

УДК 622.276.66

д.т.н. Садовенко И. А.,  
к.т.н. Инкин А. В.

(Государственное ВУЗ "НГУ", г. Днепрпетровск, Украина, Email: inkin@ua.fm)

## ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ДЕБИТА ГАЗА ИЗ СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОД УКРАИНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Предложена методика численной оценки размеров и формы трещины гидроразрыва для прогнозирования повышения проницаемости углеводородных пород и дебитов газа на Новомосковском каменноугольном месторождении.*

**Ключевые слова:** плотные коллекторы, гидравлический разрыв пласта, трещина, дебит газа.

**Введение.** Геологические оценки запасов газа слабопроницаемых коллекторов в мире и Украине зачастую намного превышают объемы традиционных запасов. Так, согласно данным управления энергетической информации (EIA), Украина занимает третье место в Европе и тринадцатое — в мире по ресурсам этого вида топлива, величина которых достигает 8 трлн куб. м, в то время как запасы традиционного газа в трех нефтегазоносных регионах страны (западном, восточном и южном) составляют не более 1 трлн куб. м [1]. Тем не менее, повышенный интерес к нетрадиционному газу как потенциальному источнику энергетической независимости возник только в последнее время. Во многом этому поспособствовал прогресс в его освоении американской компании Chesapeake Energy, благодаря которому США с 1990 по 2010 г.г. увеличили количество нетрадиционного газа в общей добыче с 10 до 40%, что снизило импорт сжиженного природного газа на 2,6% [2].

Вместе с тем, разработка нетрадиционных месторождений газа в Украине по американской технологии сопряжена с определенными трудностями и негативными последствиями для окружающей среды. Для проведения гидроразрыва горных пород используется дорогостоящее буровое оборудование для вертикально-горизонтального бурения. Создание сверхвысокого давления при гидроразрыве неглубоко залегающих коллекторов может

привести к повреждению скважин и фундаментов близко расположенных зданий, а для поддержания заданной пористости пласта после гидроразрыва применяются различные химикаты, соли органических кислот, отходы нефтепереработки, дизельное топливо и другие вещества, загрязняющие атмосферу, и подземные воды, используемые для водоснабжения.

**Постановка задачи исследований.** Эффективная разработка нетрадиционных ресурсов газа в Украине может быть осуществлена путем обоснования комплексной технологической инфраструктуры извлечения газа из плотных пород с применением современных технологий активизации газовыделения и адаптации этих технологий к отечественному оборудованию. В связи с этим, целью данной работы является оценка фильтрационных свойств и газоотдачи плотных коллекторов Новомосковского каменноугольного месторождения в результате проведения гидроразрыва пласта, основанного на имеющемся опыте прорывов низкопроницаемой углеводородной толщи на шахтных полях Западного Донбасса.

**Материал и результаты исследований.** В геоморфологическом отношении Новомосковское каменноугольное месторождение расположено на водораздельном плато правобережной части р. Самары и левобережной части р. Малой Терновки в пределах юго-западного крыла Днепровско-Донецкой впадины (рис. 1). Рельеф

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

территории представляет собой слабосхолмленную равнину, отметки которой колеблются от 127,5 м на северо-востоке до 62,0 м на юго-западе, сложенную древними и современными террасами, пологопадающими в сторону р. Днепр. В геологическом строении участвуют докембрийские кристаллические породы, осадочный комплекс девона, нижнего и среднего карбона, перми, триаса, юры, а также третичные и четвертичные образования. Тектоническое строение месторождения обусловлено наличием жесткого кристаллического фундамента, залегающего на сравнительно небольшой глубине, в связи с чем на месторождении четко вырисовывается система тектонических нарушений, обуславливающая сбросы с амплитудами до 50 м.

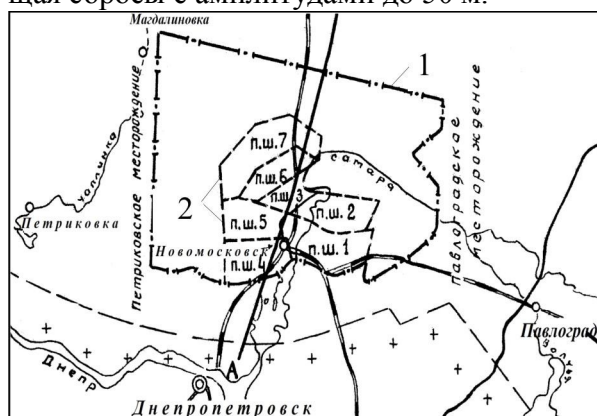


Рисунок 1 — Обзорная карта Новомосковского каменноугольного месторождения: 1, 2 — соответственно границы месторождения и шахтных полей

