

EVALUATION OF THE ROCK MASSES GAS PERMEABILITY

O. Shashenko¹, V. Cherednyk¹, N. Khozyaykina¹, D. Shashenko¹

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Corresponding author: cherednyk.v.a@nmu.one*

Abstract. Regularities of methane technological deposits formation in the process of coal field deposits development and determination of the coal massif reservoir properties are an urgent issue for the modern fuel and energy sector. The peculiarity of geomechanical models is to take into account the stress-strain state on the rocks destruction and the sorption methane release. The influence of the stress-strain state on the filtration capacity of a gas-saturated coal massif is considered. The hypothesis concerning the analogy of the rock sample deformation in the mode of the given deformations and deformation of the real massif in the course of development of mining works is chosen as a basis. The dependence of the filtration coefficient and the residual increase in volume on the parameter proportional to the ratio of the lowest tension to the largest is obtained. The parallelism of these curves is a sign of a direct connection between them. These data allow to draw an analogy between the rock sample destruction in the mode of given deformations and the rock mass destruction under the influence of mining.

Key words: gas permeability, coal, methane, filtering, deformation, tension.

ОЦІНКА ГАЗОВОЇ ПРОНИКНОСТІ ВУГЛЕПОРІДНИХ МАСИВІВ

О. Шашенко¹, В. Чередник^{1}, Н. Хозяйкіна¹, Д. Шашенко¹*

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Відповідальний автор: cherednyk.v.a@nmu.one*

Анотація. Закономірності формування техногенних покладів метану у процесі розробки вугільного родовища та визначення колекторських властивостей вуглепорідного масиву є актуальним питанням для сучасного паливно-енергетичного сектору. Особливість геомеханічних моделей полягає у врахуванні напружено-деформованого стану на деструкцію порід і вивільнення сорбційного метану. Розглянуто вплив напружено-деформованого стану на фільтраційні можливості газонасиченого вуглепорідного масиву. За основу обрано гіпотезу щодо аналогії деформування породного зразка в режимі заданих деформацій і деформуванням реального масиву в процесі розвитку гірничих робіт. Отримано залежність коефіцієнта фільтрації і залишкового збільшення обсягу від параметра пропорційного відношенню меншої за значенням напруги до найбільшої. Паралельність цих кривих є ознакою прямого зв'язку між ними. Це дозволяє провести аналогію між деструкцією породного зразка у режимі заданих деформацій і руйнуванням породного масиву під впливом гірничих робіт.

Ключові слова: газова проникність, вугілля, метан, фільтрація, деформації, напруження.

1. Вступ. Ефективне вирішення завдань з видобутку шахтного метану визначають знання про колекторські та ємнісні властивості техногенного газозового родовища, і, в першу чергу, щодо проникності масиву, який підлягає дегаззації. До вагомих параметрів, що характеризують колекторські властивості, відносять також газонасиченість, сорбційну ємність, внутрішню питому поверхню вміщуючих порід, які складають родовище, їх пористість та вологонасиченість, а також наявність екрануючої поверхні.

Дослідження, які присвячені вивченню колекторських властивостей гірських порід вугільних шахт, в переважній більшості виконані стосовно завдань із забезпечення безпеки робіт на видобувних дільницях вугільних шахт, як в режимі їх нормальної експлуатації, так і

при аварійних ситуаціях, переважно раптових викидах вугілля (пісковика) і газу [1–7 та ін].
Всі без винятку дослідження в області руху флюїдів в породах-колекторах засновані на використанні відомої формули Дарсі, яка для випадку ламінарної фільтрації має вигляд:

$$Q = (k \cdot S / \mu) \text{ grad}(P), \text{ м}^3/\text{добу} \quad (1)$$
$$\mu = \nu \cdot \rho, \text{ Па}\cdot\text{с}$$

де Q – швидкість фільтрації ($\text{м}^3/\text{добу}$ або $\text{см}^3/\text{с}$);

k – коефіцієнт газопроникності (Д);

S – площа фільтраційного потоку (м^2);

μ, ν, ρ – абсолютна (динамічна) в'язкість, кінематична в'язкість та щільність флюїда відповідно;

$\text{grad}(P)$ – перепад тиску на шляху фільтрації.

Вираз (1), як і будь-які інші залежності руху флюїдів в пористих середовищах, засновано на вирішенні рівняння Нав'є-Стокса і отримані для окремої провідної одиниці, наприклад, для циліндричного капіляра-каналу постійного радіусу. Параметри структури і напруженого стану породи-колектора безпосередньо в цю формулу не входять. Проте їх сумарний вплив на параметри фільтрації має велике значення і враховується через k – коефіцієнт газопроникності. Інші параметри, що входять у вираз (1), відомі або можуть бути встановлені інструментально.

