

СЕКЦИЯ 6. ГЕОЛОГИЯ И РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 622.276

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ БАКЛИ–ЛЕВЕРЕТТА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MathCAD

В. А. Колодко, А. С. Колодко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Продемонстрировано решение одной из задач нефтегазовой отрасли по определению параметров вытеснения нефти водой. Отражена ее реализация с использованием возможностей программного обеспечения – среды математического пакета MathCAD. Представлены численное и графическое решения.

Ключевые слова: MathCAD, компьютерное моделирование, вытеснение нефти, дифференциальное уравнение, фазовая проницаемость.

STUDYING OF THE BUCKLEY–LEVERETT FUNCTION IN THE MATHCAD SOFTWARE PACKAGE

V. A. Kolodko, A. S. Kolodko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article demonstrates the solution of one of the problems of the oil and gas industry to determine the parameters of oil displacement by water. Its implementation is shown using the capabilities of the software – the environment of the mathematical package MathCAD. Numerical and graphical solutions are presented.

Keywords: MathCAD, computer simulation, oil displacement, differential equation, relative permeability.

Функция Бакли–Левретта позволяет определять графоаналитическими методами эффективные фильтрационные характеристики вытеснения нефти водой или газом, задаваясь лишь видом относительных фазовых проницаемостей. Она может быть получена из обобщенного закона Дарси:

$$v_B = -k \frac{k_B(s)}{\mu_B} \frac{\partial p_B}{\partial x}, \text{ м/с};$$

$$v_H = -k \frac{k_B(s)}{\mu_H} \frac{\partial p_B}{\partial x}, \text{ м/с}.$$

Пренебрежение капиллярным давлением на границе раздела фаз и почленное деление уравнений позволяет исключить градиент давления, решение его относительно суммарной скорости w двухфазного потока – получить формулу для функции насыщенности:

$$f(s) = \frac{k_B(s)}{k_B(s) + \mu_0 k_H(s)}.$$

Уравнение Бакли–Леверетта представляет собой дифференциальное уравнение неразрывности относительно производной функции Бакли–Леверетта. Его решение позволяет сделать важные выводы, сводящие определение параметров вытеснения к простым геометрическим построениям (рис. 2) [2].

Моделирование в программной среде позволяет проводить исследования и расчеты необходимых параметров быстро и сразу видеть результат. Простейшим методом является использование среды MathCAD, позволяющей реализовать решение дифференциального уравнения Бакли–Леверетта с помощью различных встроенных функций [3].

Ниже будет построена компьютерная модель на примере елецко-задонской залежи Южно-Александровского месторождения нефти. Зададим относительные фазовые проницаемости (ОФП) по эмпирическим формулам Чень-Чжун-Сяна, воспользовавшись оператором программирования *if*:

$$kv(s) := \begin{cases} (0) & \text{if } 0 \leq s \leq s_0 \\ \left(\frac{s - s_0}{1 - s_0} \right)^{3.5} & \text{if } s_0 < s \leq 1 \end{cases}$$

$$kn(s) := \begin{cases} \left(\frac{1 - s_{no} - s}{1 - s_{no}} \right)^{2.8} (1 + 2.4s) & \text{if } 0 \leq s \leq (1 - s_{no}) \\ (0) & \text{if } (1 - s_{no}) < s \leq 1 \end{cases}$$

Построим кривые относительных фазовых проницаемостей с помощью шаблона плоского графика *X–Y Plot* на панели инструментов *Graph*. Для этого зададим числовые значения параметров начальной водонасыщенности s_{no} и остаточной нефтенасыщенности s_o по скважине № 36. Результаты построения приведены на рис. 1.

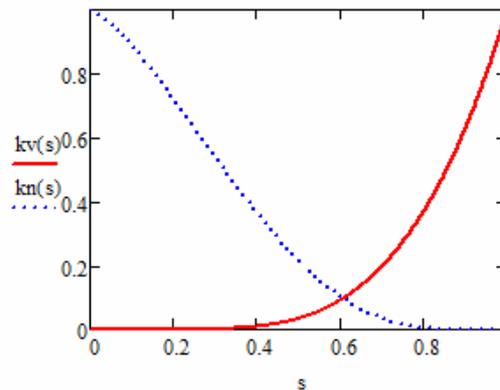


Рис. 1. Кривые относительные фазовые проницаемости

Зададим функцию Бакли–Леверетта для $\mu_0 = 0,179$. Определим значение фронтальной насыщенности s_c при помощи вычислительного блока, заключающего уравнение касательной к кривой $f(s)$ ключевым словом *Given* и функцией *Find*:

Given

$$f(s) = \left(\frac{d}{ds} f(s) \right) (s - s_0)$$

$$s_c := \text{Find}(s) = 0,615$$

На пересечении касательной к $f(s)$ в точке $(s_c, f(s_c))$ с $f = 1$ получим точку с абсциссой s' . Блочным методом определим абсциссу s_L , соответствующую точке пересечения прямой f_L с кривой $f(s)$. По аналогии с s' получим точку с абсциссой s'_0 на пересечении касательной к $f(s)$ в точке $(s_L, f(s_L))$ с $f = 1$ [1].

На рис. 2 графическим методом были определены параметры s_c, s', s'_0, s_L, s'_0 .