Важнейшими характеристиками угле-вмещающих пород Новомосковского месторождения как коллекторов природных газов являются их пористость и проницаемость, определяющие фильтрационную

способность и емкость угленосных отложений. На рисунке 2 и в таблице 1 приведены данные, иллюстрирующие изменения этих параметров [3]. Анализ кривых показывает, что пористость аргиллитов колеблется в пределах от 6,9 до 30,7%, при среднем значении 25,5%; алевролитов 1,7–39,6%, при среднем 20,1%; песчаников 3,6–47,0 %, при среднем 20 % и уменьшается с увеличением глубины залегания пластов. Относительно небольшое количество показателей проницаемости пород, обусловленной их пористостью и трещиноватостью, не позволяет установить каких-либо закономерностей ее изменения по площади или глубине в пределах залежи. Однако имеющийся объем опробований однозначно показывает значительное превышение проницаемости вмещающих пород в сравнении с углями, свидетельствующее о том, что основными путями миграции газа на месторождении являются песчаники, алевролиты и аргиллиты угленосной толщи.

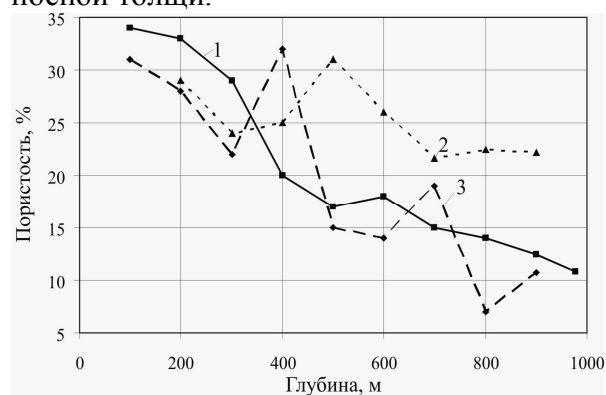


Рисунок 2 — Изменение пористости пород угленосной толщи Новомосковского месторождения с глубиной: 1, 2, 3 — кривые изменения пористости песчаников, аргиллитов и алевролитов соответственно

Таблица 1 — Значения проницаемости угле-вмещающих пород

| Интервал глубин, м | Проницаемость, $10^{-15} \text{ м}^2$ |           |          |       |
|--------------------|---------------------------------------|-----------|----------|-------|
|                    | Песчаник                              | Алевролит | Аргиллит | Уголь |
| 400-500            | 138,70                                | —         | —        | 0,038 |
| 500-600            | 12,63                                 | 5,55      | 11,0     | 0,050 |
| 600-700            | 12,32                                 | 125,00    | 8,7      | 0,063 |
| 700-800            | 28,70                                 | 3,50      | 6,2      | 0,058 |
| 800-900            | 22,02                                 | 0,26      | 5,9      | 0,031 |
| 900-1000           | 0,30                                  | 2,63      | 3,1      | —     |

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Природный газ, содержащийся в угольных пластах и породах Новомосковского месторождения, состоит из углекислого газа, метана, азота и водорода. Анализ его качественного состава (табл. 2) показывает увеличение содержания метана и уменьшение азота в смеси газов с глубиной по всей площади залежи. Количество метана возрастает до глубины 800 м (с 2,98 до 44,42%), а далее начинает снижаться до 29,9%. Для азота характерна обратная зависимость. Метаносность горных пород также повышается с глубиной, однако четкая закономерность ее изменения не прослеживается. Резко возрастая в интервале глубин 500–600 м (почти в 10 раз), в дальнейшем она незначительно варьирует в пределах 1–2 м<sup>3</sup> на тонну. По имеющимся данным можно сделать вывод, что максимальное содержание метана на исследуемой площади можно встретить на глубине 700–800 м.

Для увеличения проницаемости и газоотдачи выделенного интервала углеводородной толщи необходимо, с учетом специфики отечественного оборудования, произвести его гидравлический разрыв, который заключается в механическом воздействии на пласт избыточного давления, создаваемого закачиваемой через вертикальную скважину жидкостью. Поскольку на данных глубинах наименьшие напряжения в породном массиве ориентированы горизонтально, то образующаяся в результате разрыва трещина будет иметь вертикальную направленность [4]. Для прогноза дебита газа и фильтрационных свойств по-

род после гидроразрыва рассмотрим круговой пласт, в центре которого находится скважина, пересеченная симметричной вертикальной трещиной, горизонтальное сечение которой имеет эллиптическую форму, а вертикальное — прямоугольную (рис. 3).

