

– для всех исследованных марок углей характерно присутствие на фоне основной матрицы аморфной фазы пор, равномерно либо хаотично расположенных по всему объему образца;

– объемная доля пор колеблется от 2 до 10 %, причем нижние значения характерны для слабометаморфизованных углей и антрацитов, а верхние – для углей средней стадии метаморфизма (выбросоопасных);

– размеры пор также варьируют в широких пределах: от 3-5 мкм до 80-100 мкм, однако в любом случае являются достаточными для размещения в них молекул метана;

– ориентировочная оценка максимального количества метана, которое может помещаться в поровой структуре угольного вещества, приводит к значению 15-30 м<sup>3</sup>/т, что на порядок ниже объемов метана, зафиксированных при газодинамических явлениях в угольных шахтах;

– для структуры угля характерно наличие большого количества металлосодержащих включений, входящих в ряд наиболее активных катализаторов синтеза метана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А. Ф. Метаногенерация в угольных пластах / А. Ф. Булат, С. И. Скипочка, Т. А. Паламарчук, В. А. Анциферов.– Днепропетровск: «Лири ЛТД», 2010. – 328 с.
2. Жиряков В.Г. Органическая химия / В.Г. Жиряков. – М. : Химия, 1991. – 430 с.

**УДК 622.831(088.8)**

Канд. техн. наук А. П. Клец  
(ИГТМ НАН Украины)

#### **ДЕБИТ СКВАЖИН ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ДЕГАЗАЦИИ**

Розроблено методику розрахунку свердловин випереджаючої дегазації. Викладено приклад розрахунку дебіту для умов шахти «Алмазна» та приведені його прогнозні показники для кількох виїмкових ділянок шахт Донбасу.

#### **WELLS PRODUCTION RATE OF ADVANCING METHANE DRAINAGE**

The design procedure of bore wells of advancing methane drainage is developed. The calculation example of production rate for conditions of «Almazna» mine. The prospective indicators of production rate for some panels of mines of Donbass are resulted.

Целью опережающей дегазации [1] является снижение показателей газоносности горных пород до начала ведения горных работ по добыче угля. Это достигается путем извлечения метана из газоносных пород-коллекторов в естественных условиях, когда горный массив еще не подвержен влиянию горных работ, но на выемочном участке уже начаты подготовительные работы, и проводятся подготовительные выработки, из которых возможно бурение дегазационных скважин.

Песчаники Донбасса в нетронутом массиве в большей или меньшей мере проницаемы. При удовлетворительных условиях они могут отдавать или пропускать свободный метан. Естественная проницаемость песчаников очень мала – сотые и десятые доли миллидарси ( $10^{-16} \div 10^{-17} \text{ м}^2$ ). Поэтому скважины, пробуренные в песчаниках Донбасса, которые залегают не в зонах геологических структур или не разгруженные от горного давления, имеют незначительные дебиты метана, не удовлетворяющие ни условиям дегазации, ни условиям добычи метана. Второй причиной является малая площадь фильтрации метана из пород в скважины, которая зависит от диаметра скважины и толщины газоносного слоя песчаника.

В способе опережающей дегазации используется геомеханическая зона наибольшего прогиба пород (ЗНП) с высокими фильтрационными свойствами, которая сформировалась на границе нетронутого массива с подработанными породами кровли уже отработанной смежной лавы. Длина этой зоны равняется длине выемочного столба, а высота – интервалу разгрузки углепородного массива. Эта зона характеризуется повышенной пустотностью пород, снижением содержания воды в порово-трещинном пространстве и повышением на два порядка проницаемости. Сниженное давление газа оказывает содействие фильтрации метана из нетронутого массива в зону ЗНП.

