пород. Приведены изменения физико-механических свойств породы за пределами упругости и условия безопасной проходки с учетом неупругой деформации свода массива пород.

INFLUENCE OF ADVANCE SPEED AND VARIABLE IN TIME PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK ON THEIR POSSIBLE DEFORMATION

The model of cutting speed with taking into consideration the rock relaxation worked out by M.M. Protodyakonov was considered here. The changes of physical-mechanical rock properties behind limits of elasticity and safety drilling with taking into consideration the not-elastic deformation of rock massif arch was described too.

Основою для правильного вирішення питання стійкості підземних виробок є визначення кількісної величини деформацій гірських порід у часі з урахуванням зміни об'ємно-напруженого стану навколо виробки.

Ця задача динамічної стійкості в процесі зміни об'єму виробки складна за самою постановкою взаємозв'язаних та взаємообумовлених змін об'ємного напруженого стану, непружної деформації та змін фізико-механічних властивостей породи. У стані непружної деформації змінюються всі параметри порід: тріщинуватість, міцність, густина, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, швидкість поширення звуку тощо. Зміни ці досягають кратних величин і користування кадастром фізичних величин порід не можливе. Усі ці змінні процеси

в деформованій породі можна розглядати тільки в динаміці їх розвитку в часово-просторовій формі.

До цього часу така задача не розв'язана, але розв'язок її може забезпечити знання процесу в кожний момент часу і в конкретному місці.

Не маючи кількісних характеристик непружнодеформованої породи в часі, не можливо визначити її залишкову міцність, тріщинуватість у залежності від напруженого стану.

На великих глибинах гірські породи знаходяться в стані непружного напруженого стану.

Зв'язок між деформаціями і нормальними напруженнями:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left(\sigma_x - \nu\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right);\ \varepsilon_y = \frac{1}{E}\left(\sigma_y - \nu\left(\sigma_x + \sigma_z\right)\right);\ \varepsilon_z = \frac{1}{E}\left(\sigma_z - \nu\left(\sigma_x + \sigma_y\right)\right).$$

Об'ємна деформація

$$\varepsilon_\nu = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{1-2\upsilon}{E}\left(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z\right).$$

У свою чергу модуль пружності є функцією деформацій $E = E(\varepsilon) = E(\sigma) = E(\rho)$ і визначається експериментально.

Нехай об'єм масиву до деформації був V_0. Після деформації - $V_1 = V_0\left(1+\varepsilon_\nu\right)$.

Величину деформації, при якій пори будуть руйнуватися, можна визначити експериментально. Після руйнування пор, метан вивільняється. Кількість газу визначається об'ємом деформованої породи.

Назвемо деформацію, при якій руйнуються пори, $\lfloor\varepsilon_{кр}\rfloor$, а напруження, що відповідають цій деформації, - $\lfloor\sigma_{кр}\rfloor$.

У цілому задача про визначення напружено-деформованого стану породи при розробці пластів є дуже складною.

Для оцінки ситуації розглянемо покрівлю проходки як балку довжиною *l*, яка знаходиться під дією власної ваги.

Товщину балки *h* приймемо рівною висоті зводу обрушення. Так за гіпотезою професора М.М. Протодьяконова:

$$h = \frac{l}{2f},$$

де f - коефіцієнт внутрішнього тертя породи.

Величина навантаження згідно тієї ж гіпотези

$$q = \frac{2}{3}\gamma h b,$$

де b - глибина виробки.

Найбільший згинаючий момент

$$M_{max} = \frac{ql^2}{12}.$$

Напруження

$$\sigma_0 = \frac{M_{max}}{W} = \frac{\frac{ql^2}{12}}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{\gamma hl^2}{3h^2} = \frac{\gamma l^2}{3h}.$$

З урахуванням $h = \frac{l}{2f}$

$$\sigma_0 = \frac{2\gamma lf}{3}.$$

З бігом часу напруження зменшуються завдяки релаксації від повзучості породи.

$$\sigma(t) = \sigma_0 R(t),$$

де σ_0 - початкові напруження; $R(t)$ - релаксаційна функція.

З графіків релаксацій порід [1] можна представити релаксаційну функцію як:

$$R(t) = e^{-at^{\alpha}},$$

де a і α - коефіцієнти, що визначаються з експериментальних даних і залежать від властивостей породи.

Якщо час проходження лави недостатній для релаксації, то в породі залишаються остаточні напруження.

