

4. Косторнов А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов: В 2 т. – К.: Наукова думка, 2003. – Т.2. - 550 с.
5. Сизоненко О.Н. Синергетический эффект в изменении фильтрационных характеристик пористых насыщенных жидкостью сред при электроразрядном воздействии // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. Вып.42.- Днепропетровск: Ин-т геотехн. механики НАН Украины.- - 2003. - С.173-186.
6. Сизоненко О.Н., Ляпис Д.Н., Буряк В.Н., Банько В.Н. Изменение фильтрационных свойств насыщенной пористой среды при электровзрывном воздействии // Электронная обработка материалов. – 1992. - №2. – С. 33 – 36.
7. Николаевский В.Н. Механика пористых и трещиноватых сред. - М.: Недра, 1984. - 232 с.
8. Быков И.Г., Николаевский В.Н. Нелинейные волны в пористых насыщенных средах // Докл. РАН. – 1993. – 328, №1. – С. 35 – 38.
9. Сизоненко О.Н., Райченко А.И., Косенков В.М. Поведение примесей в слабопроводящей пористой среде с флюидами при импульсном давлении, возбуждаемом электрическим разрядом // Порошковая металлургия. – 2006. - №11/12. – С. 3 – 12.
10. Бармин А.А., Дарагаш Д. И. О фильтрации раствора в пористой среде с учетом адсорбции примеси на скелет // Известия вузов. Механика жидкости и газа.- 1994.- № 4.- С. 97-110.
11. Сизоненко О.Н., Тафтай Э.И., Хвошан О.В. Исследование влияния рабочей среды на амплитуду импульсов давления при высоковольтных импульсных разрядах// Электронная обработка материалов. – 2005. - №2. – С. 45 – 49.

**УДК 622.411.332:533.17:622.357.1**

Инж. Д.П. Гуня  
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

### **ПОКАЗАТЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНА В ПОДРАБОТАННОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ НА ШАХТЕ ИМ. А.Ф. ЗАСЯДЬКО**

Виконано аналіз фільтраційних показників підробленого вуглепородного масиву за результатами роботи поверхневих дегазаційних свердловин.

### **INDICES OF METHANE FILTRATION IN THE UNDERMINING ROCK MASSIF ON MINE NAMED BY A.F. ZASYADKO**

The analysis of filtration parameters of a undermining rock massif by results of work degassing bore-holes, which were drilled from the surface is executed.

В работе [1], на базе экспериментальных исследований фильтрационных процессов, протекающих при частичной разгрузке массива в зоне влияния горных работ, рассмотрены коллекторские свойства и структура газоносных песчаников, а также определены значения их проницаемости.

Исследования, выполненные в условиях шахты им. А.Ф. Засядько, сводятся к определению интегрального коэффициента проницаемости,  $k_{пр}$  и коэффициента фильтрации,  $k_f$  подработанной толщи углепородного массива, а не отдельного песчаника. Процесс фильтрации метана из подработанного углепородного массива в скважину, пробуренную с поверхности с довольно корректным приближением можно описать уравнением Дарси

$$\bar{u} = - \frac{k_{пр}}{\mu} \text{grad}P, \quad (1)$$

где  $\bar{u}$  – вектор скорости фильтрации, м/с;  $k_{пр}$  – коэффициент проницаемости, м<sup>2</sup>;  $\mu$  – динамическая вязкость газа, для метана при условиях ниже критических ( $P_{кр} = 4,7$  МПа,  $T_{кр} = 190$  °К),  $\mu = 1,02 \cdot 10^{-5}$  Н·с/м<sup>2</sup> (0,0102 сП);  $gradP$  – градиент давления газа по линии его фильтрации,  $\frac{Н}{м^2 \cdot м}$ .

$$gradP = \frac{P_{пм} - P_{раб}}{R_{эф}}, \quad (2)$$

где  $P_{пм}$  – давление в массиве, Н/м<sup>2</sup>. Принимается равным установившемуся, начальному давлению на устье скважины, сложенным с давлением газового столба от устья до забоя скважины;  $P_{раб}$  – рабочее давление на устье скважины, Н/м<sup>2</sup>;  $P_{раб} = 1/3 P_{пм}$ , для работы скважины при рациональной депрессии на углелородный массив;  $R_{эф}$  – средний радиус контура притока метана в скважину, м.  $R_{эф}$  определяется по плотности извлекаемых запасов метана  $P_{зап}$  в районе исследуемого массива и объёму извлеченного метана из скважины.

Преобразуя уравнение Дарси для инженерных расчетов, получим формулу для определения интегрального (по всей толщине углелородного массива) коэффициента газопроницаемости

$$k_{пр} = \frac{0,3 \cdot Q \cdot \mu \cdot R_{эф}}{P_{пм} \cdot h \cdot \pi \cdot d_{скв}}, \quad (3)$$

где  $Q$  – усредненный дебит скважины, м<sup>3</sup>/с;  $h$  – величина интервала перфорации скважины, м;  $d_{скв}$  – диаметр скважины в интервале перфорации, м.