Коефіцієнт проникності визначають шляхом обстеження кернів порід, що фільтрують флюїд, лабораторним шляхом (за методиками розробленими задля застосування у нафтогазовидобуванні), вимірюють в натурних умовах або визначають розрахунковим шляхом [4,5, 8–10]. В результаті лабораторних випробувань породному зразку встановлюється деяке поточне значення його проникності, за яким згодом судять про схильність масиву (пласта) до газовіддачі.

Мета: встановлення закономірностей деформування техногенних покладів метану у напружено-деформованому вуглепородному масиві при відпрацюванні вугільних пластів.

Постановка завдань:

1. Оцінка здатності формування колекторів метану у напружено-деформованому вуглепородному масиві.

2. Обґрунтування аналогії між деформуванням гірських порід в режимі заданих деформацій та газопроникністю породного масиву.

3. Встановлення залежності коефіцієнта фільтрації від залишкового збільшення об'єму порід.

2. Методика. Збільшення глибини гірських робіт виявили необхідність врахування впливу гірського тиску на фільтраційний обсяг досліджуваних порід.

Найбільш поширеним підходом до вирішення такого роду задач є спроби встановити якусь одновимірну функціональну залежність $k = f(\sigma)$, що зв'язує (кількісно або якісно) коефіцієнт газопроникності k з деякою інтегральною абсолютним напруженням σ в масиві. Зокрема, при проведенні експериментальних досліджень на брикетах викидонебезпечного вугілля було зроблено припущення про те, що є достатнім обмежитися врахуванням нормальної складової напружень, при вираженні останньої відповідним чином через вагу верхніх порід [11, 12]. Обстежувані зразки завантажували без можливості бокового розширення, причому вертикальне навантаження було нерівномірно розподілене за довжиною зразка таким чином, що результуюча епюра напружень відображалася у вигляді двох гілок: спадаючої та зростаючої з характерним максимумом в центрі зони опорного тиску. За результатами досліджень встановлено, що проникність, починаючи від кромки вибою, з віддаленням вглиб масиву безперервно знижується і досягає мінімуму в площині максимуму опорного тиску, а далі зростає до пластової.

На підставі цих досліджень сформульовано поняття «порога ущільнення» як деякої умовної поверхні, що пролягає в вуглепородному масиві між виробленим простором і недоторканим масивом, проникність порід в околиці якого в результаті деформування приймають найменші значення. Наприклад, для вугільного пласта, який відпрацьовується, ця поверхня перетинає пласт в зоні максимуму опорного тиску, розташовується приблизно паралельно лінії вибою,

переміщується в просторі зі швидкістю переміщення цієї поверхні відслонення і перешкоджає перетокам метану в вироблений простір з тієї частини пласта, яка знаходиться за зоною опорного тиску [11, 12]. Це дозволяє розглядати поріг ущільнення як одну з ознак екрануючої поверхні родовища.

В реальних умовах гірські породи знаходяться в об'ємному різнокомпонентному напруженому стані, і використання тільки однієї компоненти напруженого стану гірських порід може призвести до помилкових результатів при визначенні просторового розташування техногенного газового покладу і його запасів, причому помилка буде зростати зі збільшенням глибини. Однак, використання ознак порога ущільнення як параметра, що характеризує екран техногенного родовища, дозволяє з нових позицій підійти до вирішення питання про просторове розташування в підробленому масиві цих родовищ метану з урахуванням неконтрольованих міжпластових перетоків метану [13], в тому числі, на поверхню [14]. Для цього необхідно встановити закономірності, що характеризують прояв ознак порога ущільнення з урахуванням об'ємного напружено-деформованого стану газонасиченого масиву, і кількісні залежності для визначення конфігурації і розташування екрану родовища в просторі цього масиву.

В роботах [3, 15] наведені результати досліджень проникності зразків гірських порід із застосуванням вдосконалених методик і апаратури, що дозволяють обстежувати попередньо навантажені до стану, який відповідає геостатичному тиску в надрах, керни порід-колекторів [16]. Геостатичний тиск моделювали, виходячи з гравітаційної гіпотези Динника, де вертикальна складова прирівнюється до гравітаційної γH , а горизонтальні обчислюються через коефіцієнти бічної відсічі. За результатами досліджень встановлено, що мінімальні значення коефіцієнта газопроникності відповідають зразкам при різнокомпонентному об'ємному стиску, максимальні – розвантаженим зразкам, а співвідношення компонентів поля напружень настільки ж істотно впливає на коефіцієнт газопроникності, як і величина самих напружень. Активізація деформаційних процесів в породному масиві може певним чином структурувати фільтраційну систему – різнокомпонентно напружене газонасичене середовище, і коефіцієнт його газопроникності в напрямку градієнта газового тиску є функція, аргументом якої є ступінь різнокомпонентності головних напружень в площині, ортогональній фільтраційному потоку. Таку функцію запропоновано представляти в наступному вигляді [3, 15, 17]:

$$k = f(\Psi), \quad (2)$$

де Ψ – співвідношення більшого головного напруження (σ_1) до меншого (σ_3) в площині, ортогональній фільтраційному потоку.

