

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Коликов Константин Сергеевич**

д-р. техн. наук, профессор

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский

технологический университет «МИСиС»

г. Москва

**Егорова Елена Александровна**

ведущий инженер

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский

технологический университет «МИСиС»

г. Москва

**Лунин Михаил Григорьевич**

канд. техн. наук, директор шахты «Талдинская-Западная-1»

ОАО «СУЭК-Кузбасс»

г. Ленинск-Кузнецкий, Кемеровская область

### **ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА В ЗОНЕ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ**

***Аннотация:** в статье выполнена оценка проницаемости угольного пласта в зоне дизъюнктивных нарушений. Установлено влияние геометрических параметров дизъюнктивного нарушения и модуля деформации вмещающих пород на изменение проницаемости угольного пласта под действием горного давления.*

***Ключевые слова:** газопроницаемость, газообильность, прогноз, угольный пласт, дизъюнктивное нарушение, сброс, горное давление, модель, дегазация.*

Анализ фактических данных об изменении метановыделения при подходе фронта очистных работ к геологическим нарушениям показывает, что в одних случаях наблюдается уменьшение метановыделения, а в других наоборот – увеличение [1]. Дебит дегазационных скважин, пробуренных на один и тот же пласт в разных крыльях дизъюнктивного нарушения, может отличаться в несколько раз.

Газопроницаемость углей, наряду с их газоносностью, является определяющим фактором при прогнозе газовыделения в горные выработки. Этот же фактор является одним из важнейших при оценке перспективности участков угольного пласта с точки зрения промышленной добычи метана.

Фильтрационные параметры угольных пластов, помимо физико-механических свойств и трещиноватости, зависят от внешних геодинамических факторов. Наиболее существенным фактором, влияющим на проницаемость и, как следствие, газообильность, является неравномерное горное давление в угольном пласте, которое зависит от гипсометрии угольного пласта и геологических неоднородностей во вмещающих породах: стратиграфических, структурных и тектонических.

Для прогноза проницаемости угольных пластов в зоне влияния дизъюнктивных нарушений был использован метод численного моделирования физических процессов в среде COMSOL Multyphysics. Геометрическая модель, представленная на рисунке 1, включает угольный пласт мощностью 10м, пересеченный дизъюнктивным нарушением. В процессе моделирования, для оценки влияния различных физико-механических факторов на изменение относительной проницаемости пласта, изменялись как физические и упругие характеристики вмещающих пород, так и угол наклона нарушения. Характеристика вмещающих пород по случаям моделирования представлена в таблице 1.