Дебит скважины и количество добытого метана является одним из основных показателей опережающей дегазации. Скважины опережающей дегазации, пробуренные в ЗНП, как показал опыт экспериментальных исследований, имеют допустимые дебиты 0,5–2,5 м<sup>3</sup>/мин. [2]. При проектировании мероприятий по опережающей дегазации величина дебита скважины определяется двумя методами. Во-первых, она о аналогии принимается равной среднему дебиту скважин, когда опережающая дегазация применялась раньше в похожих геологических и технологических условиях. Во-вторых, дебит скважины опережающей дегазации рассчитывается по методике, приведенной ниже.

Скорость линейной фильтрации в сечении песчаника определяется из закона Дарси, если известны величины давления газа, параметры газопроницаемости и координаты исследуемого сечения. В работе [3] с использованием закона Бойля-Мариотта для идеального газа разработана формула для определения газопроницаемости пород, преобразовывая которую, получаем формулу для определения объемного расхода газа за единицу времени ( $Q$ , м<sup>3</sup>/мин.) при фильтрации метана в песчанике:

$$Q = \frac{30k_{np}(P_{nl}^2 - P_c^2) \cdot F}{P_0 \mu_c \cdot \ell}, \quad (1)$$

где  $k_{np}$  – коэффициент газопроницаемости песчаника, м<sup>2</sup>;  $P_{nl}$ ,  $P_c$  – соответственно давление газа в ненарушенном массиве и в исследуемом сечении песчаника, Па;  $P_0$  – атмосферное давление, Па;  $\mu_c$  – динамический коэффициент вязкости метана в исследуемых условиях, Па·с;  $\ell$  – расстояние в сторону нена-

рушенного массива, на котором давление газа в песчанике будет равно пластовому  $P_{пл}$ , м;  $F$  – площадь фильтрации,  $m^2$ , которая определяется по формуле:

$$F = R \cdot m_n, \quad (2)$$

где  $m_n$  – мощность дегазируемого песчаника, м;  $R$  – расстояние между скважинами.

Применение формулы (1) для расчетов ожидаемого дебита скважин опережающей дегазации нуждается в принятии уточнений и некоторых допущений.

Первое. Фильтрация – линейная и направлена вдоль наслоения от нетронутого массива к ЗНП. Линии потоков метана ортогональны площади сопряжения ЗНП с нетронутым массивом.

Второе. Давление  $P_c$  равняется давлению газа в скважине и принимается равным атмосферному давлению  $P_0$ , а давление газа в нетронутом массиве  $P_{пл}$ , равное 85 % гидростатического [6], определяется по формуле:

$$P_{пл} = 0,85 \cdot g \cdot \gamma_в \cdot H, \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, равняется  $9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $\gamma_в$  – плотность воды, равняется  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $H$  – глубина залегания дегазируемого песчаника, м.

Давление метана в газоносных породах нетронутого массива глубже границы метановой зоны намного больше атмосферного давления  $P_0$ , поэтому разность  $P_{пл}^2 - P_c^2$  можно заменить на  $P_{пл}^2$ , что почти не повлияет (в пределах погрешности) на результаты расчета по формуле (1). Тогда формула для инженерных расчетов начальных показателей дебита метана из породы в скважину будет иметь вид:

$$Q = \frac{20586 \cdot H^2 \cdot m_n \cdot R \cdot k_{np}}{\mu_г \cdot \ell}. \quad (4)$$

Величина коэффициента проницаемости  $k_{np}$  берется из геологического отчета по шахте, а если данные о проницаемости песчаников отсутствуют, тогда величина коэффициента проницаемости выбирается из таблицы 1, которая составлена согласно [4], где установлена зависимость  $k_{np}$  от коэффициента эффективной пористости  $k_{ен}$ , или определяют по графику на рис. 1.