Встановлено також, що область значень (2) в системі координат $k - \Psi$ є більш об'єктивною в порівнянні з функцією $k = f(\sigma)$. Однак, при практичному використанні розглянутих результатів необхідно враховувати, що вони не відображають весь спектр геомеханічних станів гірських порід в підроблених областях гірського масиву і, зокрема, тих, запас міцності яких повністю або частково вичерпані.

Під час обґрунтування параметрів імпульсної технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів в якості аргументу функції (2) використовували величину C , зворотню до Ψ [18]. Встановлено, зокрема, що ступінь розущільнення гірських порід можна охарактеризувати як високу при досягненні ступеня нерівномірності навантаження порядку $C < 0,2$. Однак, термін «розущільнення», як у даному випадку, так і в вищенаведених роботах, не має чіткого визначення чи кількісної характеристики, що не дає можливості судити про фактичний геомеханічний стан гірської породи. Результати досліджень підтвердили, що розвиток деформаційних процесів залежить від вихідного фізичного стану гірських порід, але в більш значній мірі – від умов навантаження, і дозволили запропонувати нові технічні рішення щодо поліпшення фільтраційних характеристик вуглепородних масивів, які вміщують свердловини, що закладено в породах з початковою низькою природньою проникністю.

Результати досліджень, які враховують вплив третьої, що діє вздовж фільтраційного потоку компоненти тензора головних напружень на газопроникність породних зразків при їх

об'ємному навантаженні, наведені в [19, 20]. Дослідження проводилися на дослідній установці в наступній послідовності. Зразок гірської породи циліндричної форми було поміщено в спеціальну камеру, де його напружений стан доводився до стану, що відповідає пластовому, для чого зразок піддавався рівнокомпонентному тристоронньому стисненню. Після цього до одного з його торців (у інших дослідах – до обмеженої частини бічної поверхні) подавався газ під тиском, і осьовий тиск підвищувався ступенями аж до повної дезінтеграції зразка. На кожному ступені осьового навантаження проводилися вимірювання газової проникності. За даними [21], аналогічним чином з метою видобутку шахтного і сланцевого метану «промисловими» способами в США визначають проникність гірських порід за динамікою навантажувального зразка (керна).

Таким чином, можна говорити про оцінку зміни газової проникності зразків при їх навантаженні за схемою Кармана [22] в режимі заданих деформацій [20]:

$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3, \quad (3)$$

де σ_1 – осьове навантаження;

σ_3, σ_2 – бокове навантаження.

За результатами випробувань зразків побудовані сімейства кривих $k = f(\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2)$, кожна з яких відповідає фіксованому значенню бічного навантаження $\sigma_2 = \sigma_3$ (рис. 1). Паралельно для зазначених умов навантаження будувалися повні діаграми деформування (рис. 1) зразків в режимі заданих деформацій [20].