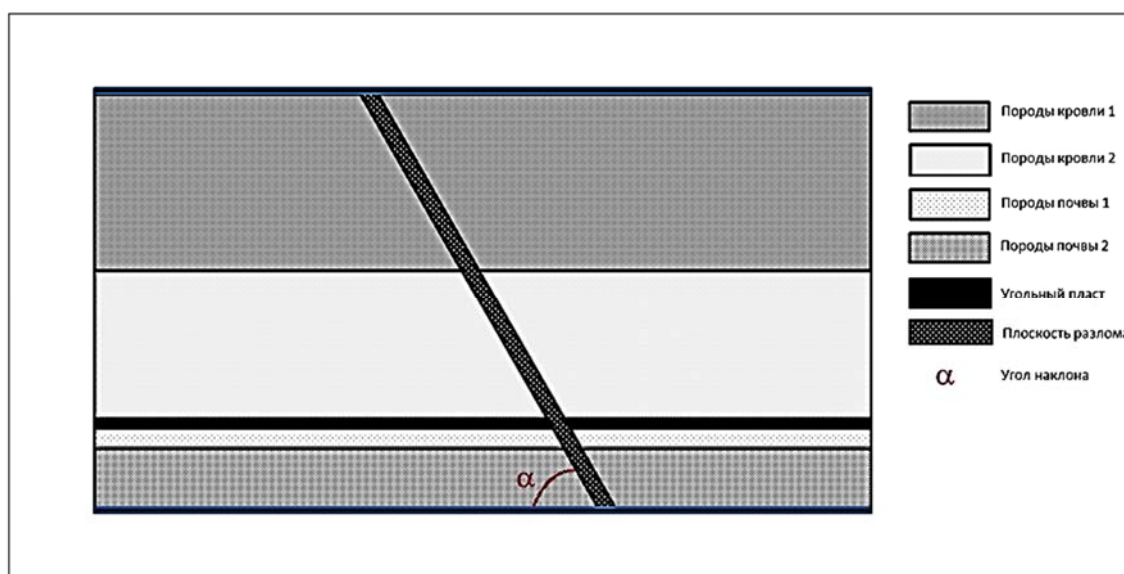


Рис. 1. Расчетная модель

Связь проницаемости и среднего давления, описанная в работах [2–4], имеет вид:

$$C = 1,013 \cdot 10^{-\beta \cdot \sigma}, \quad (1)$$

где  $C$  – проницаемость в мД;

$\beta$  – эмпирический коэффициент,  $\beta = 0,31 \cdot 10^{-6}$  Па (диапазон изменения  $\beta$   $(0,1 \dots 0,5) \cdot 10^{-6}$  Па);

$\sigma$  – среднее нормальное напряжение, Па;

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}$$

Таблица 1

## Исходные данные по случаям моделирования

| №        | Исходные данные   |                     |       |                       |          |
|----------|-------------------|---------------------|-------|-----------------------|----------|
|          | Породы            | $E, \times 10^9$ Па | $\mu$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\alpha$ |
| Случай 1 | Породы почвы 1    | 2,4                 | 0,22  | 2300                  | 30°      |
|          | Породы почвы 2    | 2,6                 | 0,22  | 2500                  |          |
|          | Угольный пласт    | 2                   | 0,33  | 1300                  |          |
|          | Породы кровли 1   | 2,31                | 0,22  | 2200                  |          |
|          | Породы кровли 2   | 2,31                | 0,22  | 2200                  |          |
|          | Плоскость разлома | 1,5                 | 0,3   | 2300                  |          |
| Случай 2 | Породы почвы 1    | 12                  | 0,22  | 2300                  | 30°      |
|          | Породы почвы 2    | 12                  | 0,22  | 2500                  |          |
|          | Угольный пласт    | 2                   | 0,33  | 1300                  |          |
|          | Породы кровли 1   | 10,7                | 0,22  | 2200                  |          |
|          | Породы кровли 2   | 10,7                | 0,22  | 2200                  |          |
|          | Плоскость разлома | 1,5                 | 0,3   | 2300                  |          |

Если известно значение проницаемости  $C_0$  при среднем напряжении  $\sigma_0$ , то проницаемость  $C$  при другом среднем напряжении  $\sigma$  составит (в системе СИ):

$$C = C_0 \cdot 10^{0,31 \cdot 10^{-6} \cdot (\sigma_0 - \sigma)} \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  – среднее напряжение в массиве, при котором известно значение проницаемости  $C_0$ .

На рисунке 2 показано распределение вертикальных напряжений по линии простирания пласта для случая 1 расчетной модели. Видно, что в правом крыле (крыло, образующее тупой угол с плоскостью разлома) имеется область повышенных напряжений по сравнению с левым крылом.