Существенной особенностью трещины гидравлического разрыва, в значительной мере влияющей на продуктивные показатели пласта, является изменение ее геометрических размеров в пространстве.

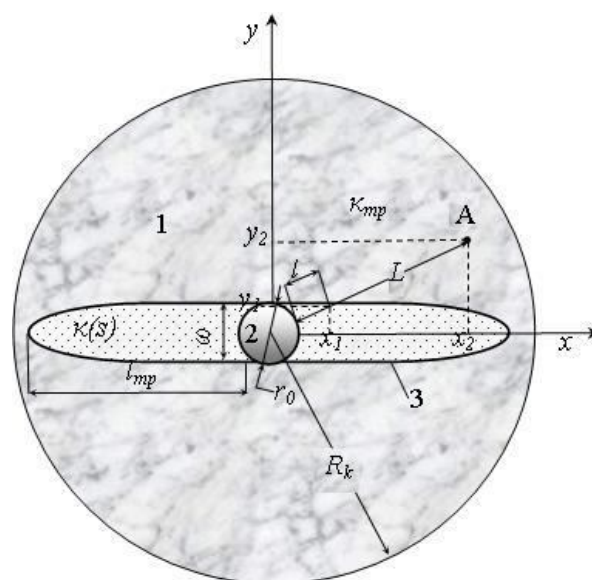


Рисунок 3 — Схема к расчету фильтрационных свойств слабопроницаемой углеводородной толщи, пересеченной вертикальной трещиной гидроразрыва (по нормали к горизонтальной плоскости  $x - y$ ): 1 — плотные песчаники; 2, 3 — скважина и трещина соответственно

Таблица 2 — Изменение качественного состава газа угленосной толщи с глубиной

| Интервал глубин, м | Состав газа, %  |                 |                |                | Метаносность м <sup>3</sup> /тонна |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------------------------|
|                    | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> |                                    |
| 400-500            | 5,98            | 2,98            | 86,28          | 4,76           | 0,092                              |
| 500-600            | 4,27            | 18,80           | 74,00          | 2,93           | 0,88                               |
| 600-700            | 4,09            | 31,21           | 59,81          | 4,89           | 1,75                               |
| 700-800            | 6,88            | 44,42           | 46,19          | 2,51           | 2,00                               |
| 800-900            | 2,58            | 30,82           | 65,30          | 1,30           | 1,50                               |
| 900-1000           | 3,50            | 29,90           | 66,60          | —              | 2,05                               |

Согласно ряду проведенных исследований [5, 6] высота вертикальной трещины в среднем равна мощности эксплуатируемого пласта и в несколько раз меньше ее длины, величину которой можно определить по следующим зависимостям

$$l_{mp} = \left( \frac{VQ\mu}{2\pi^2 h^2 n \cdot \kappa \cdot q} \right)^{0.5}, \quad (1)$$

$$l_{mp} = C \cdot \left( \sqrt{\frac{\mu \cdot t}{\kappa}} \right)^{0.5}, \quad (2)$$

где  $V$ ,  $\mu$  — соответственно объем и вязкость закачиваемой жидкости;  $h$  — толщина пласта;  $n, \kappa$  — пористость и проницаемость пород соответственно;  $q$  — боковое горное давление;  $C$  — коэффициент, зависящий от глубины разрыва пород;  $t$  — время закачки жидкости.

С помощью формул (1) – (2) был произведен расчет полудлины трещины образующейся в плотном коллекторе Новомосковского месторождения на глубине 750 м ( $h = 13,5$  м;  $n = 0,15$ ;  $q = 6,5$  МПа;  $C = 0,024$ ) при закачке жидкости через скважину ( $V = 5$  м<sup>3</sup>;  $\mu = 0,18$  Па·с). Анализ полученных кривых показывает (рис. 4, а), что определенные по формуле (1) значения несколько завышены в сравнении с показателями, рассчитанными по выражению (2). Отмечается улучшение сходимости результатов расчета по формулам (1) – (2) с увеличением начальной проницаемости пород. Для большей достоверности прогнозов отбора газа в дальнейших вычислениях будем использовать выражение (2).