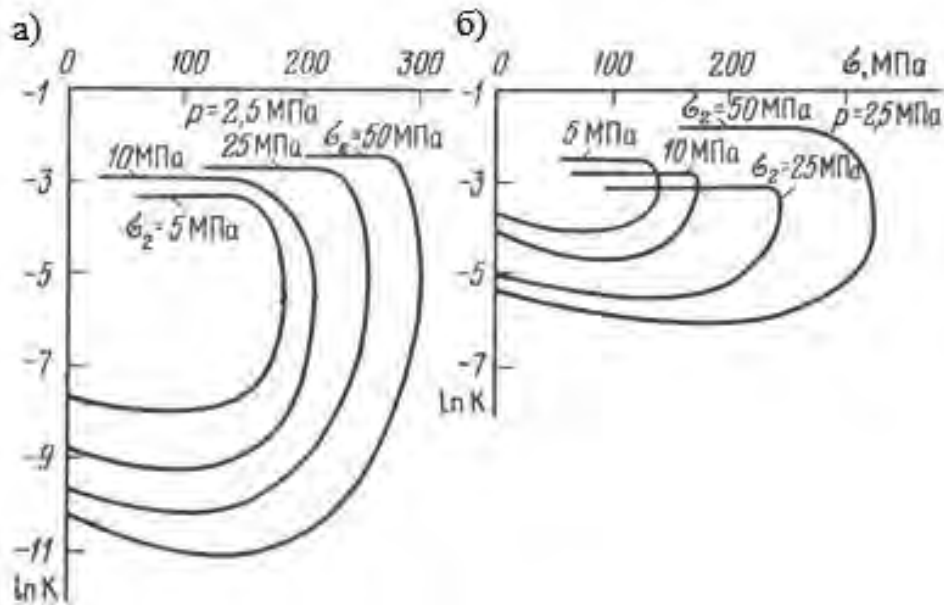


Рис. 1. Залежності коефіцієнта проникності k від $\Delta\sigma$ для викидонебезпечного (а) і невикидонебезпечного (б) пісковиків при чотирьох рівних гідростатичного тиску σ_2 [22]

Таке представлення результатів випробувань дає можливість зв'язати проникність зразка з показниками, що характеризують його геомеханічний стан як у пружній, так і в замежних областях деформування, а саме, з величинами головних напружень, а також об'ємною деформацією. Зокрема, на рис. 2 чітко простежується лінійна ділянка деформування, поза межами якої виникають залишкові деформації, що супроводжуються розпушуванням матеріалу. Кінцеві точки кривих відповідають значенням напружень, рівних залишковій міцності $R_{ост}$, коли деформування матеріалу породи, яка випробовується, в більшій мірі підпорядковується закономірностям, властивим сипучим середовищам. Це дає можливість провести аналогію між представленими на рис. 2 діаграмами і деформацією деякого елементарного об'єму гірської породи, починаючи з моменту, коли цей об'єм знаходиться в недоторканому масиві ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$), і закінчуючи його повним руйнуванням ($\sigma_1 \gg \sigma_2 = \sigma_3$) внаслідок впливу техногенного фактора.

Авторами відзначені критичні точки на діаграмах деформування, в яких зміни проникності зразків набувають якісно нових тенденцій. До таких точок віднесені ті, які відповідають змінам геомеханічного стану гірської породи при переході через межі пружності (тривалої міцності), миттєвої і залишкової міцності. Однак, в інтервалах, межами яких послідовно є суміжні пари зазначених критичних точок, тенденції в змінах проникності повністю передбачувані. Проникність, як функція $k = f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$, в цих інтервалах неперервна і монотонна.

Зокрема, в інтервалі $[0, R_{упр}]$, відповідної області пружного деформування (рис. 1, 2), тривале стискання призводить до зменшення проникності, про що свідчить зниження швидкості фільтрації флюїду через зразок. Це повністю узгоджується з результатами виконаних раніше незалежних досліджень [11, 12], де цей факт пояснюється зменшенням обсягу пір і мікротріщин, а для кількісної оцінки зниження проникності в міру зростання осьової компоненти запропоновано використовувати рівняння експоненціального виду. На відміну від результатів, представлених в [15], мінімальні значення проникності спостерігаються не при рівнокомпонентному стисканні, а на межі пружності, коли $(\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3)$.

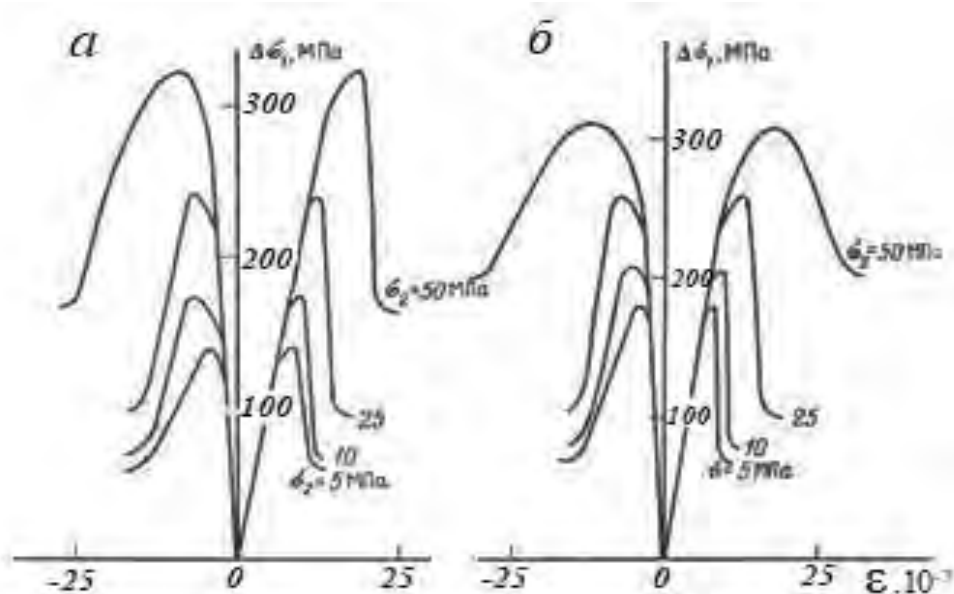


Рис. 2. Залежності $\Delta\sigma_1$ від поздовжньої ϵ_1 і поперечних ϵ_2 деформацій викидонебезпечного (а) і невикидонебезпечного (б) пісковиків при різних рівнях гідростатичного тиску [20]