Коэффициент фильтрации определяется с учетом свойств газа по формуле:

$$k_{ф} = k_{пр} \cdot \frac{\rho}{\mu}, \quad (4)$$

где  $\rho$  и  $\mu$  – соответственно плотность и динамическая вязкость метана.

Для анализа взяты семь поверхностных дегазационных скважин, пробуренных в породы кровли пласта  $m_3$  на уклонном поле шахты имени А.Ф. Засядько. Скважины бурились до начала ведения очистных работ на глубину 1100-1173 м, не достигая пласта  $m_3$  на 14–48 м. Стволы скважин были закреплены обсадными трубами диаметром 114–127 мм с цементацией затрубного пространства. Призобойный интервал длиной 180–290 м обсаживался перфорированными трубами и служил газоприемной частью скважин. До начала очистных работ в районе расположения скважин газовыделение из них было практически нулевое – отмечались следы метана с концентрацией 5–10 % на устье скважин. После пересечения забоем лавы проекции забоя скважины на пласт и разуплотнения углелородного массива в районе газоприемной части скважины начиналось интенсивное газовыделение с дебитом до 5–20 м<sup>3</sup>/мин 100 % метана. Затем, по

мере отхода лавы, дебит снижался на уровне 1,0–2,0 м<sup>3</sup>/мин. После этого скважины подсоединяли к сети газозаправочной станции.

Параметры фильтрации метана в дегазационные скважины приведены в табл. 1. Здесь надо отметить, что начальное давление на устье скважин замерено перед их включением в сеть, объем добычи, средний дебит метана и период работы скважин приведены по данным наблюдений на шахте. Плотность извлекаемых запасов метана  $P_{\text{зап}}$  в районе скважин определялась по методике, изложенной в [2], а средний радиус газопритока  $R_{\text{эф}}$  вычислялся, исходя из допущения, что площадь дренирования метана в скважину имеет форму круга.

Большие различия в продолжительности работы скважин объясняются преждевременным выходом их из строя. Основными причинами прекращения работы скважин являются: перекрытие ствола скважины горными породами при формировании мульды сдвижения выше выработанного пространства; заштыбовка скважин в начальный период работы с дебитом (5–20 м<sup>3</sup>/мин); заполнение скважин водой до уровня, при котором гидростатический напор воды превышает давление газа.

Как показывают результаты анализа (табл. 1) параметры фильтрации метана из подработанного углепородного массива в поверхностные дегазационные скважины колебались в следующих пределах: плотность ресурсов метана изменялась от 113 до 293 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> площади; плотность извлекаемых запасов  $P_{\text{зап}} = 45,1-122,8$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>; прогнозный коэффициент извлечения метана –  $K_{\text{прог}} = 0,23-0,57$ ; количество извлеченного метана из скважины составляло 0,89–4,0 млн. м<sup>3</sup>; средний дебит из скважины –  $Q = 0,02-0,17$  м<sup>3</sup>/с; средний радиус газопритока в скважину  $R_{\text{эф}} = 82-161$  м; интегральный коэффициент проницаемости –  $k_{\text{пр}} = 1,5-4,3$  мД, а реальный коэффициент извлечения метана поверхностной дегазационной скважиной  $K_{\text{извл}} = 0,12-0,43$ .

Учитывая, что скважины МТ-264 и МТ-284 были оснащены оборудованием для откачки воды и то, что из них было извлечено соответственно 3,87 и 4,0 млн. м<sup>3</sup> метана, можно сделать вывод о том, что они прекратили работу в напорном режиме в результате газоистощения окружающего углепородного массива. Поэтому параметры фильтрации метана из подработанного углепородного массива в эти скважины можно принять за определяющие, на которые необходимо ориентироваться при разработке проектов дегазации и добычи шахтного метана в аналогичных горногеологических условиях. То есть, при среднем дебите скважины  $Q = 0,04-0,17$  м<sup>3</sup>/с, радиус газопритока в скважину должен быть  $R_{\text{эф}} = 130-160$  м, интегральный коэффициент проницаемости углепородного массива  $k_{\text{пр}} = 3,0-4,0$  мД, а коэффициент извлечения метана  $K_{\text{извл}} = 38-43$  %.