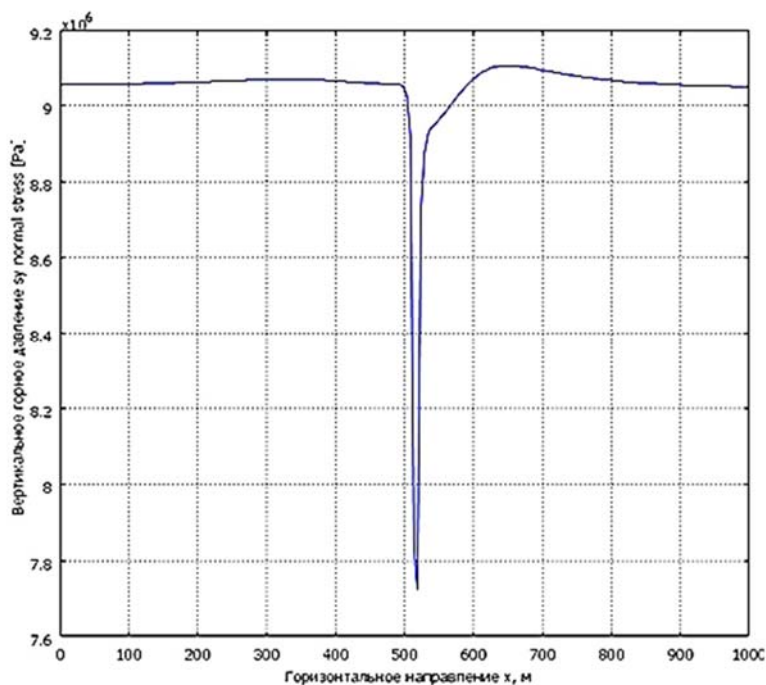


Рис. 2. Горное давление в пласте

На рисунке 3 показано изменение относительной проницаемости пласта  $C/C_0$ , рассчитанной по формуле (2). Изменение считалось отдельно для правого и левого крыла относительно точек, находящихся на значительном удалении от разлома (в данном примере  $C_0$  каждого крыла принималась проницаемость пласта в точке, находящейся на расстоянии 480 м от контакта с разломом). Из приведенных графиков следует, что в правом крыле, по мере приближения к разлому, будет существовать область с пониженной проницаемостью. Для заданных характеристик пород такое снижение составляет порядка 2%.

Для выяснения влияния деформационных характеристик вмещающих пород и нарушенных пород, слагающих разлом на изменение относительной проницаемости угольного пласта, была проведена оценка проницаемости для других исходных данных (случай 2). В данном случае модуль Юнга вмещающих пород значительно отличается от модуля Юнга пород, слагающих разлом. Результаты изменения относительной проницаемости представлены на рисунке 4.