Нехай час проходження лави t_1. Остаточні напруження:

$$\sigma_1 = \sigma_0 e^{-at_1^{\alpha}}.$$

Вважаємо їх, як додаткову довжину балки Δl.

$$\sigma_0 = \frac{\gamma l^2}{3h};\ \sigma_1 = \frac{\gamma l^2}{3h} e^{-at_1^{\alpha}};\ \frac{\gamma \Delta l^2}{3h} = \frac{\gamma l^2}{3h} e^{-at_1^{\alpha}};\ \Delta l = l e^{-0{,}5at_1^{\alpha}}.$$

За n проходок $\Delta l = l\left(e^{-0{,}5at_1^{\alpha}} + e^{-at_1^{\alpha}} + ... + e^{-0{,}5nat_1^{\alpha}} \right) = l \sum_{m=1}^{n} e^{-0{,}5mat_1^{\alpha}}$.

Напруження $\sigma = \frac{\gamma(l+\Delta l)^2}{3h} e^{-at^\alpha}$;

$$l + \Delta l = l \cdot \sum_{m=0}^{n} e^{-0,5mat_1^\alpha}.$$

Найбільші напруження $\sigma_m = \frac{\gamma l^2}{3h}\left(1 + \sum_{m=1}^{n} e^{-0,5mat_1^\alpha}\right)^2 = \frac{\gamma l^2}{3h}\left(\sum_{m=0}^{n} e^{-0,5mat_1^\alpha}\right)^2$.

Очевидно, що ця величина не повинна перевищувати $\lfloor \sigma_{кр} \rfloor$.

Разом з ростом величини прольоту буде зростати і величина зводу обрушення:

$$\sigma_m = \frac{2}{3}\gamma(l+\Delta l)f = \frac{2}{3}\gamma l f \cdot \sum_{m=0}^{n} e^{-0,5mat_1^\alpha} = \sigma_0\left(\sum_{m=0}^{n} e^{-0,5mat_1^\alpha}\right). \quad (1)$$

Отже, для одновісного навантаження напруження в загальному вигляді

$$\sigma(t) = \sigma_0\left(\sum_{m=0}^{n} e^{-0,5mat_1^\alpha}\right) \cdot e^{-at^\alpha}.$$

Умова безаварійної безпечної роботи

$$\sigma_m \le \frac{\lfloor \sigma_{кр} \rfloor}{S},$$

де S – коефіцієнт запасу міцності.

Були проведені експерименти зі зразками кам'яної солі. На рисунку 1 показана залежність затухання амплітуди ультразвуку в кам'яній солі від густини (розміри кернів: висота – 80 мм, діаметр – 42,4 мм).

Між модулем пружності і швидкістю звука в породі існує залежність, близька до лінійної.

$$E = Cv,$$

де C - коефіцієнт пропорційності.

Так при дослідженнях у виробці Ізер-Арк (по Коліану) [2]:

Таблиця 1 – Залежність модуля пружності від швидкості звука в породі

E, МПа	v, м/с
$8 \cdot 10^4$	4 000
$1 \cdot 10^5$	5 000
$1{,}6 \cdot 10^5$	8 000

Отже, $E = 20 \cdot v$; $C = 20$ МПа $\cdot$ с/м.