При переході через межу пружності швидкість фільтрації і, відповідно, проникність збільшується, а основне зростання припадає на область, що примикає до межі миттєвої міцності. Механізм зростання коефіцієнта проникності в області незворотних деформацій в проміжку від межі пружності і до межі міцності пояснюється інтенсивним зростанням числа площин зсуву, а разом з ними і відповідного числа тріщин, що беруть участь в процесі фільтрації. Причому ці тріщини ростуть, як в кількісному відношенні, так і по ширині зразка [22].

Характер зміни проникності при переході геомеханічного стану гірської породи з пружної області деформування до непружної підтверджує гіпотезу про розміщення кордону (поверхні, що екранує): межа техногенного покладу пролягає в просторі підробленого масиву по поверхні, що розділяє пружно і непружно деформовані породи. Таким чином, конфігурація і, отже, запаси техногенного покладу можуть бути визначені виключно на підставі геомеханічних параметрів підробленого масиву. При обстеженні вуглепородних «практично непроникних» масивів на предмет виникнення в них техногенних скупчень метану запропонована гіпотеза не вимагає доказів.

На етапі деформування за межею міцності інтенсивність росту проникності знижується, а за межею залишкової міцності $R_{ост}$, коли несуча здатність масиву обумовлена силами тертя по

поверхнях руйнування і зв'язність повністю втрачена, подальше збільшення проникності не спостерігається.

3. Результати та обговорення. Розглянуті результати досліджень проникності гірських порід в умовах тривісного стискання отримані в прив'язці до всіх етапів деформування породних зразків в режимі заданих деформацій, що вигідно відрізняє ці результати від розглянутих вище.

Наведені на рис. 1 криві в повній мірі відображають проникність порід, як складових техногенного родовища, так і екрануючих його. Однак питання можливості використання встановлених в [19, 20] закономірностей для оцінки проникності різнокомпонентно навантажених гірських порід залишається відкритим і виступає предметом подальших досліджень.

Узагальнюючи результати досліджень проникності гірських порід в залежності від напруженого стану останніх слід зазначити, що будь-які зміни проникності як в точках біфуркації, так і в інтервалах між ними, пов'язують з тріщинами, які в сукупності складають фільтраційний об'єм «практично непроникного» масиву. Однак, кількісна оцінка напруженого стану в довільному елементарному об'ємі гірського масиву не несе інформації про параметри тріщин або про зміну цих параметрів в порівнянні, наприклад, з вихідним напруженим станом. За результатами зіставлення розрахункового напруженого стану з міцнісними параметрами гірської породи можна говорити про зміни фільтраційного об'єму, як про деяку ймовірну подію.

Геомеханічний стан гірської породи в інтервалі напружених станів від тривалої міцності до залишкової супроводжується збільшенням об'єму (ділатансії) зразків гірських порід [23]. При цьому дане збільшення доводиться виключно на фільтраційний об'єм [21], оскільки ділатансія протікає з незначними змінами обсягу твердого скелету. Таким чином, залежність коефіцієнта проникності від фільтраційного об'єму видається більш об'єктивною в порівнянні з кількісною оцінкою цього параметра від величин головних напружень.

За даними [24] в реальних умовах при розуцільненні гірського масиву збільшується його ефективна пористість (фільтраційний об'єм) як за рахунок утворення тріщин, так і за рахунок перерозподілу газової та водної фаз, а приріст пористості в зоні розуцільнення можна визначити через коефіцієнт об'ємної деформації:

$$P' = (P + (\theta - 1)) / \theta, \quad (4)$$

де P, P' – пористість початкова і в зоні розуцільнення, частки одиниці;

θ – відносна об'ємна деформація.

В роботі [25] відзначається, що внаслідок експериментальних досліджень отримано дані, які свідчать про наявність близької до лінійної залежності між коефіцієнтом фільтрації порід і величиною об'ємної деформації, причому характер залежності зберігає свій вигляд для всіх випробовуваних в лабораторних умовах зразків піщаних порід. Судячи з характеру випробувань, така залежність може бути застосована для порід, які знаходяться в граничному напруженому стані. В роботі [20] виконана якісна порівняльна оцінка між коефіцієнтом проникності k зразків викидонебезпечних і невикидонебезпечних пісковиків і коефіцієнтом їх об'ємної деформації. Оцінка проведена шляхом накладення кривих $k = f(C)$ і $\theta = f(C)$ в системі координат із загальною віссю абсцис. Перша крива отримана в результаті лабораторних досліджень, друга – розрахунковим шляхом (рис. 3).

