

5. Корчемагин В.А., Емец В.С. Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья // Геотектоника, 1987. - № 3. - С. 49-56.
6. Баранов В.А. Определение нижней и верхней границ выбросоопасности пород // Уголь Украины, 1999. - №2. - С. 38 – 40.
7. Иванов Б.И., Фейт Г.Н., Яновская И.Э. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов. – М.: Наука, 1979. – 196 с.
8. Методика определения газоносности вмещающих пород угольных месторождений при геологоразведочных работах. – М. : Недра, 1988. – 110 с.

УДК 622.411.332:533.17:622.357.1

В.В. Лукинов, А.П. Клец, В.В. Бобрышев,
Д.П. Гуня, Н.Э. Капланец, В.В. Фичев

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОЛЛЕКТОРА – УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА, ПОДРАБОТАННОГО ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Розглянуто зв'язок між коефіцієнтом проникності та коефіцієнтами відкритої та ефективної пористості, а також коефіцієнтом інтегральної ефективної пористості. Приведено приклад розрахунку коефіцієнта проникності підробленого гірничого масиву.

FILTRATION PARAMETERS OF A COLLECTOR-UNDERMINING ROCK MASSIVE CONTAINED COAL

Relation between penetrability factor, factors of open and effective porosity, and factor of integral effective porosity are considered. An example of calculating the porosity factor of undermining rock massif is shown.

Одной из основных задач исследования параметров процессов фильтрации газа в подработанном углепородном массиве является оценка параметров коллектора, содержащего метан. Традиционно коллекторами в нетронутом горными работами массиве считаются песчаники, так как именно они обладают коллекторскими свойствами существенно превышающими коллекторские свойства других пород. В результате подработки породы, залегающие над отрабатываемым угольным пластом разуплотняются, расслаиваются, нарушаются трещинами, вследствие чего углепородный массив приобретает новые коллекторские свойства. Процессы расслоения и трещинообразования в подработанном углепородном массиве рассмотреть трудно, так как вскрывая эти породы геологоразведочными скважинами невозможно получить информацию о трещиноватости, которая формируется в результате образования трещин отрыва, а не сжатия, и такие трещины не отличимы от обычных трещин раскола керна на части. Разуплотнение керна, происходящее без нарушения сплошности, отражается в изменении его коллекторских свойств (табл. 1 и 2).

В разгруженном песчанике несколько увеличиваются коллекторские свойства – увеличивается абсолютная, открытая и эффективная пористость и незначительно увеличивается проницаемость. Проведенными исследованиями Г.Д. Лидина [1] и В.Е. Забигайло [2] установлено, что газопроницаемость изменяется по логарифмической зависимости от значений открытой пористости. Установлено, что в открытой пористости часть пор заполнена влагой, эта зависимость будет носить более выраженный характер, если вместо открытой пористости

будет использован показатель коэффициента эффективной пористости, отражающий только ту пористость, которая заполнена газом.

Таблица 1 – Коллекторские свойства песчаника $m_4Sm_4^1$ на поле шахты им. А.Ф. Засядько, не разгруженного горными выработками пласта m_3

№ скважины	Интервал глубин отбора проб, м	Количество проб	Пористость, %			Газопроницаемость по напластованию, мД от – до средняя
			абсолютная	открытая	эффективная	
ДМ-1935	922,8-946,0	5	<u>3,32-8,89</u> 5,4	<u>3,13-6,15</u> 4,1	–	<u>0,01-0,1</u> 0,046
ДМ-1922	948,0-991,0	14	<u>4,51-8,39</u> 6,19	<u>4,41-6,87</u> 5,38	<u>1,5-3,85</u> 2,18	<u>0,02-0,06</u> 0,038
ДМ-1934	1033,0-1037,0	2	<u>6,3-7,01</u> 6,65	<u>4,14-4,65</u> 4,39	<u>1,88-2,3</u> 2,09	<u>0,04-0,05</u> 0,045
ДМ-1918	1139,0-1170,0	6	<u>6,61-9,29</u> 8,15	<u>4,33-7,99</u> 6,32	<u>1,06-3,48</u> 2,04	<u>0,00-0,41</u> 0,10
ДМ-1908	1199,0-1219,0	5	<u>4,48-6,77</u> 5,89	<u>3,66-5,97</u> 5,10	<u>0,71-2,22</u> 1,44	<u>0,00-0,06</u> 0,032
Среднее	1040,0		6,46	5,06	1,94	0,052