Третье. Расстояние  $\ell$  определяется по данным экспериментальных исследований по формуле (4), когда известны дебиты скважин, коллекторские показатели песчаников и свойства газа. Так для песчаника  $m_4^1 Sm_4^3$  в кровле 17 восточной и 17 западной лав на шахте им. А. Ф. Засядько, когда проницаемость песчаника  $k_{np} = 0,06 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$  ( $k_{ен} = 2,1 \%$ ), а средние показатели дебита скважин

равняются:  $Q_{c_1} = 2,84 \text{ м}^3/\text{мин.}$ ;  $Q_{c_2} = 2,06 \text{ м}^3/\text{мин.}$ , расстояние  $\ell$  будет равно:  $\ell_1 = 232 \text{ м}$ ,  $\ell_2 = 320 \text{ м}$ . На первом этапе для всех песчаников Донбасса

Таблица 1 – Значение коэффициента  $k_{np}$

$k_{en}, \%$	$k_{np} \cdot 10^{-15}, \text{ м}^2$
1,0	0,02
2,0	0,05
3,0	0,14
4,0	0,37
5,0	1,0
6,0	2,72

принимая  $\ell = 275 \text{ м}$  (среднее значение). Известно, что расстояние  $\ell$  зависит от проницаемости песчаника: чем больший показатель проницаемости, тем большее расстояние  $\ell$ . Поэтому в дальнейшем после наработки экспериментальных данных расстояние  $\ell$  будет скорректировано для различных показателей проницаемости песчаников.