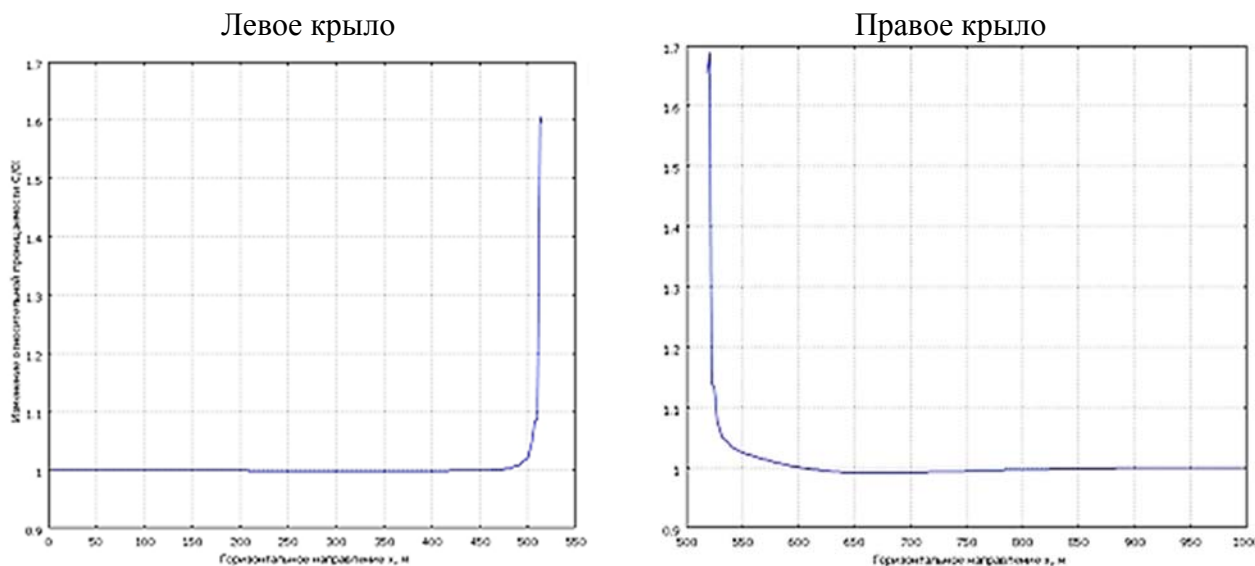


Рис. 3. Изменение относительной проницаемости пласта  $C/C_0$ , случай 1

В данном случае можно наблюдать, что относительная проницаемость левого крыла будет возрастать, начиная с 250–300 м при подходе к разлому, в то время, как в правом крыле будет наблюдаться область пониженной проницаемости (около 10% в данном случае).

На рисунке 5 показано изменение относительной проницаемости пласта при угле наклона плоскости разлома  $60^\circ$  в сторону левого крыла, прочностные характеристики пород в этом случае аналогичны случаю 2.

В данном случае в левом крыле также наблюдается область пониженной проницаемости (около 2%), в то время как в правом крыле снижение составит уже около 15%.

На рисунках 6–8 представлены результаты моделирования изменения проницаемости пласта для сбросового нарушения (характеристики пород и угол наклона плоскости нарушения аналогичны случаю 2).