Таблица 2 – Коллекторские свойства песчаника $m_4Sm_4^1$ на поле шахты им. А.Ф. Засядько, разгруженного горными выработками по пласту m_3

№ скважины	Интервал глубин отбора проб, м	Количество проб	Пористость, %			Газопроницаемость по напластованию, мД от – до средняя
			абсолютная	открытая	эффективная	
ДМ-1932	517,0-530,3	2	<u>9,09-9,63</u> 9,36	<u>7,50-8,84</u> 8,17	<u>2,26-2,95</u> 2,60	<u>0,05-0,12</u> 0,085
ДМ-1930	710,0-745,0	7	<u>7,49-9,66</u> 8,43	<u>6,44-7,94</u> 7,17	<u>1,83-2,71</u> 2,35	<u>0,04-0,1</u> 0,065
ДМ-1937	1001,0-1031,0	4	<u>4,46-8,33</u> 6,22	<u>3,97-4,71</u> 4,25	<u>1,13-2,1</u> 1,75	<u>0,03-0,06</u> 0,0425
Среднее	756,0		8,00	6,53	2,23	0,064

Для проверки этого положения были использованы результаты замеров открытой и эффективной пористости и газопроницаемости песчаников по кернам 24 геологоразведочных скважин на поле шахты им. А.Ф. Засядько, выполненные в ПО «Укруглегеология». Результаты анализа показали, что между значениями коэффициентов открытой пористости $k_{о.п}$ и газопроницаемости $k_{пр}$ существует зависимость (1), изображенная на рис. 1.

$$k_{пр} = e^{0,3 \cdot k_{о.п} - 4,91} . \quad (1)$$

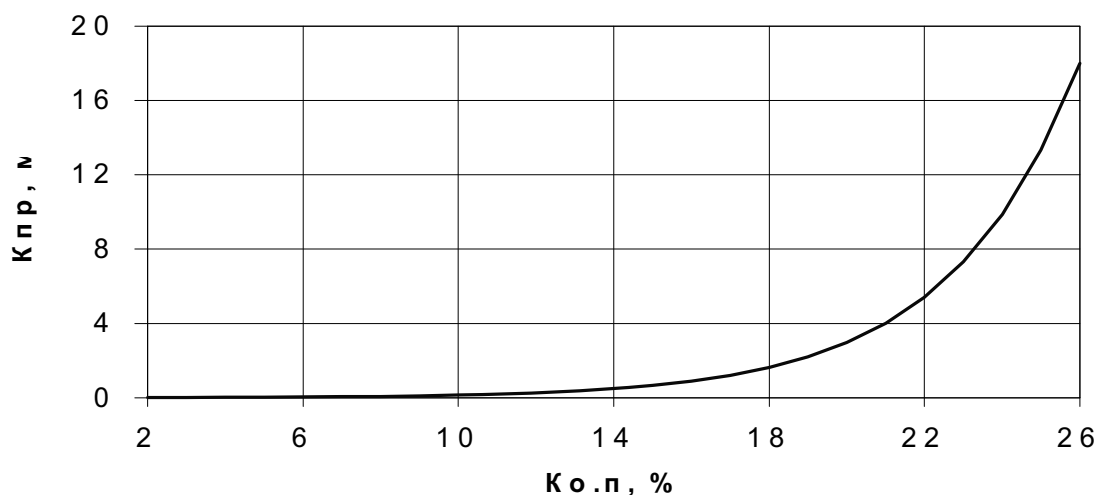


Рис. 1 – Зависимость коэффициента газопроницаемости $k_{пр}$ от коэффициента открытой пористости $k_{о.п}$

Зависимость между значениями коэффициента эффективной пористости $k_{э.п}$ и коэффициента газопроницаемости $k_{пр}$ имеет вид (рис. 2):