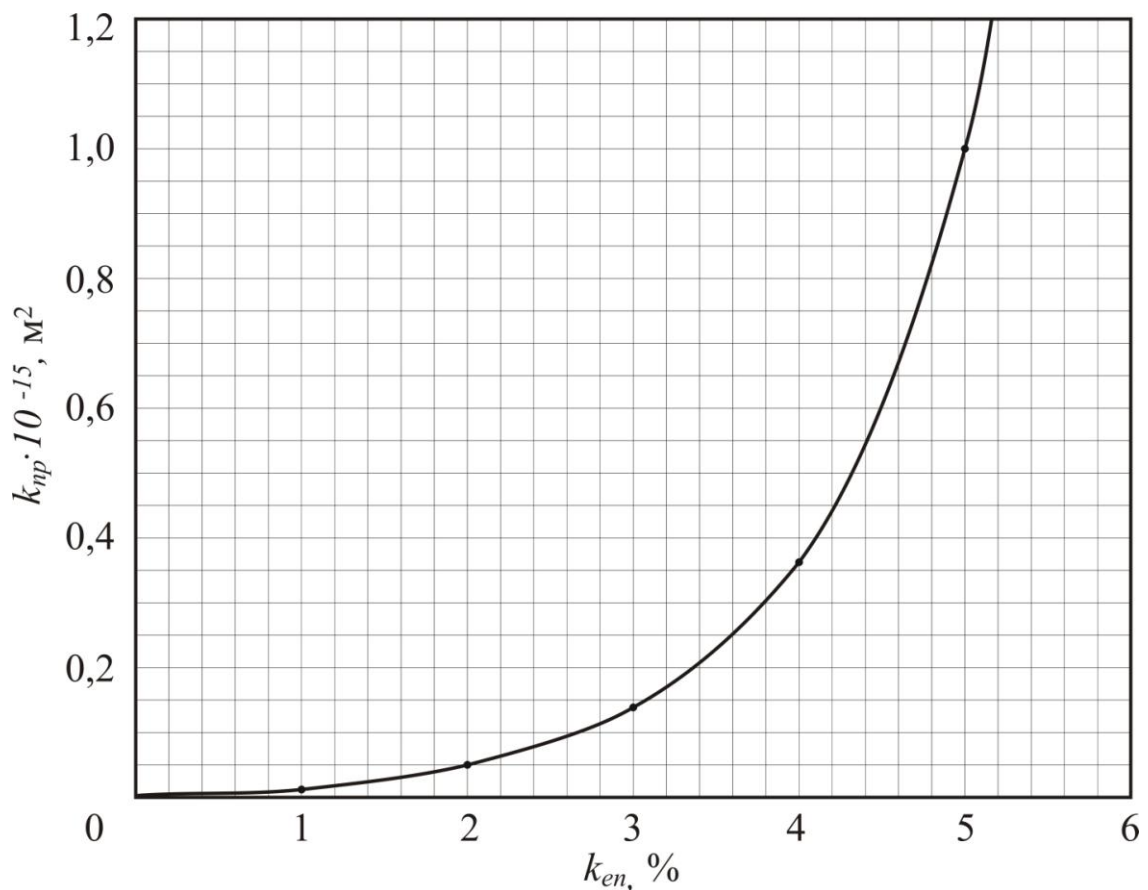


Рис. 1 – Определение коэффициента проницаемости

Четвертое. Динамическая вязкость метана  $\mu_2$  зависит от его температуры и давления и рассчитывается согласно методике, которая приведена в работе [5]. Для Донбасса геотермальный градиент равняется в среднем  $+3 \text{ }^\circ\text{C}$  на  $100 \text{ м}$  глу-

бины, а давление свободного газа в песчаниках определено по формуле (3). Расчеты  $\mu_2$  для разных глубин приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение показателя вязкости метана  $\mu_2$

Глубина залегания песчаника $H$ , м	Температура пород, °С	Пластовое давление $P_{пл}$ , МПа	Динамическая вязкость метана $\mu_2$ , Па·с·10 <sup>-5</sup>
400	29	3,4	1,08
600	35	5,1	1,10
800	41	6,8	1,13
1000	47	8,5	1,16
1200	53	10,2	1,18
1400	59	11,9	1,23
600	65	13,6	1,30

Пятое. Экспериментальными исследованиями доказано, что с повышением расстояния между скважинами до размера  $R = 80$  м, дебит метана увеличивается. Дальнейшее повышение расстояния  $R$  к увеличению дебита не приводит, поэтому, если расстояние между скважинами превышает размер 80 м, в формуле (4)  $R$  принимается равным 80 м.

Шестое. Если в породах кровли залегают две или больше газоносные породы, которые отвечают критериям геологических объектов опережающей дегазации, тогда расчеты проводятся для каждой породы отдельно, а результат суммируются для всей скважины,  $Q_c$ , м<sup>3</sup>/мин.

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i. \quad (5)$$

Пример расчета дебита скважины опережающей дегазации для условий выемочного участка 6 южной лавы по пласту  $l_3$  на шахте «Алмазная» ГП «Добропольеуголь».

В углепородном массиве кровли лавы для опережающей дегазации выбраны два геологических объекта: газоносные песчаники  $l_6Sl_7$  и  $l_4^1Sl_5$ . Характеристики песчаников, необходимые для расчета, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики песчаников

Наименование	Показатель	
	$l_6Sl_7$	$l_4^1Sl_5$
Индекс песчаника		
Глубина залегания $H$ , м	770	810
Мощность песчаника, $m_n$ , м	16,0	21,0
Коэффициент эффективной пористости, $k_{en}$ , %	3,0	2,0

Проектное расстояние между скважинами  $R = 80$  м. По графику на рис. 1 и из таблицы 2 определяются соответственно показатели проницаемости и динамической вязкости газа. Для песчаника  $l_6Sl_7$   $k_{np} = 1,4 \cdot 10^{-16}$  м<sup>2</sup>, а  $\mu_2 = 1,12 \cdot 10^{-5}$  Па·с. Для песчаника  $l_4^1Sl_5$   $k_{np} = 0,5 \cdot 10^{-16}$  м<sup>2</sup>, а  $\mu_2 = 1,13 \cdot 10^{-5}$  Па·с.

По формуле (4) определяется дебит метана в скважину: из песчаника  $l_6Sl_7$   $Q_1 = 0,74 \text{ м}^3/\text{мин.}$ , а из песчаника  $l_4^1Sl_5$   $Q_2 = 0,38 \text{ м}^3/\text{мин.}$  Суммарный дебит метана из скважины по формуле (5) составляет  $Q_c = 1,12 \text{ м}^3/\text{мин.}$

Прогнозные показатели дебита скважин опережающей дегазации на некоторых выемочных участках приведены в таблице 4.