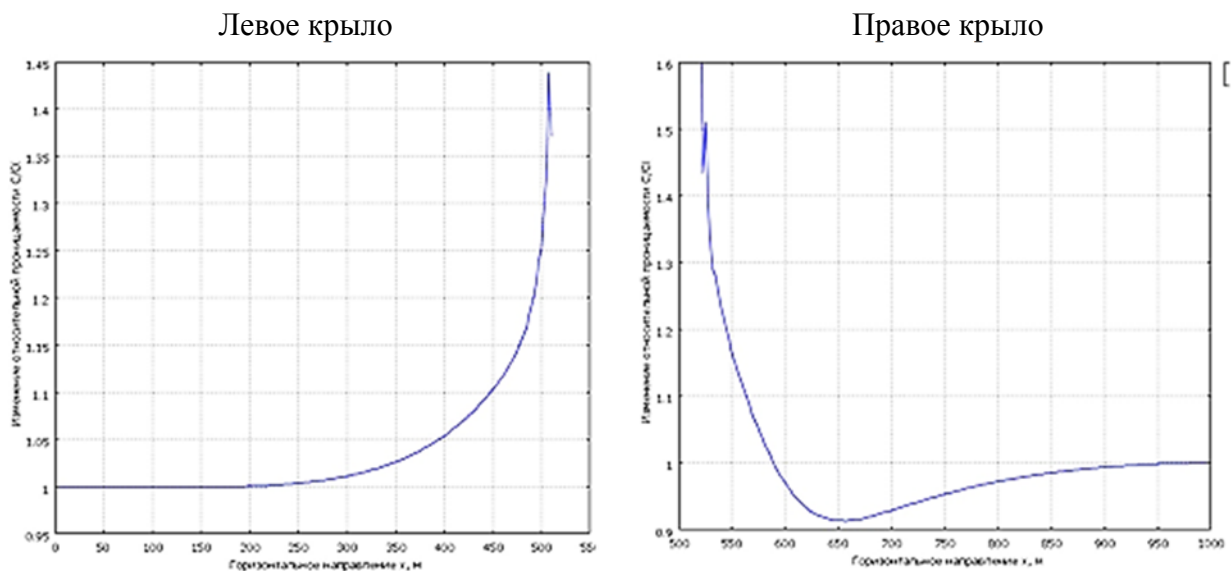


Рис. 4. Изменение относительной проницаемости пласта  $C/C_0$ , случай 2

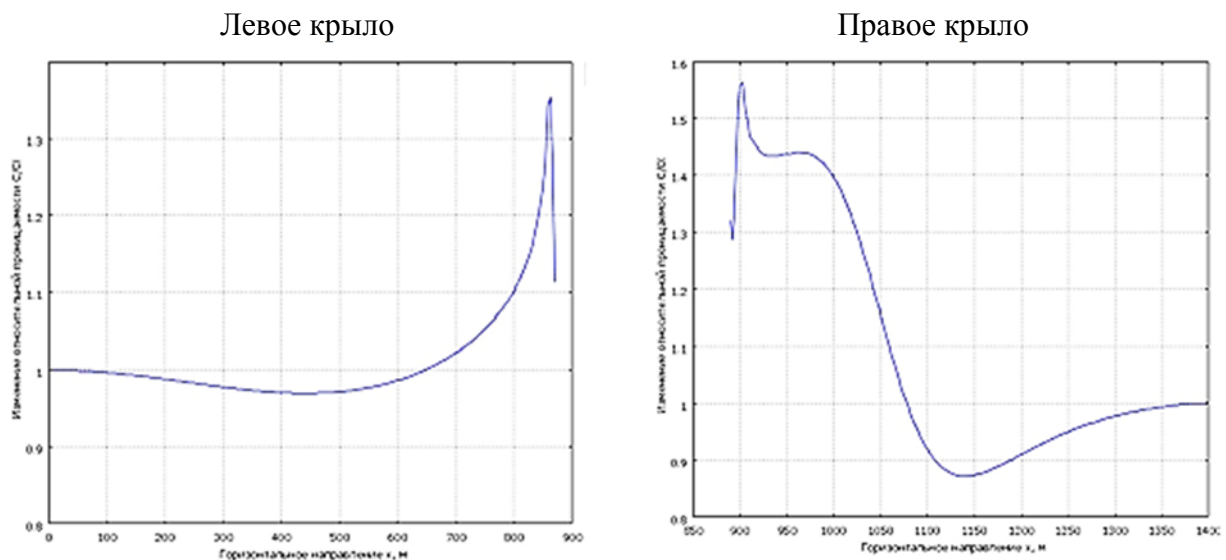


Рис. 5. Изменение относительной проницаемости пласта  $C/C_0$  при угле наклона плоскости разломи  $60^\circ$  в сторону левого крыла

Из рисунков 4–8 следует, на изменение относительной проницаемости пласта большое влияние оказывает угол наклона плоскости разлома значительно.