Таким образом, анализ параметров фильтрации метана из подработанного углепородного массива в поверхностные дегазационные скважины в горногеологических условиях шахты имени А.Ф. Засядько показал, что в данных условиях ( $H = 1000-1200$  м,  $P_{\text{зап}} = 45-123$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>) необходимо ориентироваться на следующие усредненные параметры фильтрации метана в скважину: при дебите скважины  $Q = 0,1$  м<sup>3</sup>/с, радиус газопритока должен быть  $R_{\text{эф}} = 145$  м;

Таблица 1 – параметры фильтрации метана из подработанного массива и поверхностные дегазационные скважины

№ Скважины	Глубина скважины $L$ , м	Расстояние от забоя скважины до пласта $m_3$ , м	Величина интервала перфорации $h$ , м	Диаметр перфорирован. интервала, мм	Начальное давление на устье, МПа	Период работы, сут.	Плотность ресурсов метана $P_p$ , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	Подработано углей		Подработано песчаников		Плотность извлекаемых запасов $P_{зап}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	Прогнозный коэффициент извлечения, $K_{прог}$	Количество извлеченного метана, млн. м <sup>3</sup>	Средний дебит $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Средний радиус газопритока $R_{эф}$ , м	Интегральный коэфф. газопроницаемости $k_{пр}$ , мД	Коэффициент извлечения, $K_{извл}$
								Общая мощность $\Sigma m$ , м	Плотность извлекаемых запасов метана в углях, $P_y$ , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	Общая мощность $\Sigma m$ , м	Плотность извлекаемых запасов метана в песчаниках, $P_p$ , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>							
МТ-229	1101	25	244	73	3,6	791	242	2,50	32,4	68,0	64,7	97,1	0,40	1,25	0,02	91	1,5	0,20
МТ-241	1100	48	270	73	3,5	583	197	2,11	28,4	12,0	16,7	45,2	0,23	1,57	0,03	142	3,6	0,13
МТ-249	1104	25	284	73	3,6	329	265	1,32	16,7	57,5	62,2	78,9	0,26	0,89	0,03	94	2,2	0,12
МТ-264	1040	26	220	93	3,4	263	113	1,45	18,6	37,0	45,2	63,8	0,57	3,87	0,17	161	4,3	0,43
МТ-284	1110	14	180	93	3,0	1240	188	1,72	23,3	64,0	70,6	93,8	0,5	4,00	0,04	134	3,1	0,38
МТ-286	1156	14	252	93	3,8	400	241	3,00	35,1	66,9	87,7	122,9	0,51	1,30	0,04	82	2,1	0,25
МТ-287	1155	20	290	93	3,8	300	293	3,00	36,3	34,6	42,0	78,3	0,27	1,00	0,04	97	2,5	0,12

интегральный коэффициент проницаемости углеродного массива  $k_{пр} = 3,5$  мД, а коэффициент извлечения метана  $K_{извл} = 40$  %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевелев Г.А. Динамика выбросов угля, породы и газа. – К. Наук думка, 1989. – 160 с.
2. В.В. Лукинов. Методика расчета извлекаемых запасов метана из подработанного и надработанного углеродного массива / В.В. Лукинов, А.П. Клец, В.Г. Ильюшенко, В.В. Бобрышев, Б.В. Бокий, Д.П. Гуня, В.В. Фичев // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 37. – С. 62–69.

УДК 532.516

Кандидаты техн. наук В. И. Елисеев,  
В. И. Луценко (ИГТМ НАН Украины)

### ДИНАМИКА ПАРОВЫХ ПУЗЫРЕЙ И КРИСТАЛЛОВ В ДВУХКОМПОНЕНТНОМ РАСТВОРЕ

Сформульована математична модель руху двокомпонентного і трьохфазного перегрітого середовища. На прикладі розчину цукрози у воді отримані залежності росту парових бульбашок і зміни радіусів кристалликів цукру по мірі руху розчину.

### DYNAMICS OF BUBBLES OF VAPOUR AND CRYSTALS IN TWO-COMPONENTS SOLUTION

Mathematical model of movement of superheated environment two-components and three-phase are formulated. Dependences of growth of steam bubbles and changes of radiuses of crystals of sugar in process of movement of a solution are received by the example of a solution of sucrose in water.

**Введение.** В настоящее время вопросы тепломассообмена в многокомпонентных и многофазных системах приобретают большую актуальность в связи с развитием новых и усовершенствованием старых технологических процессов приготовления тех или иных продуктов пищевой, химико-технологической или металлургической продукции. В данной работе на основе общих законов тепло- и массообмена в многофазных системах рассмотрим некоторые основные закономерности динамики и роста паровых пузырьков и кристаллов в двухкомпонентном растворе сахарозы.

**Постановка задачи и основные уравнения.** Будем считать, что среда состоит из двух химически нейтральных компонентов: воды и сахарозы (раствор сахарозы) и трех фаз: жидкой (раствор), твердой (кристаллики сахара) и газообразной (пузырьки пара воды). Используя методологию работы [1], выпишем основные уравнения движения, теплообмена и массообмена, принимая во внимание, что между жидкой фазой и твердой, а также жидкой и газообразной фазами существует обмен массовыми и тепловыми потоками

$$\frac{\partial(n_c u_c)}{\partial x} + \frac{\partial(rn_c v_c)}{r \partial r} = 0, \quad (1)$$