Максимальная ширина образующейся трещины была определена в программной среде Mathcad по следующим формулам и эмпирическим зависимостям [7]

Геертсмана и Клерка —

$$\omega = \left( \frac{336}{\pi} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left( \frac{\mu Q l_{mp}^2}{h} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (3)$$

Ю. П. Желтова —

$$\omega = \frac{4(1-2\nu) \cdot (1+\nu) \cdot (P_c - q)}{3E} \cdot l_{mp}^{0.5}, \quad (4)$$

Перкинса-Керна —

$$\omega = 3,57 \left( \frac{\mu Q l_{mp}}{E'} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (5)$$

Метод "РКН" —

$$\omega = 3,27 \left( \frac{\mu Q l_{mp}}{E'} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (6)$$

где  $E'$  — модуль плоской деформации,  $E' = E / (1 - \nu^2)$ ;  $E$ ,  $\nu$  — соответственно модуль Юнга и коэффициент Пуассона углеводящей толщи ( $2 \cdot 10^{10}$  Па и 0,27);  $P_c$  — давление в скважине (45 МПа).

Анализ графиков (рис. 4, б), показывает хорошую сходимость полученных результатов. Максимальные отклонения между профилями ширины трещины, рассчитанными несколькими методами, не превышают 0,01 м и характерны только для зоны наибольшего расхода жидкости. Кроме того, в работе [5] была выполнена идентификация моделей Желтова и Перкинса-Керна с натурным объектом путем сопоставления результатов расчетов с экспериментальными данными, что позволяет использовать данные зависимости для корректного решения поставленных задач.

Для оценки фильтрационных свойств угленосных пород после гидравлического разрыва необходимо также знать форму и проницаемость формирующейся трещины. Изменение ширины трещины может быть описано моделью Перкинса-Керна, адекватность которой показана выше, а проницаемости трещины с учетом ее водо- и газосодержания — уравнением Чень-Чжун-Сяна [8]

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

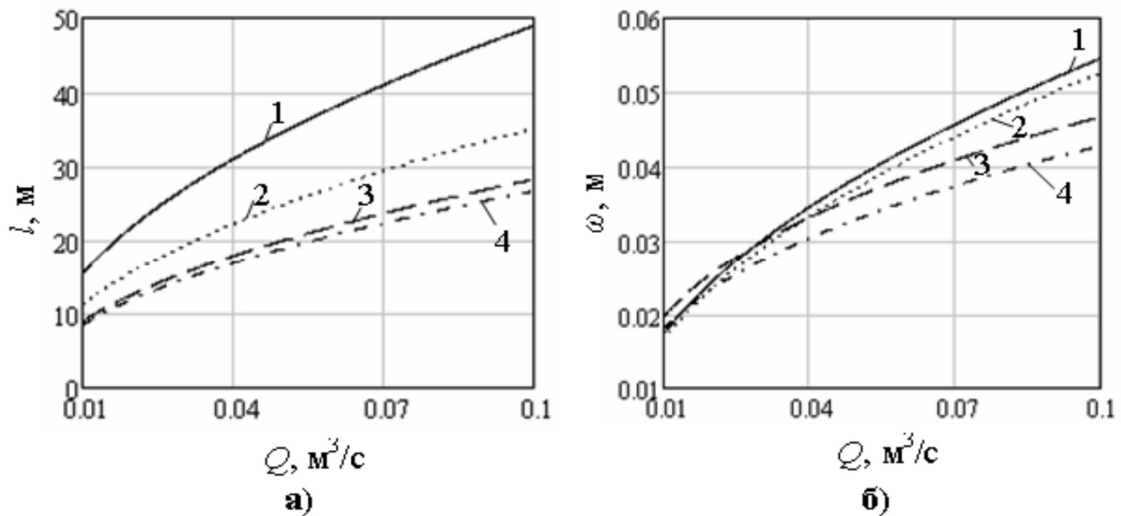


Рисунок 4 — Изменение размеров трещины гидроразрыва в зависимости от расхода закачиваемой жидкости ( $Q$ ):

а — полудлины ( $l_{mp}$ ), 1, 2, и 3, 4, определенной по формулам (1) и (2) при проницаемости пород  $10^{-14}$  и  $3 \cdot 10^{-14}$  м<sup>2</sup> соответственно;

б — ширины ( $\omega$ ), рассчитанной по зависимостям (3) – (6)

$$\omega(x) = \omega \cdot \left(1 - \frac{x}{l_{mp}}\right)^{\frac{1}{4}},$$

$$\kappa(s) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq s \leq 0,1, \\ \kappa_{mp} \cdot [(s-0,1)/0,9]^{3,5} \cdot (4-3s), & \\ \text{при } 0,1 \leq s \leq 1; \end{cases}$$

$$\kappa_{mp} = \frac{\omega^2}{12},$$

где  $\kappa_{mp}$ ,  $\kappa(s)$  — соответственно абсолютная и фазовая проницаемости трещины;  $s$  — газонасыщенность.