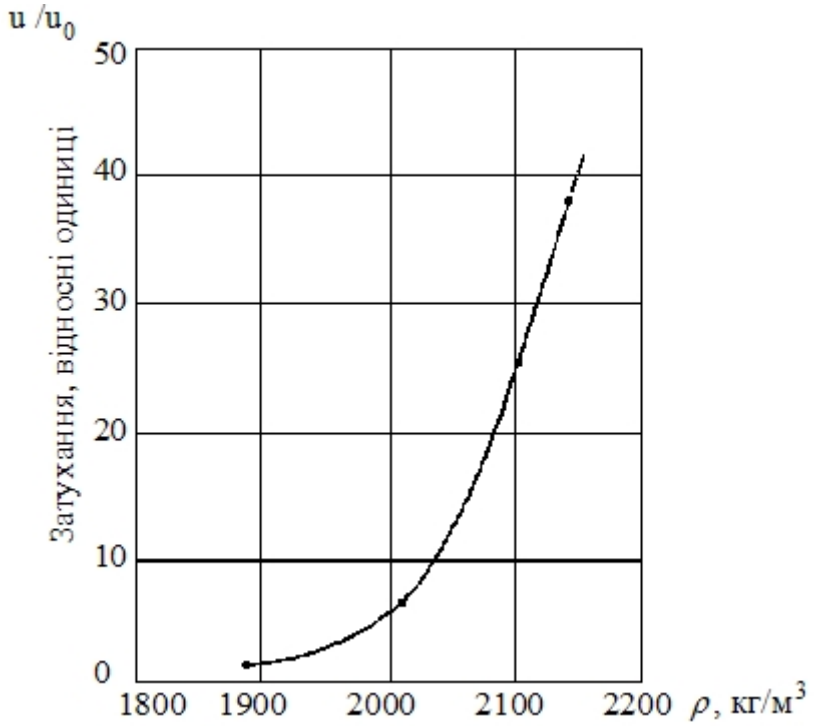

Рис. 1 - Залежність затухання амплітуди ультразвуку в кам'яній солі в залежності від її густини на частоті 400 кГц

Використовуючи формулу (1) можна знайти об'ємну деформацію стелі виробки. Регулюючи величини ширини лави l, кількості проходок n і часу проходки t_1, можна зменшити до мінімуму ризик ударного руйнування породи і масового викиду метану.

Приклад розрахунку

Розглянемо проходку в аргелітовому масиві. Ширина проходки $l = 3$ м; число проходок $n = 50$. Дані породи: $f = 4{,}6$; $\lfloor \sigma_{кр} \rfloor = 2{,}0$ *МПа;* $E = 3{,}5 \cdot 10^5$ *МПа;* $\gamma = 27000 \frac{H}{м^3}$; $v = 0{,}29$. Приймаємо запас міцності $S = 2$.

Початкові напруження:

$$\sigma_0 = \frac{\gamma l^2}{3h} = \frac{2\gamma l f}{3} = \frac{2 \cdot 27000 \cdot 3 \cdot 4{,}6 \cdot 10^{-6}}{3} = 0{,}25 \text{ МПа};$$

$$\sigma_m = \sigma_0 \left(\sum_{m=0}^{n} e^{-0{,}5 m a t_1^{\alpha}} \right).$$

Функція релаксації $R(t) = e^{-0{,}28 t^{0{,}35}}$ (t в годинах).

Тоді $\sigma_m = 0{,}25\left(\sum_{m=0}^{50} e^{-0{,}5m\cdot 0{,}28 t_1^{0{,}35}}\right) \le \frac{\lfloor \sigma_{кр} \rfloor}{S} = \frac{2{,}0}{2} = 1{,}0\ МПа$.

Розв'язуючи відносно t_1, одержимо результат:
Час однієї проходки не повинен бути меншим 8 годин. $t_1 \ge 8$ годин.
При $t_1 = 8$ годин

$$\sigma_m = 0{,}99 \text{ МПа} < \frac{\lfloor \sigma_{кр} \rfloor}{S} = 1{,}0 \text{ МПа}.$$

Стріла прогину стелі при σ_0

$$\delta = \frac{\gamma^2 l^2 f^2}{2E} = \frac{27000 \cdot 3^2 \cdot 4{,}6^2}{2 \cdot 3{,}5 \cdot 10^{11}} = 7{,}3 \cdot 10^{-7}\ м.$$

При σ_m значення $\delta_m = \frac{\sigma_m}{\sigma_0}\delta = \frac{0{,}99}{0{,}25} \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-7} = 2{,}9 \cdot 10^{-6}$.

Для контролю умов проходки, окрім аналітичних розрахунків, необхідно проводити неперервний контроль напруженого стану породи в привибійній зоні шляхом вимірювання деформації стінок і стелі вибою. У багатьох випадках величина деформацій не є достатньою для визначення стану породи. У цьому випадку має значення швидкість деформації. На рисунку 2 показана залежність міцності кам'яної солі від швидкості деформації.