Сравнение расчетных величин с показателями дебита скважин при проведении экспериментальных работ по внедрению способа опережающей дегазации на шахте им. А.Ф. Засядько [2], показывает их удовлетворительную сходимость, что позволяет сделать вывод о достоверности выполняемых расчетов. Реализация метода определения дебита скважин дает возможность прогнозировать объемы извлекаемого метана на выемочных участках, что является исходным материалом для проектирования участковых дегазационных систем и планирования мероприятий по использованию метана. В дальнейшем, по мере накопления фактического материала по результатам опережающей дегазации, этот метод будет усовершенствоваться с целью повышения его точности. Основные положения метода будут включены в стандарт Минуглепрома Украины по правилам применения способа опережающей дегазации, разрабатываемый специалистами МакНИИ, АП «Шахта им. А. Ф. Засядько» и ИГТМ НАН Украины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. К 75821 Україна, Е 21 F 7/00. Спосіб випереджаючої дегазації порід покрівлі високонавантажених лав / А. Ф. Булат, Ю. Л. Звягільський, І. О. Єфремов [та ін.] ; заявники і патентоволодарі: Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України, Орендне підприємство «Шахта ім. О.Ф. Засядька». – № 20041108929; заявл. 01.11.04; надрук. 15.05.05, Бюл. № 5.
2. Клец А. П. Экспериментальные исследования способа опережающей дегазации высоконагруженных лав / А. П. Клец, И. А. Ефремов, Б. В. Бокий // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. № 80. – С. 72 – 77.
3. Яремійчук Р. Освоєння та дослідження свердловин / Р. Яремійчук, В. Возний. – Львів, 1994. – 440 с.
4. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / В. Е. Забигайло, А. З. Широков, И. С. Белый [и др.]. – К. : Наук. Думка, 1974. – 270 с.
5. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных месторождений. – М. : Недра, 1980. – 303 с.
6. Забигайло В. Е. Выбросоопасность горных пород Донбасса / В. Е. Забигайло, В. В. Лукинов, А. З. Широков. – К. : Наук. думка, 1983. – 288 с.

Таблица 4– Прогнозные показатели дебита скважин опережающей дегазации

Шахта	Лава, пласт	Длина лавы, м	Индекс песчаника	Глубина залегания песчаника $H$ , м	Толщина песчаника $m_n$ , м	Коеф. эффективной пористости $k_{en}$ , %	Проницаемость, $k_{np}$ , $m^2 \cdot 10^{-15}$	Динамическая вязкость метана, $\mu_2$ , $Pa \cdot c \cdot 10^{-5}$	Дебит скважины $Q_c$ , $m^3/мин.$
«Алмазная» ГП «Добропольеуголь»	6 южная, $l_3$ , гор. 550 г	280	$l_6 S l_7$ $l_4^1 S l_5$	770	16,0	3,0	0,14	1,12	0,74
				810	21,0	2,0	0,05	1,13	1,12
									0,38
им. В.М. Бажанова ГП «Макеевуголь»	8 западная ук- лонного поля, $m_3$	250	$M_4 S m_4^1$	1180	19,0	2,6	0,10	1,18	1,41
«Бутовская» ГП «Макеевуголь»	5 западная, $n_1$	215	$n_1 S n_1^1$	1037	31,7	1,8	0,04	1,16	0,75
«Красноармейская- Западная № 1»	5 южная бл. 2, $d_4$	300	$d_4 S d_4^1$	570	17,3	3,6	0,25	1,10	0,82
«Чайкино» ГП «Макеевуголь»	4 западная ук- лонного поля, $m_3$	230	$m_4 S m_4^1$	1090	37,0	2,4	0,08	1,17	1,89
им. А.Ф. Засядько	18 западная, $m_3$	310	$m_4^0 S m_4^1$ $m_4^1 S m_4^3$	1260	8,0	2,18	0,07	1,19	0,45
				1243	26,0	2,04	0,05	1,19	1,46
									1,01