На рисунке 5 приведены изменения раскрытия и фазовой проницаемости трещины по ее длине, анализ которых подтверждает эллиптическую форму трещины в плане и показывает значительное влияние водосодержания наполняющих трещину расклинивающих агентов (пропантов) на величину ее проницаемости.

Средняя проницаемость внутри трещины может быть определена путем интегри-

рования профиля проницаемости по ее длине и за ее пределами — в произвольной точке углевмещающей толщ (см. рис. 3) из следующих выражений

$$\kappa_{mpA} = \frac{\kappa(s) \cdot l + \kappa \cdot (L-l)}{L};$$

$$L = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}, \quad l = \sqrt{x_1^2 + y_1^2};$$

$$y_1 = \frac{y_2}{x_2} \cdot x_1, \quad y_1 = \omega \cdot \left(1 - \frac{x_1}{l_{mp}}\right)^{\frac{1}{4}},$$

$$\frac{y_2}{x_2} \cdot x_1 = \omega \cdot \left(1 - \frac{x_1}{l_{mp}}\right)^{\frac{1}{4}},$$

где  $\kappa_{mpA}$  — средняя проницаемость в произвольной точке А плотного коллектора, пересеченного вертикальной трещиной гидроразрыва;  $L$ ,  $x_2$ ,  $y_2$  — расстояние до этой точки и ее координаты соответственно;  $l$ ,  $x_1$ ,  $y_1$  — координаты и расстояние до места пересечения профиля трещины с лучом, проведенным из скважины в точку А.

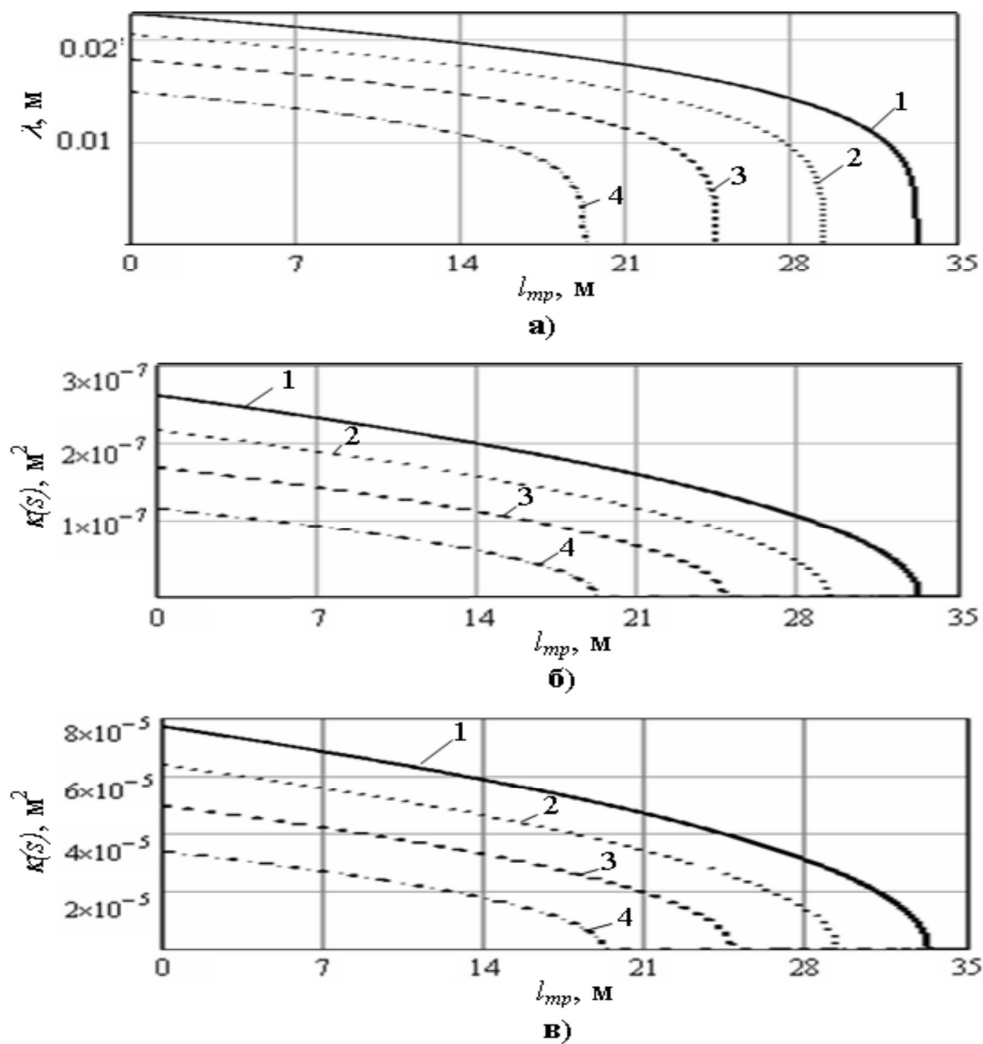


Рисунок 5 — Профили: а — раскрытия берегов ( $\lambda$ ); б, в — фазовой проницаемости ( $\kappa(s)$ ) трещины гидроразрыва при водосодержании заполняющего ее материала 0,8 и 0,3 соответственно: 1–4 — при расходе закачиваемой жидкости 0,09, 0,07, 0,05 и 0,03 м<sup>3</sup>/с