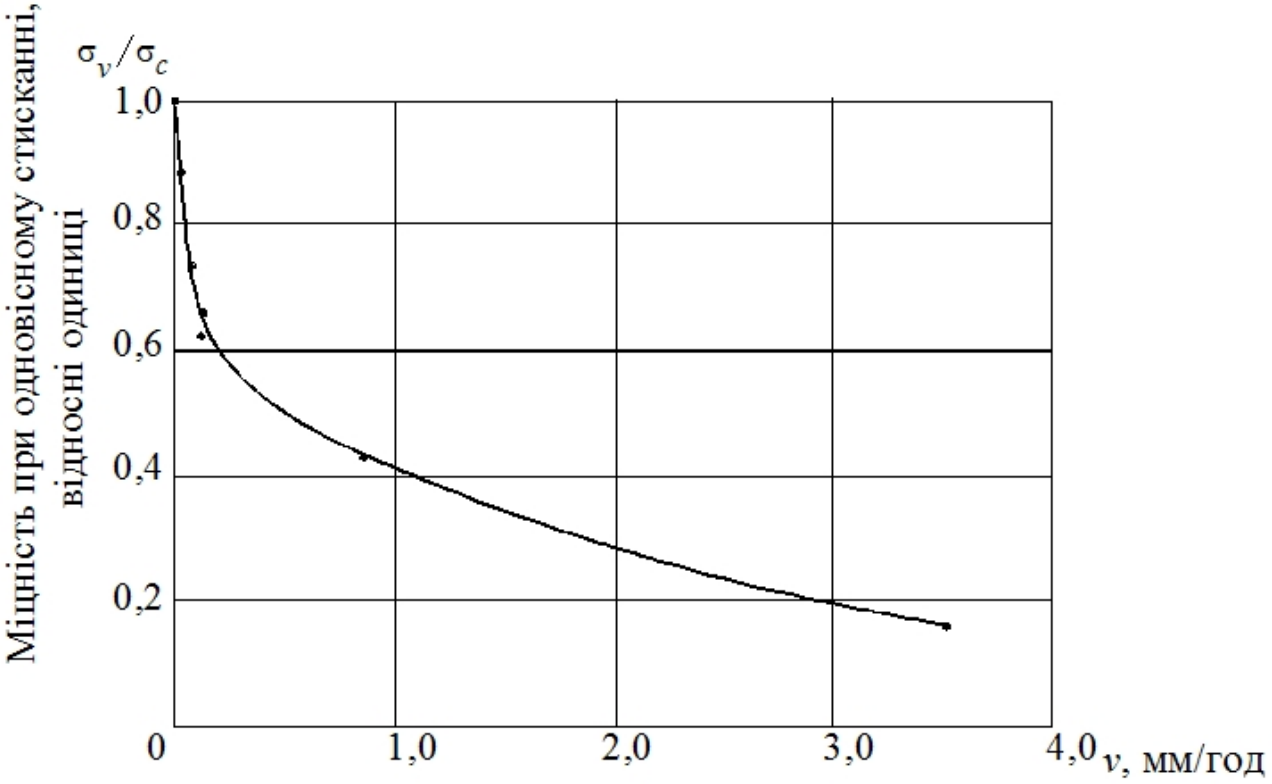

Рис. 2 - Залежність міцності кам'яної солі при одновісному стисканн і від швидкості деформації

На рисунку 3 приведена залежність межі міцності від густини.