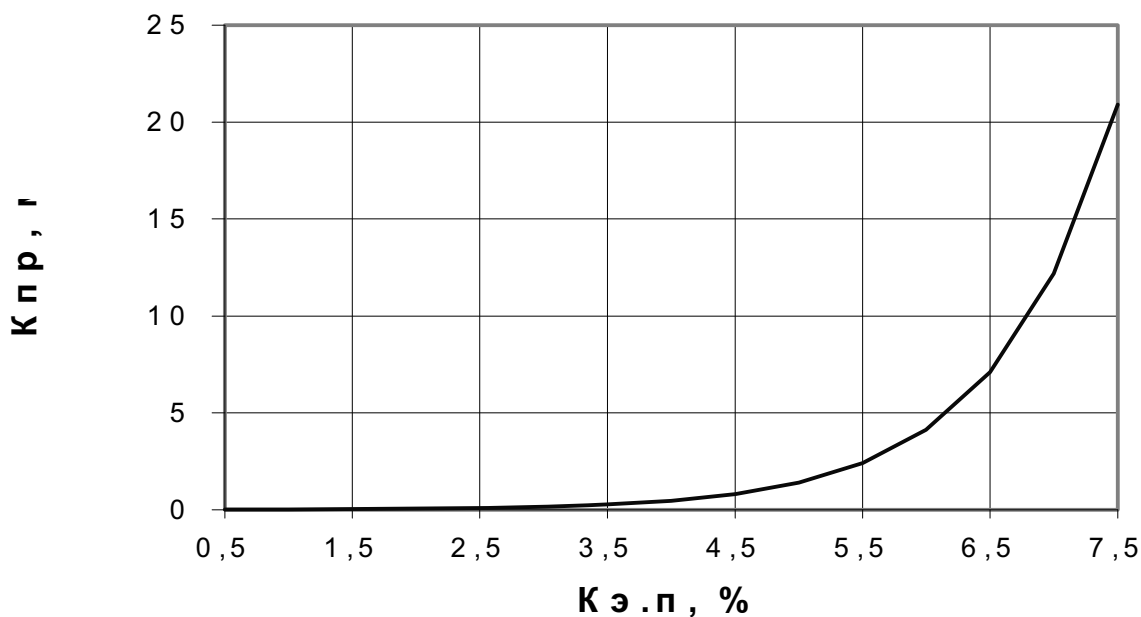


Рис. 2 – Зависимость коэффициента газопроницаемости $k_{пр}$ от коэффициента эффективной пористости $k_{э.п}$

$$\ln k_{\text{пр}} = 1,08 \cdot k_{\text{э.п}} - 5,06$$

или

$$k_{\text{пр}} = e^{1,08 \cdot k_{\text{э.п}} - 5,06}. \quad (2)$$

Проверка значимости полученных коэффициентов корреляции проводилась по t – критерию по формуле [3]:

$$t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}.$$

В первом случае $R = 0,592$, $n = 24$, значения $t_{\text{расч}} = 3,44$ при $t_{\text{табл}} = 2,821$ для вероятности 0,99. Во втором случае $R = 0,815$, $n = 21$, значения $t_{\text{расч}} = 6,13$ при $t_{\text{табл}} = 2,86$. Следовательно, есть корреляция между газопроницаемостью и открытой пористостью и между газопроницаемостью и эффективной пористостью (рис. 2). Учитывая, что между значениями коэффициента газопроницаемости и коэффициентом эффективной пористости получен достаточно высокий коэффициент корреляции (0,815) с высокой надежностью $6,13 \gg 2,86$, формулу (2) можно использовать для прогнозной оценки газопроницаемости по значениям эффективной пористости. Таким образом, впервые установлена логарифмическая зависимость между проницаемостью и эффективной пористостью пород-коллекторов

Как показывает анализ результатов, приведенных в табл. 1 и 2, где показаны значения $k_{\text{э.п}}$ и $k_{\text{пр}}$ песчаника до подработки и после подработки, существенного увеличения газопроницаемости после подработки за счет разуплотнения песчаника (без трещин) не происходит. Основное влияние на проницаемость массива оказывают трещины, которые создают интегральную эффективную пустотность $k_{\text{и.э.п}}$. Коэффициент интегральной эффективной пустотности, в свою очередь складывается из эффективной пористости песчаника $k_{\text{э.п}}$ и эффективной трещинной пустотности $k_{\text{э.т}}$ или

$$k_{\text{и.э.п}} = k_{\text{э.п}} + k_{\text{э.т}}. \quad (3)$$

Коэффициент эффективной трещинной пустотности будет прямо пропорционален вынимаемой мощности пласта $m_{\text{отр}}$ и обратно пропорционален мощности интервала, нарушенного трещинами $M_{\text{т}}$

$$k_{\text{э.т}} = \frac{m_{\text{отр}}}{M_{\text{т}}}. \quad (4)$$

Для оценки параметров фильтрации углепородного массива подработанного горными выработками мощность интервала, нарушенного трещинами, введем понятие условной эффективной интегральной мощности $M_{\text{yc}} = M_{\text{т}}$

$$M_{yc} = \frac{m_{отр}}{k_{и.э.п} - k_{э.п}} = \frac{m_{отр}}{k_{э.т}}, \quad (5)$$

где $k_{и.э.п}$, $k_{э.п}$, $k_{э.т}$ – значения в долях единицы.