Представленные зависимости могут использоваться для оценки проницаемости коллекторов при проведении гидравлического разрыва. Детальное моделирование фильтрационных процессов вблизи трещин требует учета искривления линий тока, вызванного наличием в пласте высокопроницаемого включения. На рисунке 6 в горизонтальной плоскости приведены величины проницаемости плотных песчаников Новомосковского месторождения, расщеченных трещиной гидроразрыва и определенные в программной среде Mathcad по предложенной выше методике. Их анализ показывает, что изолинии проницаемости

являются эллипсами конфокальными трещине, при этом уменьшение их значений в пласте вдоль ширины трещины происходит на порядок быстрее, чем вдоль ее длины.

Прогноз дебита скважины после гидравлического разрыва может быть выполнен для условий, показанных на рисунке 3 (контур питания имеет форму круга и скважина, расположенная в начале координат, пересекается симметричной трещиной, параллельной оси  $Ox$  и проницаемостью  $\kappa(s)$ ) [8]

$$Q_2 = Q_0 \frac{\ln R_k / r_c}{\ln R_k / r_o}, \quad (7)$$

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

$$Q_0 = \frac{2\pi kh}{\mu_2} \frac{P_k - P_c}{\ln R_k / r_f},$$

$$\ln r_\omega = (1-\lambda) \ln r_\omega + \lambda \ln \frac{f}{2} + (1-\lambda) \cdot \lambda \ln(1-q^4),$$

$$q = \sqrt{\frac{l_{mp} - \omega}{l_{mp} + \omega}}, \quad \lambda = \frac{\kappa(s) - \kappa}{\kappa(s) + \kappa},$$

$$f = \sqrt{l_{mp}^2 - \omega^2}.$$

$$R_k^2 = a\sqrt{a^2 - l^2}, \text{ тогда}$$

$$Q_2 = \frac{2\pi kh}{\mu_2} \times \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - l^2}}{l_{mp}} + \frac{\sqrt{\kappa(s)} \cdot h}{2l_{mp}} \cdot \ln \frac{\sqrt{\kappa(s)}h + 4\sqrt{\kappa(s)} \cdot \delta^2 / h}{2r_c}}, \quad (8)$$

Для проведения сравнительных расчетов и учета перераспределения фильтрационного потока вблизи трещины, вызванного эллиптической формой изолиний проницаемости (рис. 6) и ортогональными им гиперболами линий тока, контур питания скважины может быть представлен эллипсом. При этом эллиптический и круговой контуры должны ограничивать равные по площади области:

где  $Q_0, Q_2$  — дебит скважины до и после гидроразрыва соответственно;  $R_k, r_c$  — радиусы контура питания и скважины;  $r_\omega$  — эффективный радиус скважины;  $\mu_2$  — динамическая вязкость газа;  $\delta$  — эксцентриситет;  $a, l$  — большая полуось и фокусное расстояние эллипса;  $P_k, P_c$  — давление на контуре питания и в скважине.