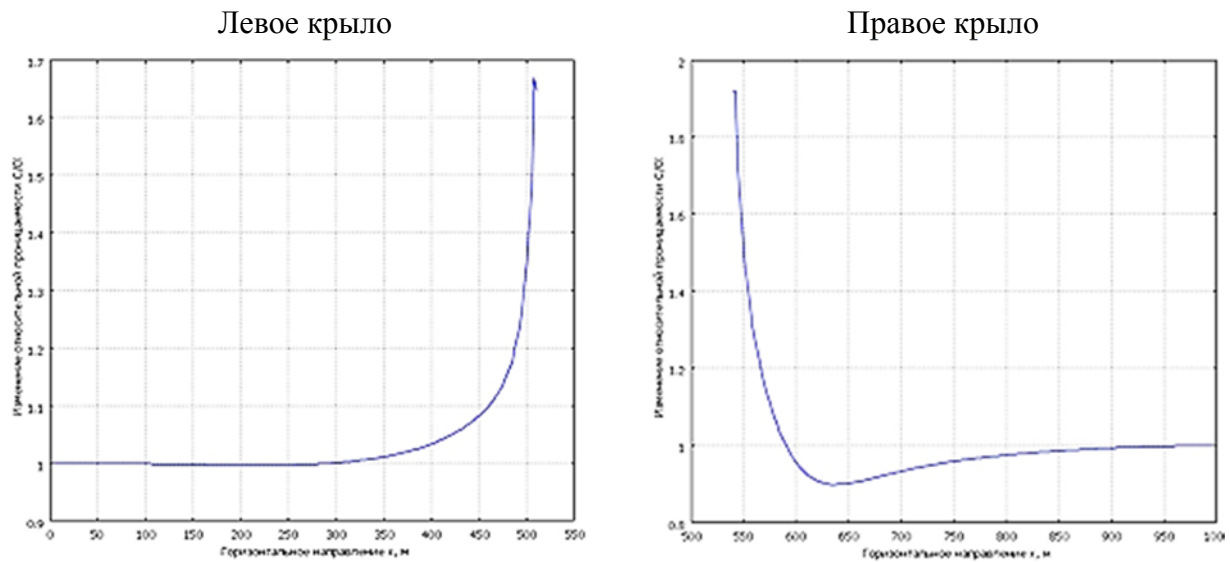


Рис. 6. Изменение относительной проницаемости пласта  $C/C_0$  при нарушении типа «сброс», амплитуда сброса 30м (опущено правое крыло), угол наклона угле наклона плоскости сброса  $30^\circ$  в сторону левого крыла

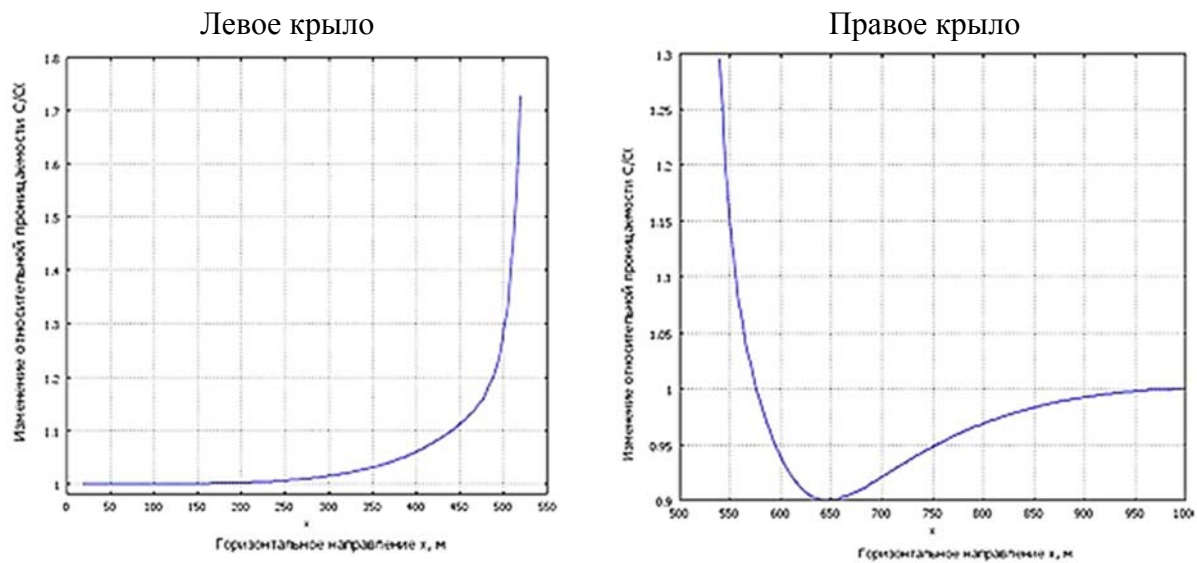


Рис. 7. Изменение относительной проницаемости пласта  $C/C_0$  при нарушении типа «сброс», амплитуда сброса 30м (опущено левое крыло), угол наклона угле наклона плоскости сброса  $30^\circ$  в сторону левого крыла



