

дежный уровень безопасности при высоких нагрузках на очистной забой более чем на 80% действующих выемочных участков шахт Донбасса, которые в настоящее время имеют схемы проветривания первого типа – 1-М или 1-В.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борьба со скоплениями метана в угольных шахтах / Г.Ф. Лидин, А.Т. Айруни, Ф.С. Клебанов, Н.Г. Матвиенко. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 142 с.
2. Аэрогазодинамика выемочного участка / А.Ф. Абрамов, Б.Е. Грецингер, В.В. Соболевский, Г.А. Шевелев. – Киев: Наукова думка, 1972. – С. 7 – 79.
3. Мясников А.А. Борьба с газом в очистных выработках шахт / А.А. Мясников, Л.Д. Колотовкин. – Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1975. – 108 с.
4. Милетич А.Ф. Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт / А.Ф. Милетич. – М.: Недра, 1968. – 148 с.
5. Патрушев М.А. Проветривание высокомеханизированных лав / М.А. Патрушев, Е.С. Драницын. – Донецк: Донбасс, 1974. – с. 22 – 60.
6. Повышение эффективности проветривания угольных шахт с высоконагруженными лавами / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск, 2004. – С. 144 – 175.
7. Обобщение закономерностей влияния процесса добычи угля на напряженно-деформированное состояние газонасыщенного массива горных пород, условия его дегазации и эффективность функционирования систем противоаварийной защиты [Текст]: Отчет по НИР (промежуточн.) / ИГТМ НАН Украины; рук. А.Ф. Булат; исполн.: С.А. Курносов, С.Ю. Макеев, Т.В. Бунько [и др.]. – Днепропетровск, 2010. – 90 с. – г/б № III-36-07; ГР 0107U002004.
8. Скочинский А.А. Рудничная вентиляция / А.А. Скочинский, В.Б. Комаров. – М.: Углетехиздат, 1959. – С. 217 - 233.

**УДК 622.33:552.513.08**

Кандидати геол.-мін. наук К.А. Безручко,  
Л.Л. Шкуро  
(ІГТМ НАН України)

### **ВПЛИВ ТЕХНОГЕННОГО ЧИННИКА НА ФОРМУВАННЯ СКУПЧЕНЬ МЕТАНУ В ПІСКОВИКАХ**

Исследовано влияние горных работ в процессе добычи угля на физические свойства песчаников по результатам опробования керна геологоразведочных скважин и горных выработок. Установлено, что коэффициент открытой пористости песчаников, в зоне влияния горных работ существенно отличается от соответствующих показателей в нетронutom массиве. Показано, что такое разуплотнение, за счёт трещинообразования, способствует увеличению открытой пористости песчаников в 1,2-1,4 раза и формированию проницаемости, соответствующей коллекторам III-IV класса.

### **TECHNOGENIC FACTOR INFLUENCE ON THE FORMING OF METHANE ACCUMULATIONS IN SANDSTONES**

Influence of mining operations has been investigated in the coal mining process on physical properties of sandstones, on results of core assay of geological prospecting holes and mining workings. It was set that open porosity coefficient of sandstones, in the affected zone of mining operations substantially differs from the proper indexes in natural array. It is shown, that such volume expansion due to cracks formation, promotes increasing of sandstones open porosity in 1,2-1,4 time and forming of permeability corresponding of the III-IV class collectors.

Дефіцит енергоресурсів в Україні та потреба його скорочення за рахунок власного виробництва обумовили значну увагу до проблеми видобутку метану

вугільних родовищ – нетрадиційного джерела вуглеводневої сировини. Вирішення цієї проблеми ведеться за багатьма напрямками. Одним з таких напрямків є дослідження характеру змін колекторських властивостей гірських порід і, зокрема, вивчення пористості та проникності пісковиків здатних акумулювати скупчення вільного метану, особливо в період експлуатації вугільних родовищ на відпрацьованих ділянках діючих шахт та з виробленого простору закритих шахт.

Відомо, що у вуглепородному масиві метан може знаходитися у вільному, сорбованому та розчиненому стані. На відміну від природних родовищ газу, велика частина метану на вугільних родовищах розсіяна у практично непроникних породах вугленосної товщі, тому, знаходячись навіть у вільному стані, метан позбавлений рухливості, що перешкоджає формуванню значних скупчень.