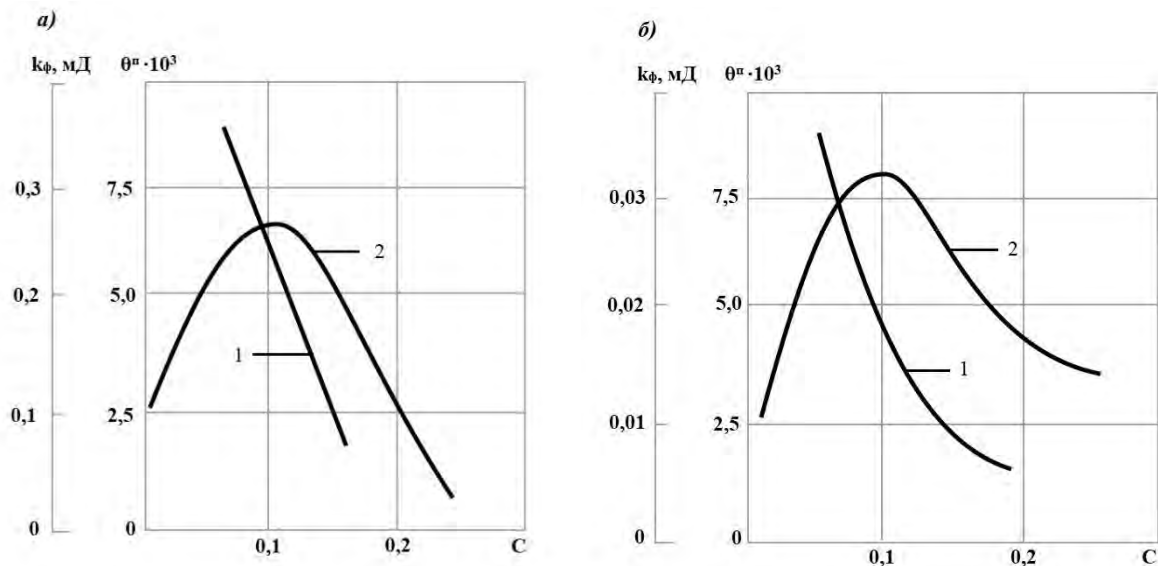


Рис. 3. Залежність коефіцієнта фільтрації k_f (лінія 1) і залишкового збільшення обсягу θ^p (лінія 2) від параметра C : а – для викидонебезпечних, б – для невикидонебезпечних пісковиків

4. Висновки

Зміна проникності, зумовлена впливом гірничих робіт, в областях масиву, що характеризуються приблизно однаковим геомеханічним станом, протікає монотонно і безперервно. Крім того тенденції цих змін передбачувані, вони незмінні в інтервалах, межами яких є точки біфуркацій, які відповідають стану порід на межах тривалої, миттєвої і залишкової міцності. Таким чином, можна вважати, якщо зазначені тенденції встановлені, то для аналізу параметрів техногенного родовища, як середовища фільтрації, достатніми є знання про величини проникності в точках біфуркації, а також в недоторканому масиві.

Паралельність кривих коефіцієнта фільтрації та залишкового обсягу від параметра C свідчить про те, що коефіцієнт об'ємної деформації гірської породи і її проникність мають однакові тенденції до зміни на всьому інтервалі її деформування аж до досягнення межі залишкової міцності $R_{ост}$, де обидва ці показники досягають максимуму. Таким чином, ці параметри можуть бути пов'язані однозначною залежністю, що підлягає визначенню.

Таким чином, структурно-текстурні особливості вуглепородного масиву у взаємозв'язку з протіканням газодинамічних процесів проявляються в зміні об'єму укладених в ньому пір і тріщин, які сумарно становлять простір фільтрації. Для урахування цих особливостей необхідно встановити функціональний взаємозв'язок між проникністю і напружено-деформованим станом гірських порід, які змінюються в результаті підробки гірничими роботами.