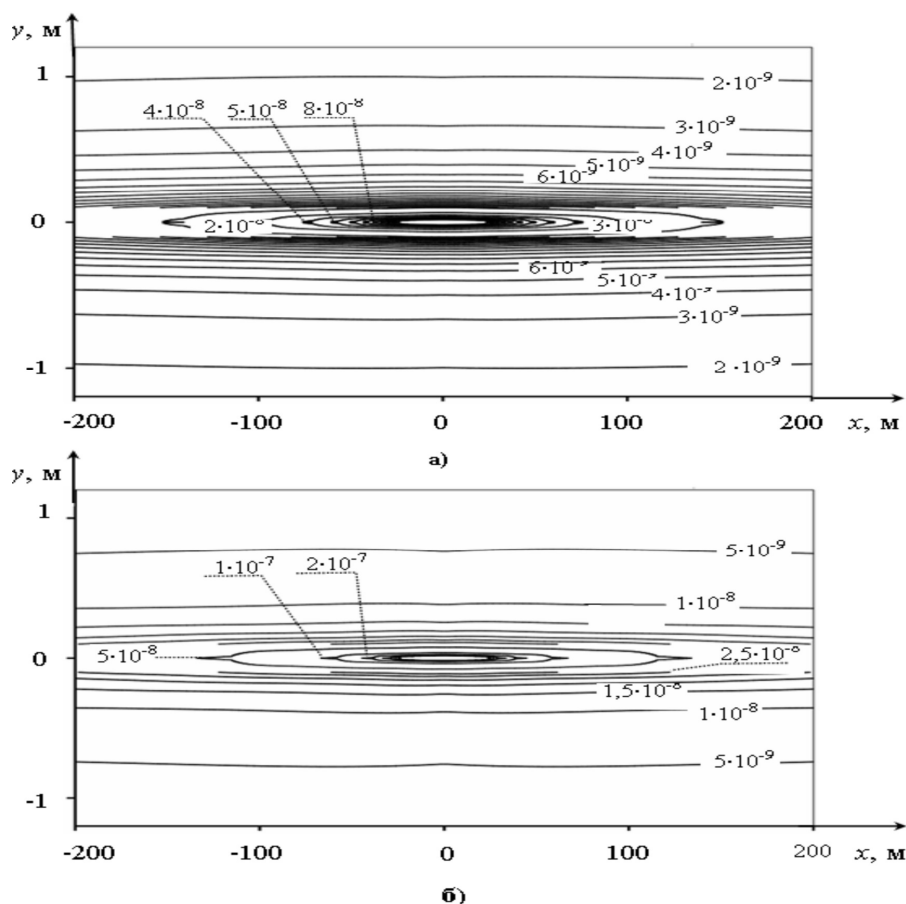


Рисунок 6 — Изолинии средней проницаемости ( $m^2$ ) вокруг трещины, образовавшейся в плотных песчаниках в результате гидроразрыва: а —  $Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $s = 0,2$ ; б —  $Q = 0,09 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $s = 0,2$

Результаты расчетов по формулам (7) и (8) для горно-геологических условий метаноносного участка угленосной толщи Новомосковского месторождения ( $R_k = 200$  м;  $r_c = 0,2$  м;  $P_k = 2$  МПа;  $P_c = 10^5$  Па;  $\delta = 0,1$ ;  $\mu_z = 1,5 \cdot 10^{-5}$  Па·с) показаны на рисунке 7. Графики безразмерных дебитов скважин демонстрируют хорошую сходимость результатов расчетов при круговом и эллиптическом контуре питания в соответствующих условиях. Эффективность гидравлического разрыва ( $Q/Q_0$ ) в пределах залежи увеличивается с уменьшением начальной проницаемости пород и колеблется от 1,9 до 2,8 в зависимости от расхода жидкости, подаваемой в скважину при гидроразрыве

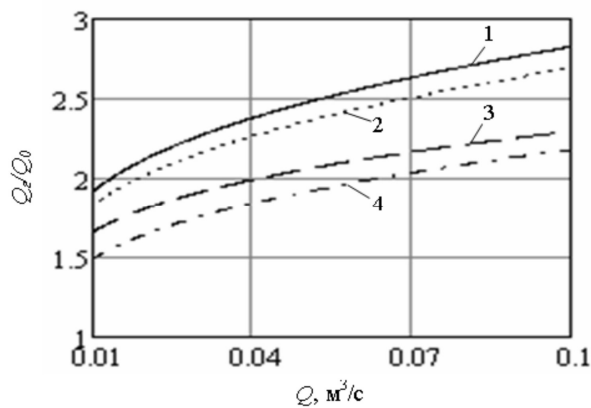


Рисунок 7 — Зависимость кратности увеличения дебита плотного коллектора от расхода жидкости, закачиваемой для его гидравлического разрыва: 1,2 и 3,4 — определенная по формулам (7) и (8) при начальной проницаемости углеводородных пород  $10^{-14}$  и  $5 \cdot 10^{-14}$  м<sup>2</sup> соответственно