Аналіз виконаних раніше робіт свідчить, що найбільш перспективними колекторами, в яких можуть формуватися скупчення «рухомого» метану є пісковики [1]. Товща пісковиків насичена метаном, в якій у процесі геологічного розвитку встановився і зберігається баланс між окремими фазами системи «вода-газ». У таких умовах метан знаходиться у вільному стані, але не є рухомим. Система, будучи виведена з рівноваги, прагне до стану рівноваги в нових умовах, шляхом перерозподілу води і газу, який здобувши рухливість починає прямувати від зони високого тиску до області низького тиску. Газ прагне зайняти гіпсометрично вище положення, а вода – нижче. Епізодичні випадки розкриття скупчень метану, які супроводжуються викидами газу із свердловин або суфлярними виділеннями метану в шахтах, свідчать про можливість їх формування під впливом різноманітних чинників, наприклад тектоніки, або технологічних, пов'язаних з гірничими роботами.

У моделі формування техногенних скупчень (покладів) газу, пов'язаних з підробленням гірського масиву, визначальним чинником є процеси розущільнення та тріщиноутворення [1, 2]. Техногенні скупчення формуються в процесі підроблення пісковиків внаслідок збільшення їх проникності за рахунок тріщиноутворення. У випадках, коли деформації розтягування шарів пісковиків перевищують критичні значення, в них розвиваються крихкі деформації розриву, що приводять до виникнення тріщинуватості, зміни колекторських властивостей – збільшення проникності уражених тріщинами шарів пісковиків та можливості формування скупчень газу. Під час виїмки вугілля відбувається розвантаження вугільних пластів і вміщуючих порід від гірського тиску, їх розтріскування, розущільнення, збільшення проникності, що обумовлює формування техногенних колекторів, в яких вільний (із порового простору), десорбований (переважно з вугілля) і дегазований з розчинів метан переходить у рухливий стан, що дозволяє йому концентруватися у значні скупчення. Розміри зони розущільнення та інтенсивність тріщиноутворення залежать від величин деформацій та деформаційних характеристик породи. Гранично допустимі (критичні) лінійні деформації розтягування для пісковиків складають 0,003-0,004 [3].

Як відзначалося вище, для формування газового покладу необхідно є не тільки наявність природного резервуару, придатного для скупчення газу, але і наявність екрану. Екраном покладу можуть слугувати шари того ж пісковика,

непорушені тріщинами, в яких деформації розтягування не досягли критичних значень для порушення суцільності, без чого вони залишаються не ураженими тріщинами і є газонепроникними.

Пісковики Донбасу стадій середнього та пізнього катагенезу (зони поширення вугілля марок Г, Ж, К, ПС ) характеризуються значеннями коефіцієнту відкритої пористості до 10 %. У більшості, це пісковики підводних виносів річок, відкрита пористість яких змінюється в середньому від 9% (у районах поширення вугілля марок Г) до 5-6 % (у районах поширення вугілля марки Ж) та 4% (у районах поширення вугілля марки К) [2]. Потужність пісковиків змінюється від декількох метрів до 35 - 45 м, зрідка до 60 – 70 м. Зазвичай, ці пісковики характеризуються низькою газопроникністю, що становить тисячні або соті частки мілідарсі і зрідка перевищує десяті частки мілідарсі [2,4-5]. Згідно найбільш поширеної в геологічній практиці класифікації теригенних порід А.А. Ханіна [6], такі пісковики, здебільшого, не є колекторами або можуть бути віднесені до колекторів з вельми низькою проникністю. Їх ступінь заповнення пор газом у середньому складає 30-35 % [2], відповідно, вологою – 65 % - 70 %.

Низькі значення проникності пісковиків перешкоджають перерозподілу газу і води, тобто можливості газу набути рухливості і концентруватися у значних обсягах у вигляді скупчень, створюючи поклади. У разі підроблення гірничими виробками пісковиків, вони розвантажуються від гірського тиску, просідають, порушуються тріщинами. Внаслідок цих процесів у пісковиків різко збільшується проникність, значні об'єми метану стають рухливими і за певних умов може сформуватися газовий поклад. У зв'язку з цим є доцільною оцінка фільтраційних характеристик, зокрема проникність порід, у зоні розуцільнення, формування якої супроводжувалося деформаціями розтягування, які перевищують гранично допустимі (критичні) значення, що спричинило втрату суцільності гірськими породами та тріщинноутворення. Така оцінка може бути виконана за ефективною ємністю порового простору, придатного для фільтрації газу, а саме за розміром основних фільтрувальних каналів.