References

1. Ханін А.А. (1969). Порода-коллекторы нефти и газа и их изучение. М.: Недра. 262 с.
Nanin A.A. (1969). Porody-kollektory nefti i gaza i ih izuchenie. M.: Nedra, 295 p.
2. Шевелев Г.А., Перепелица В.Г. (2010). Фильтрация газа в шахтах. К.: Наукова думка. 295 с.
Shevelev, G.A. & Perepelitsa, V.G. (2010). Filtratsiya gaza v shahtah. Kyiv: Naukova dumka, 295 p.
3. Скипочка С.И., Паламарчук Т.А. (2013). Механизм генерации метана в угольных пластах. Уголь Украины, 2, 30–34.
Skipochka S.I. & Palamarchuk T.A. (2013). Mekhanizm generacii metana v ugol'nyh plastah. Ugol' Ukrainy, 2, 30–34.

4. Лукинов В.В., Гончаренко В.А., Суворов Д.А. (2010). Генерация метана углем под влиянием техногенных и природных процессов в горном массиве. *Геотехническая механика*, 88, 130–140.

Lukinov V.V., Goncharenko V.A. & Suvorov D.A. (2010). Generaciya metana uglem pod vliyaniem tekhnogennyh i prirodnyh processov v gornom massive. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, 88, 130–140.

5. Посудиевский А.Б. (2014). О прогнозировании скоплений свободного метана в угленосных отложениях Донбасса. *Уголь Украины*, 2, 42–44.

Posudievskij A.B. (2014). O prognozirovanii skoplenij svobodnogo metana v uglenosnyh otlozheniyah Donbassa. *Ugol' Ukrainy*, 2, 42–44.

6. Имгруд Т., Бауэр Ф. (2013). Бурение разгрузочных и дегазационных скважин для высокопроизводительных очистных забоев в угольных пластах с низкой проницаемостью. *Уголь*, 8, 71–78.

Imgrud T. & Bauer F. (2013). Burenie razgruzochnyh i degazacionnyh skvazhin dlya vysokoproizvoditel'nyh ochistnyh zaboev v ugot'nyh plastah s nizkoj pronicaemost'yu. *Ugol'*, 8, 71–78.

7. Балов С.В. (2014). Попередня дегазація не розвантажених від гірського тиску вугільних пластів. *Уголь України*, 2, 39–41.

Balov S.V. (2014). Poperednya degazaciya ne rozvantazhenih vid girs'kogo tisku vugil'nih plastiv. *Ugol' Ukrainy*, 2, 39–41.

8. Булат А.Ф. (1998). Создание индустрии шахтного метана в топливно-энергетическом комплексе Украины. *Геотехническая механика*, 10, 3–8.

Bulat A.F. (1998). Sozdanie industrii shahtnogo metana v toplivno-energeticheskom komplekse Ukrainy. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, 10, 3–8.

9. Скочинский А.А., Комаров В.Б. (1959). Рудничная вентиляция. М: Углетех-издат. 632 с.

Skochinskij A.A. & Komarov V.B. (1959). Rudnichnaya ventilyaciya. M: Ugletekh-izdat. 632 p.

10. Посудиевский А.Б., Посудиевский Р.А. (2008). Динамика газов в угольных пластах Донбасса. *Уголь Украины*, 3, 41–44.

Posudievskij A.B. & Posudievskij R.A. (2008). Dinamika gazov v ugot'nyh plastah Donbassa. *Ugol' Ukrainy*, 3, 41–44.

11. Софийский К.К., Силин Д.П., Агаев Р.А. и др. (2013). Комплексное освоение газоугольного месторождения с применением метода гидродинамического воздействия. *Уголь Украины*, 2, 48–51.

Sofijskij K.K., Silin D.P., Agaev R.A. i dr. (2013). Kompleksnoe osvoenie gazougol'nogo mestorozhdeniya s primeneniem metoda gidrodinamicheskogo vozdejstviya. *Ugol' Ukrainy*, 2, 48–51.

12. Петренко Е.В., Дуганов Г.В., Кухарев В.Н. и др. (1968). Разработка крутых пластов на больших глубинах. М.: Недра. 160 с.

Petrenko E.V., Duganov G.V., Kuharev V.N. i dr. (1968). Razrabotka krutyh plastov na bol'shih glubinah. M.: Nedra. 160 p.

13. Коптиков В.П., Мхатвари Т.Я., Тимофеев Э.И. и др. (2010). Причины и последствия аварии на шахте им. К.Маркса. *Уголь Украины*, 10, 30–33.

Koptikov V.P., Mhatvari T.YA., Timofeev E.I. i dr. (2010). Prichiny i posledstviya avarii na shahte im. K.Marksa. *Ugol' Ukrainy*, 10, 30–33.

14. Сургай М.С., Куліш В.А., Кузін Ю.С. (2008). Вугільна промисловість та навколишнє середовище – основні аспекти взаємовідношень. *Уголь України*, 11, 35–41.