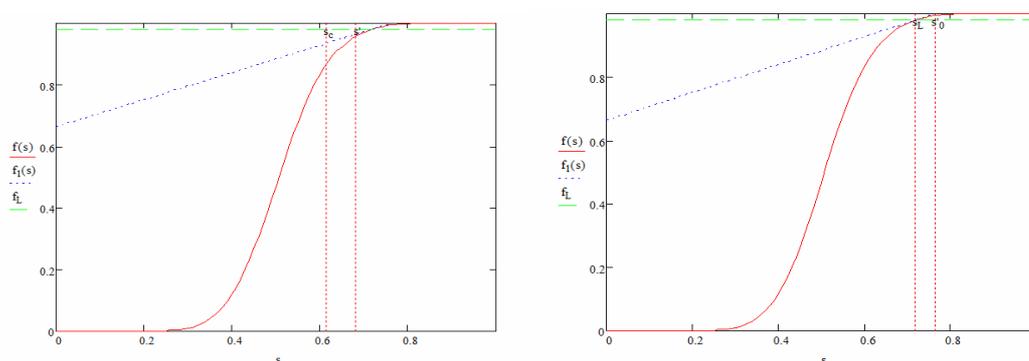


Рис. 2. Графическое определение параметров вытеснения

С помощью использования шаблона *Surface Plot* и параметрическим заданием функций координат была построена модель поверхностей изосат при плоскорадиальном вытеснении нефти водой (рис. 3).

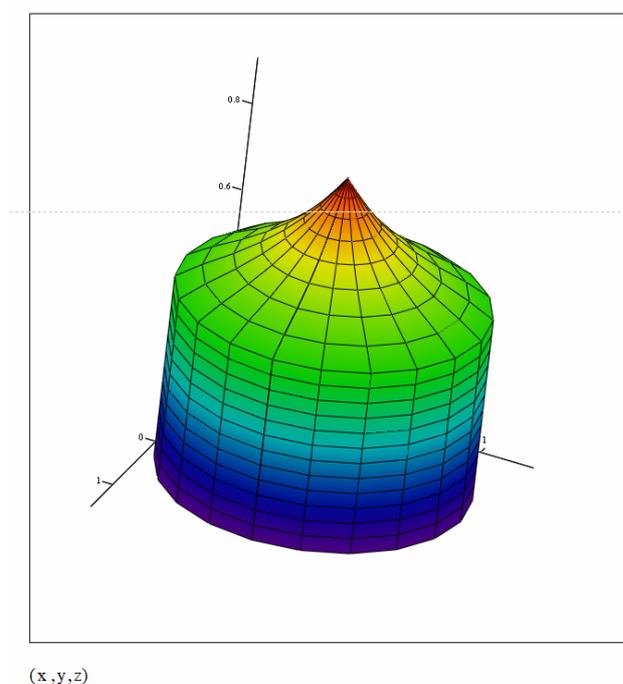


Рис. 3. Поверхность изосат при плоскорадиальном вытеснении нефти водой

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Использование компьютерного моделирования позволило оперативно определить параметры вытеснения для скважины № 36 Южно-Александровского месторождения, задаваясь лишь значениями начальной водонасыщенности и остаточной нефтенасыщенности.

2. Системы компьютерной математики позволяют реализовать сложные математические модели, что дает возможность повысить точность решения задач нефтегазовой отрасли, в частности, при разработке месторождений.

Литература

1. Григорян, Л. А. Математическое моделирование задачи разработки нефтяных месторождений. / Л. А. Григорян, Е. Ф. Тимофеева // Естественные и математические науки в современном мире : сб. ст. по материалам XVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2014. – 218 с.
2. Собин, А. М. Регулирование разработки нефтяных месторождений на основе выявленных закономерностей фильтрации флюидов в призабойной зоне скважины : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17 / А. М. Собин ; Ухт. гос. техн. ун-т. – Ухта, 2015. – 137 с.
3. Хайруллин, А. А. Разработка и исследование модели двухфазного непоршневого вытеснения нефти водой : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17 / А. А. Хайруллин ; Тюм. гос. нефтегаз. ун-т. – Тюмень, 2014. – 147 с.

УДК 620.172.242

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СЖИМАЕМОСТИ НИЗКОПОРИСТЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ

**И. Н. Степанкин, Р. Е. Гутман, А. М. Жуковский, А. Ю. Кравченко,
Е. Н. Ходьков, А. А. Василенко**

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящена оценке результативности комплексного исследования свойств горных пород, включающего тесты на сжимаемость по методам эффективного напряжения и истощения керновых образцов известняка с низкой пористостью.

Ключевые слова: горные породы, известняк, общая сжимаемость, сжимаемость зерна и порового пространства, пористость.

TO THE QUESTION OF ASSESSING THE COMPRESSION OF LOW-POROUS LIMESTONES

**I. Stsiapankin, R. Hutman, A. Zhukouski, A. Kravchenko,
Y. Khadz Kou, A. Vasilenka**

BelNIPIneft RUE «Production Association “Belorusneft”, Gomel

The work is devoted to assessing the effectiveness of a comprehensive study of the properties of rocks, including tests for compressibility using the methods of effective stress and depletion of core samples of limestone with low porosity.

Keywords: rocks, limestone, total compressibility, grain and pore space compressibility, porosity.

Актуальность определения показателей сжимаемости обусловлена необходимостью учета полученных данных при создании моделей месторождений, динамики их эволюции в процессе добычи, а также оценки состояния взаимных деформаций