Для оцінки проникності гірських порід, в яких частина порового простору обумовлена розвитком тріщиної пустотності, може бути використана структурна модель порового простору, яку умовно можна назвати тріщинно-капілярною, згідно якої проникність визначається співвідношенням [7]

$$k_{np} = 8,5 \cdot 10^{10} b^2 k_{mp},$$

де  $k_{np}$  – коефіцієнт проникності,  $10^{-12}$  м<sup>2</sup> (Д);

$b$  – ширина (розкритість) тріщини, м;

$k_{mp}$  – коефіцієнт тріщиної пористості, частки одиниці.

У даному випадку оцінки проникності у розуцільненій зоні, яка виникла за рахунок крихких деформацій розриву, збільшення об'єму пласта відбувається внаслідок утворення нових тріщин. Тобто, приріст пористості (різниця між пористістю до та після формування зони розуцільнення, вона ж є різницею між

пористістю у зоні розущільнення та пористістю у непорушеній зоні) відповідає тріщинній пористості, яка виникла під час формування тріщинуватої зони.

Використовуючи результати визначення колекторських властивостей пісковиків у непорушеному породному масиві та в зоні впливу гірничих робіт, які наведені в табл. 1, можна оцінити абсолютну проникність, яка формується за рахунок розвитку тріщинуватості. Вважаючи тріщинну пористість такою, що дорівнює приросту коефіцієнту відкритої пористості (різниця між середніми значеннями коефіцієнтів відкритої пористості за шахтними та свердловинними пробами в табл. 1) і обґрунтовано прийнявши ширину розкритості тріщин такою, що складає щонайменше 10–15 мкм [8], отримуємо середні значення абсолютної проникності пісковиків у зоні впливу гірничих робіт (табл. 2).

Як можна бачити з таблиці 2, середні значення абсолютної проникності пісковиків практично у всіх випадках, за винятком шахти ім. К.А. Румянцева, відповідають промисловим колекторам III класу згідно вже згадуваної класифікації [6]. Розрахункова абсолютна проникність тріщинуватих пісковиків шахти ім. К.А. Румянцева є більшою і відповідає IV класу. Отже, фільтраційні властивості пісковиків, що сформувалися внаслідок розущільнення в зоні впливу гірничих робіт, є цілком сприятливими для скупчення техногенного метану або підвищених водоприпливів.

Таблиця 1 – Середні значення колекторських властивостей пісковиків Донбасу, визначених за шахтними та свердловинними пробами

Поле шахти	Коефіцієнт відкритої пористості, %		Приріст відкритої пористості (техногенна тріщинуватість), %	
	Зона впливу гірничих робіт (шахтні проби)	Непорушений масив (проби з геологорозвідувальних свердловин)	Об'ємний	Відносний
ім. О.Г. Стаханова	11,2	8,1	3,1	38
Красноармійська-Західна	10,2	7,9	2,3	29
ім. О.О. Скочинського	7,2	5,2	2,0	38
ім. К.І. Поченкова	8,1	6,8	1,3	19
Комсомолец	3,4	2,6	0,8	30
ім. К.А. Румянцева	3,2	2,7	0,5	19
Кочегарка	4,6	3,7	0,9	24
Самсонівська-Західна	8,1	6,8	1,3	19

Таблиця 2 – Розрахункові середні значення коефіцієнтів тріщинної пористості і абсолютної проникності пісковиків порушеного масиву

Поле шахти	Приріст відкритої пористості (техногенна тріщинуватість), %	Абсолютна проникність (розрахункові середні значення), $10^{-15} \text{ м}^2$
ім. О.Г. Стаханова	3,1	263,5 – 395,5
Красноармійська-Західна	2,3	195,5 – 293,0
ім. О.О. Скочинського	2,0	170,0 – 255,0
ім. К.І. Поченкова	1,3	110,5 – 165,8
Комсомолец	0,8	68,0 – 102,0
ім. К.А. Румянцева	0,5	42,5 – 63,8
Кочегарка	0,9	76,5 – 114,8
Самсонівська-Західна	1,3	110,5 – 165,8