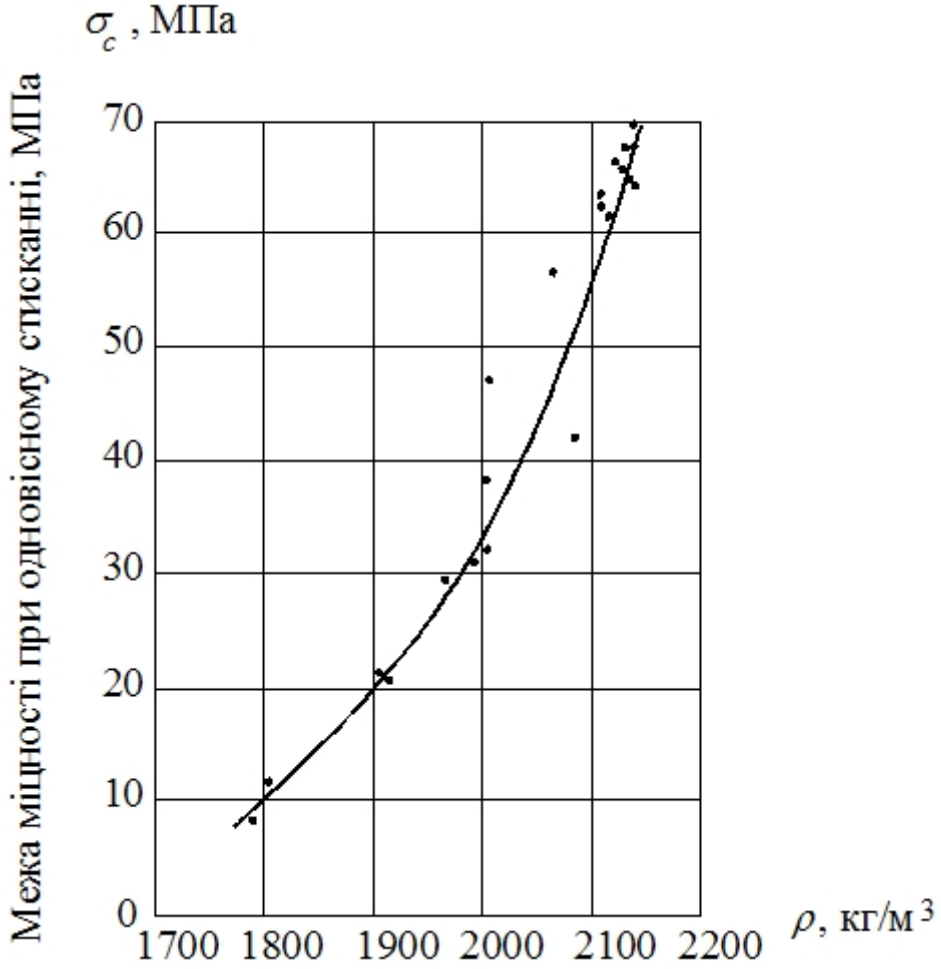

Рис. 3 - Залежність межі міцності кам'яної солі при одновісному стисканні від її густини

Розглянемо деякі приклади.

Зменшення міцності вдвічі (рис. 2) відбувається при швидкості деформацій $0{,}4\ \frac{\text{мм}}{\text{год}}$ або у відносних одиницях $\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 1{,}8 \cdot 10^{-6}\ \text{с}^{-1}$.

Отже, при такій швидкості досягається стан породи, який ми розглянули вище, а саме, при такій швидкості вичерпується запас міцності $S = 2$.

Зменшення густини від $\rho_0 = 2100\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ до $\rho_1 = 1900\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ призводить до зменшення межі міцності від 56 МПа до 20 МПа (див. рис. 3).

При цьому $\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{1900}{2100} = 0{,}9$. Швидкість деформації становить $0{,}25\ \frac{\text{мм}}{\text{год}}$, або

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 1{,}6 \cdot 10^{-6}\ \text{с}^{-1}.$$

Об'ємна деформація становитиме: $\varepsilon_v = \frac{1}{0{,}9} - 1 = 0{,}111$.

Це означає, що об'єм зміниться на 11%.

Критична зміна об'єму складає або $\lfloor \varepsilon_{кр} \rfloor = 0{,}15$ або 15%.

Запас $S = \dfrac{0{,}15}{0{,}11} = 1{,}364$.

Критична швидкість $v_{кр} = 1{,}364 \cdot 0{,}25 = 0{,}34 \ \dfrac{\text{мм}}{\text{год}}$;

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}\right)_{кр} = 1{,}58 \cdot 10^{-6} \ \text{с}^{-1}.$$

Значення $v_{кр}$, $\dfrac{\partial \varepsilon}{\partial t}$ для шахтних умов необхідно визначити з експериментальної моделі через геометричну подібність.

Перехід критичного значення швидкості деформації для певної породи викликає її спонтанне руйнування.

Додаткові можливості такого підходу дають можливість визначити об'єм виділеного метану з тріщин при непружній деформації масиву навколо виробки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Парчевский Л.Я. Анализ смещений кровли в лавах угольных пластов с учетом ее ползучести. Исследования по механике горных пород. – Алма-Ата: Наука, 1965. – 145 с.

2. Талобр Ж. Механика горных пород. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 430 с.

УДК [553.94:622.411.332](477.61/.62)

М.н.с П.С. Пащенко
(ИГТМ НАН Украины)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОН СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА НА ПРИМЕРЕ ШАХТ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОГО РАЙОНА

Розглянуті геологічні чинники, які впливають на формування зон скупчень метану для середнього та пізнього катагенезу порід на відпрацьованих та не відпрацьованих ділянках шахт, на прикладі Донецько-Макіївського району.

GEOLOGICAL FACTORS OF FORMATION OF AREAS OF ACCUMULATION OF METHANE ON THE EXAMPLE OF MINES OF DONETZKO-MAKEEVSKIY DISTRICT

Considered geological factors which influence on forming of areas of accumulations of methane for middle and late katagenez of breeds on the worked and not worked areas of mines, on the example of the Donetzko-Makeevskiy district.

В последние годы исследователи и производственники угольной отрасли, достаточно большое внимание уделяют угленосным отложениям Донбасса, как потенциальным углегазовым месторождениям. Учеными подсчитаны значитель-