### Библиографический список

1. США увеличили прогноз запасов сланцевого газа в Украине [Электронный ресурс]: "STATUS QUO" — 2013. Режим доступа: [http://www.sq.com.ua/rus/news/mezhdunarodnye\\_novosti/13.06.2013/ssha\\_uelichili\\_prognoz\\_zapasov\\_slancevogo\\_gaza\\_v\\_ukraine/](http://www.sq.com.ua/rus/news/mezhdunarodnye_novosti/13.06.2013/ssha_uelichili_prognoz_zapasov_slancevogo_gaza_v_ukraine/). — Название с экрана.
2. Сланцевый газ [Электронный ресурс]: Википедия. Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/сланцевый\\_газ](http://ru.wikipedia.org/wiki/сланцевый_газ). — Название с экрана.
3. Обобщение результатов изучения природной газоносности угольных пластов Западного Донбасса (Новомосковский район) [Отчет Новомосковской геологоразведочной экспедиции, книга 1] / А. С. Чигирин // Новомосковск. — 1984. — 162 с.
4. Герасименко С. А. Математическое моделирование горизонтальной скважины с эллиптической трещиной гидроразрыва / С. А. Герасименко, А. В. Стрекалов, А. С. Самойлов // Нефтегазовое дело. — 2012. — № 4. — С. 346–351.

**Выводы.** По результатам анализа геомеханических, емкостных и газодинамических свойств Новомосковского каменноугольного месторождения определен интервал углеводородной толщи, характеризующийся повышенной метаносностью при низкой проницаемости горных пород. Для увеличения фильтрационных свойств и газоотдачи выделенных коллекторов рассмотрен способ гидравлического разрыва, основанный на имеющемся в Украине промышленном опыте прорывов слабопроницаемых пород Западного Донбасса и адаптированный к отечественному буровому оборудованию. Обоснованная в работе методика оценки размеров, формы и фазовой проницаемости трещин, формирующихся в пласте при гидроразрыве, позволяет прогнозировать увеличение проницаемости углеводородных пород и темпов отбора газа на месторождении.

Сравнение результатов вычислений по различным эмпирическим зависимостям и формулам гидрогазодинамики показало точность приемлемую для решения практических задач.

На основе установленных закономерностей изменения конфигурации трещины гидроразрыва дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на разработке и верификации математической модели ее заполнения нетоксичными расклинивающими материалами для экологически безопасного закрепления трещины или отдельных ее участков.



5. Филонова В. Р. Моделирование гидравлического разрыва пласта в пористой среде: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук: спец. 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы" / Филонова (Тагирова) Василина Рифовна; МГУ имени М. В. Ломоносова. — Москва, 2008. — 24 с.

6. Wilsey L. E. Reservoir fracturing — a method of oil recovery from extremely low permeability formations / L. E. Wilsey, W. G. Bearden // *J. of Petrol. Technology*. — 1984. — № 8. — pp. 346–351.

7. Вольф А. А. Определение и обоснование зависимости геометрических характеристик трещины гидроразрыва от фильтрационно-емкостных свойств продуктивного пласта [Электронный ресурс] / А. А. Вольф, Д. В. Новоселов // *Территория Нефтегаз*. — 2012. — № 4. Режим доступа: <http://neftegas.info/territoriya-neftegaz/3235-opredelenie-i-obosnovanie-zavisimosti-geometricheskikh-harakteristik-treshchiny-gidrorazryva-ot-filtracionno-emkostnyh-svoystv-produktivnogo-plasta.html> — Название с экрана.

8. Подземная гидромеханика: учебн. [для вузов] / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Р. Д. Каневская, В. М. Максимов. — М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. — 496 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонДТУ Антощенко Н. И., д.г.н., проф. НГУ Довбиным М. М.*

*Статья поступила в редакцию 11.02.14.*

**д.т.н. Садовенко І. О., к.т.н. Інкін О. В.**

*(Державний ВНЗ "НГУ", м. Дніпропетровськ, Україна, Email: inkin@ua.fm)*

### **ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНЕ ЗБІЛЬШЕННЯ ДЕБІТА ГАЗА ІЗ СЛАБОПРОНИКНИХ ПОРІД УКРАЇНСЬКИХ РОДОВИЩ**

*Запропонована методика чисельної оцінки розмірів і форми тріщини гідророзриву для прогнозування збільшення проникності вуглевмісних порід і дебітів газу на Новомосковському кам'яновугільному родовищі.*

**Ключові слова:** щільні колектори, гідравлічний розрив пласта, тріщина, дебіт газу.

**Sadovenko I. O. Doctor of Engineering Sciences, Inkin O. V. Candidate of Engineering Sciences**  
*(NIS "NMU" Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: inkin@ua.fm)*

### **ENVIRONMENTALLY SAFE INCREASE IN GAS PRODUCTION FROM PERMIABLE ROCKS OF UKRAINIAN DEPOSITS**

*Technique of numeric evaluation of size and shape of hydraulic fracturing for the prediction of coal-bearing rocks and gas extraction permeability increase in Novomoskovsk coal deposit is suggested.*

**Key words:** tight reservoirs, hydraulic fracturing, crack, gas extraction.