Таким чином, в період експлуатації вугільних родовищ на відпрацьованих ділянках діючих шахт та на ділянках закритих шахт під впливом техногенного чинника пісковики набувають покращені ємнісні та фільтраційні властивості. Коефіцієнт відкритої пористості збільшується у межах від 0,9% до 3,1%, відповідно, у відносних одиницях зростання відкритої пористості становить 19% – 38%, тобто, відкрита пористість зростає в 1,2-1,4 рази. Підвищується абсолютна проникність до десятків та сотень мілідарсі (відповідає промисловим колекторам III-IV класів), що сприятливо впливає на можливість накопичення вільного метану у порушеному породному масиві. Натомість, у непорушених шарах пісковиків зберігається низька проникність, зазвичай не більш десятих часток мілідарсі, яка обумовлює їх екранувальну здатність та створює передумови для формування газового покладу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукинов, В.В. Горно–геологические условия образования скопленных свободного метана на угольных месторождениях / В.В. Лукинов // Науковий вісник НГУ .-№ 4.- 2007.-С.55–59.
2. Лукинов, В.В. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса / В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко .- Киев: Наукова думка, 2008.-352 с.
3. Иофис, М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелёв.- М.: Недра, 1985.- 248 с.
4. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / [Забигайло В.Е., Широков А.З., Белый И.С. и др.]- К.: Наук.думка, 1974.-272 с.
5. Абрамов, Ф.А. Свойства выбросоопасных песчаников как породы-коллектора / Ф.А. Абрамов, Г.А. Шевелёв.-К.: Наук.думка, 1972.- 98 с.
6. Ханин, А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение / А.А. Ханин.-М.: Недра,1969.-368 с.
7. Ромм, Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород / Е.С. Ромм- М.: Недра,1966.- 384 с.
8. Лукинов В.В. Чинники формування колекторських властивостей низькопористих теригенних порід. Стаття II Обґрунтування фільтраційних параметрів межі колектор–екран низькопористих теригенних порід / В.В. Лукинов, К.А. Безручко // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2009. – № 3–4 (148–149). – С. 5–17.

**РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГАЗОНОСНОМ  
УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ**

Наведено розрахунок динамічних напружень, складений на основі чисельного аналізу математичної моделі нестационарного деформування пружного середовища під дією змінного внутрішнього навантаження та застосування методу послідовної апроксимації.

**THE CALCULATION OF DYNAMICAL STRESSES IN GAS-SATURATED  
COLA-ROCK MASSIF**

The calculation of dynamical stresses, based on numerical analysis of mathematical model of nonstationary deformation of elastic medium under action of variable internal load by means of method of successive approximation, was presented.

Существующие методики расчетов динамических напряжений базируются на сложных математических моделях или эмпирических данных, полученных из натуральных условий и потому не получили широкого распространения в горной практике. Отсутствуют удобные в техническом приложении расчетные зависимости, которые бы в компактной форме связывали бы параметры нагружения, упругие характеристики среды и геометрические параметры нагружаемой системы.

В работе [1,2] на основе численного анализа модели нестационарного деформирования упругой газонасыщенной среды и применения метода последовательной аппроксимации получены расчетные зависимости и впервые установлена закономерность изменения максимальных радиальных растягивающих напряжений для газоносного массива под действием переменной внутренней нагрузки на участке действия сил инерции, связующая параметры нагружения (изменение нагрузки во времени), упругие характеристики среды и геометрические параметры, справедливая для всех линейно упругих сред, общность которой полностью доказана теорией размерности [1].

Установлено, что максимальные растягивающие нормальные радиальные напряжения от действия падающей волны на внутреннем радиусе цилиндрической полости скважины на участке действия сил инерции прямо пропорциональны величине внутренней нагрузки  $p_0$  и радиусу цилиндрической полости  $r_0$  и обратно пропорциональны скорости упругой волны  $v_p$  и времени  $t_c$  сброса внутренней нагрузки с общим коэффициентом пропорциональности равном 0,9 для времени сброса  $t_c < 0,03c$  :

$$\sigma_r = 0.9 \cdot \frac{p_0 \cdot r_0}{V_p \cdot t_c} \quad (1)$$

где  $\sigma_r$  – максимальные растягивающие радиальные напряжения, Па;  $p_0$  – максимальное значение (амплитуда) внутренней нагрузки, Па;  $r_0$  – внутренний радиус цилиндрической скважины, м;  $V_p$  – скорость упругой волны, м/с;  $t_c$  –