Surgaj M.S., Kulish V.A. & Kuzin YU.S. (2008). Vugil'na promislovist' ta navkolishne seredovishche – osnovni aspekti vzaemovidnoshen'. *Ugol' Ukrainy*, 11, 35–41.

15. Майдуков Г.Л. (2008). Угольное производство как источник техногенного воздействия на земную атмосферу. *Уголь Украины*, 2, 27–34.

Majdukov G.L. (2008). Ugol'noe proizvodstvo kak istochnik tekhnogennogo vozdejstviya na zemnyuyu atmosferu. *Ugol' Ukrainy*, 2, 27–34.

16. Шашенко А.Н. (2002). Механика горных пород. Днепропетровск: НГАУ. 302 с.

Shashenko A.N. (2002). *Mekhanika gornyh porod. Dnepropetrovsk: NGAU*, 302 p.

17. Антощенко Н.И., Кулакова С.И., Филатьев М.В. (2013). Прогноз газовыделения из подрабатываемых угольных пластов. *Уголь Украины*, 1, 44–49.

Antoshchenko N.I., Kulakova S.I. & Filat'ev M.V. (2013). Prognoz gazovydeniya iz podrabatyvaemyh ugol'nyh plastov. *Ugol' Ukrainy*, 1, 44–49.

18. Волошин А.И., Рябцев О.В., Коваль А.И. (2011). О механизме формирования полостей расслоений, содержащих метан. *Уголь Украины*, 1, 46–50.

Voloshin A.I., Ryabcev O.V. & Koval' A.I. (2011). O mekhanizme formirovaniya polostej rassloenij, soderzhashchih metan. *Ugol' Ukrainy*, 1, 46–50.

19. Антощенко Н.И., Окалелов В.Н., Павлов В.И. и др. (2013). Формирование динамики газовыделения из подрабатываемого массива при отработке газоносных угольных пластов: монография. *Алчевск: ДонГТУ*, 221 с.

Antoshchenko N.I., Okalelov V.N., Pavlov V.I. i dr. (2013). Formirovanie dinamiki gazovydeniya iz podrabatyvaemogo massiva pri otrabotke gazonosnyh ugol'nyh plastov: monografiya. *Alchevsk: DonGTU*, 221 p.

20. Клец А.П., Бокий Б.В., Филимонов П.Е. (2013). Прогноз газовыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка. *Уголь Украины*, 8, 47–50.

Klec A.P., Bokij B.V. & Filimonov P.E. (2013). Prognoz gazovydeniya iz podrabotannyh porod v vyrabotki vyemochnoho uchastka. *Ugol' Ukrainy*, 8, 47–50.

21. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. (2000). Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. *М.: Изд-во Академии горных наук*, 519 с.

Malyshev YU.N., Trubeckoj K.N. & Ajruni A.T. (2000). Fundamental'no prikladnye metody resheniya problemy metana ugol'nyh plastov. *М.: Izd-vo Akademii gornyh nauk*, 519 p.

22. Субботин В.П. (1994). Распространение искусственной трещиноватости в почве и кровле очистных выработок. *Уголь Украины*, 8, 40–42.

Subbotin V.P. (1994). Rasprostranenie iskusstvennoj treshchinovatosti v pochve i krovle ochistnyh vyrabotok. *Ugol' Ukrainy*, 8, 40–42.

23. Шашенко А.Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е.А. Геомеханические процессы в породных массивах. Днепропетровск: Национальный горный университет. 2005. 319 с.

Shashenko A.N., Mayherchik T. & Sdvizhkova E.A. (2005). Geomechanicheskie protsessy v porodnyh massivah. Dnepropetrovsk: Natsionalnyiy gornyy universitet, 319 p.

24. Кауфман Л.Л., Кулдыркаев Н.И., Лысиков Б.А. (2007). Добыча горючих газов угольных месторождений. *Донецк: «Вебер»*. 232 с.

Kaufman L.L., Kuldyrkaev N.I. & Lysikov B.A. (2007). Dobycha goryuchih gazov ugol'nyh mestorozhdenij. *Doneck: «Veber»*, 232 p.

25. Садовенко І.О., Тимошук В.І., Тішков В.В. та ін. (2010). Дослідження впливу напружено-деформованого стану вміщуючих гірських порід на їх фільтраційні властивості при підземній газифікації вугільних пластів в умовах Донбасу. *Науковий вісник НГУ*, 3, 32–33.

Sadovenko I.O., Timoschuk V.I., Tishkov V.V. ta in. (2010), Doslidzhennya vplivu napruzheno-deformovanogo stanu vmischuyuschih girskih porid na Yih filtratsiyini vlastivosti pri pidzemniy gazifikatsiyi vugilnih plastiv v umovah Donbasu. *Naukoviy visnik NGU*, 3, 32–33.