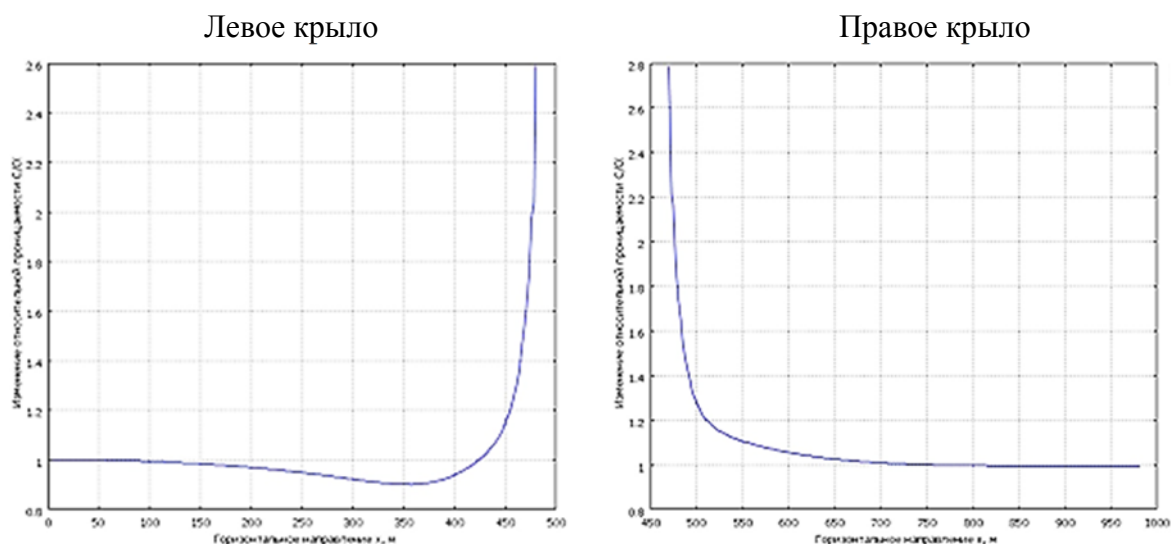


Рис. 8. Изменение относительной проницаемости пласта  $C/C_0$  при нарушении типа «сброс», амплитуда сброса 30м (опущено правое крыло), угол наклона угле наклона плоскости сброса  $30^\circ$  в сторону правого крыла

Таким образом, данный подход может быть использован для прогноза газопроницаемости и газообильности угольного пласта в зависимости от геометрии дизъюнктивного нарушения и прочностных характеристик вмещающих пород. Установлено, что на изменение относительной проницаемости угольного пласта большое влияние оказывают геометрия дизъюнктивного нарушения, в частности угол наклона плоскости нарушения, а также разница модулей деформации вмещающих пород и нарушенных пород, заполняющих разлом.

Угол наклона плоскости нарушения по-разному влияет на проницаемость пласта, расположенного с разных сторон от дизъюнктивного нарушения. В зависимости от угла наклона проницаемость пласта может как возрасти, что создает условия для его дегазации через разлом (в случае газопроницаемого разлома), так и уменьшиться, что приведет к накоплению метана в этих зонах.

Эти особенности поведения проницаемости позволяют выделить участки пласта, опасные по газовому фактору при подземной отработке угольных пластов, что необходимо учитывать как при планировании горных работ, так и при дегазационной подготовке угля. Ещё более важное значение эта особенность



приобретает при обработке выбросоопасных угольных пластов. С другой стороны, при решении задач промышленной добычи метана, данный подход позволяет прогнозировать благоприятные условия для заложения добычных скважин.

### ***Список литературы***

1. Окалелов В.Н., Лисянский П.Л. О метановыделении в окрестности геологических нарушений // Сборник научных трудов ДонГТУ. – № 37/2012. – С. 64–68.

2. Somerton, W.H., Soylemezoglu, I.M., and Dudley, R.C. Effect of Stress on the Permeability of Coal // Intl. J. Rock Mechanics Mineral Science and Geomechanics Abstracts (1975) 12, pages 129–145.

3. Chena Z, Panb Z, Liua J, Luke D. Connellb, Elsworthc D. Effect of the effective stress coefficient and sorption-induced strain on the evolution of coal permeability: Experimental observations // International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 5, Issue 5, September 2011, Pages 1284–1293.

4. Wang G.X., Massarotto P., Rudolph V. // An improved permeability model of coal for coalbed methane recovery and CO<sub>2</sub> geosequestration // International Journal of Coal Geology 77 (2009) 127–136.