Увеличение пустотности подработанного углепородного массива приводит к уменьшению давления газа в нем. Давление газа в нетронутым горными работами углепородном массиве $P_{пл}$, по данным, приведенным в работе [2], составляет 80 % гидростатического, или

$$P_{пл} = 0,008 \cdot \gamma_в \cdot H, \quad (6)$$

где $P_{пл}$ – давление, МПа;

$\gamma_в$ – плотность воды, равная 1 т/м³;

H – глубина залегания пласта песчаника, м.

После подработки и увеличения эффективной пористости, давление газа в подработанном массиве $P_{п.м}$ (МПа) будет:

$$P_{п.м} = \frac{0,008 \cdot \gamma_в \cdot H \cdot k_{э.п}}{k_{э.п} + k_{э.т}} \quad (7)$$

отсюда

$$k_{и.э.п} = \frac{P_{пл} \cdot k_{э.п}}{P_{п.м}}.$$

Таким образом, зная давление газа в подработанном массиве и эффективную пористость песчаника, залегающего над разрабатываемым угольным пластом, можно определить коэффициент интегральной эффективной пустотности и интегральный коэффициент проницаемости подработанного углепородного массива

$$k_{пр} = e^{1,08 \cdot k_{и.э.п} - 5,06}. \quad (8)$$

В качестве примера рассмотрим скважину МТ-332, пробуренную на подрабатываемый 16 восточной лавой пласта m_3 углепородный массив. Глубина залегания песчаника $m_4Sm_4^1$ 1190 м, эффективная пористость песчаника $m_4Sm_4^1$, до подработки 1,94 % давление газа в массиве после прохождения лавой забоя скважины (забой скважины 1243 м, в 12 м над угольным пластом m_3) составило 2,2 МПа. По величинам давлений в нетронутым и подработанном массиве определяем коэффициент интегральной эффективной пустотности

$$k_{и.э.п} = \frac{9,52 \cdot 1,94}{2,2} = 8,39 \%$$

По уравнению (3) определяем значение $k_{э.т}$

$$k_{э.т} = 8,39 - 1,94 = 6,45 \%$$

Среднее значение вынимаемой мощности пласта m_3 в пределах 16 восточной лавы составляет 1,68 м.

По уравнению (5) определяем условно эффективную интегральную мощность углепородного массива, для которого будут рассматриваться фильтрационные характеристики

$$M_{yc} = \frac{1,68}{0,0645} = 26 \text{ м.}$$

Эффективная интегральная мощность углепородного массива 26 м характеризуется интегральной эффективной пустотностью, равной 8,39 %, которая складывается из эффективной пористости (1,94 %) и эффективной трещинной пустотности (6,45 %). По уравнению (8) рассчитываем коэффициент проницаемости углепородного массива с интегральной эффективной пустотностью $k_{и.э.п} = 8,39$ % и условно интегральной эффективной мощностью 26 м.

$$k_{пр} = e^{1,08 \cdot 8,39 - 5,06} = 56,4 \text{ мД.}$$

Разработанная методика расчета фильтрационных параметров коллектора, содержащего метан позволяет определить основные характеристики подработанного углепородного массива, коэффициент проницаемости $k_{пр}$ и интегральную эффективную пустотность этого массива $k_{и.э.п}$, образовавшуюся в результате подработки, условную эффективную интегральную мощность углепородного массива, необходимые для проектирования работ по дегазации массива скважинами, пробуренными с поверхности

Достоверность полученных результатов подтверждается сходимостью величин $k_{пр}$, полученных расчетным путем по величинам интегральной эффективной пустотности и по фактическим данным при извлечении метана поверхностными дегазационными скважинами на шахте им. А.Ф. Засядько, которые изменяются в пределах 15,0...43,3 мД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование закономерностей дегазации разрабатываемых, подрабатываемых угольных пластов / Г.Д. Лидин, А.Т. Айруни, Ю.Н. Бессонов, Н.С. Смирнов – М.: Изд-во Института физики Земли АН СССР. – 1969. – 84 с.
2. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / В.Е. Забигаило, А.З. Широков, И.С. Белый и др. – Киев.: Наукова Думка, 1974. – 270 с.
3. Статистические методы повышения качества / Под ред. Хтоси Кумэ: пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 301с.