

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИЗАЙНА КИСЛОТНЫХ СТИМУЛЯЦИЙ СКВАЖИН В КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ**

Г. Т. Булгакова, А. В. Пестриков, А. Р. Шарифуллин

*Уфимский государственный авиационный технический университет,  
math@mail.rb.ru*

Для большей глубины воздействия на карбонатный коллектор в последнее время на нефтепромыслах широко применяют так называемые большеобъемные селективные кислотные обработки (БСКО). Обработка ведется при давлении ниже давления гидроразрыва пласта. Селективная кислотная обработка позволяет блокировать наиболее проницаемые слои призабойной зоны пласта (ПЗП) гелеобразующим составом; избирательно воздействовать кислотной композицией на пропластки с наименьшей проницаемостью; более эффективно расходовать кислотную композицию; предотвратить увеличение притока воды в скважину за счет вовлечения в эксплуатацию нефтенасыщенных, ранее не работавших интервалов; уменьшить неоднородность ПЗП по проницаемости. Общий объем кислоты разбивается на несколько оторочек, закачиваемых в скважину поочередно с отклонителем. Такая технология СКО обеспечивает отклонение каждой последующей оторочки кислоты в низкопроницаемую зону. В целом кислотная обработка представляет собой последовательную закачку в скважину оторочек технологических жидкостей. Последовательность оторочек и их конфигурацию принято называть дизайном кислотной обработки. При правильном проектировании можно добиться помимо существенного прироста продуктивности еще и выравнивания профиля притока, что уменьшает риски обводнения.

При проектировании дизайна БСКО необходимо обоснованно рассчитывать скорость закачки реагентов, объем кислотного состава, объем отклонителя, количество циклов закачки рабочей жидкости, количество отклоняющих стадий, объем закачиваемой жидкости на каждом этапе для прогноза продуктивности скважины после обработки и оценки ожидаемой прибыли за счет проведения кислотной обработки. В соответствии с современными требованиями, расчет прогнозных показателей при проектировании большеобъемной селективной кислотной обработки должен базироваться на моделях основных физико-химических процессов с реализацией в виде программного продукта [1, 2]. Для скважин с неоднородным профилем проницаемости задача размещения кислоты по целевым интервалам не может быть корректно решена без математического моделирования. Кроме того, методы математического моделирования позволяют решать задачу технико-экономической оптимизации процесса обработки, моделируя варианты дизайна обработки с различными объемами, стадийностью рабочих жидкостей и исходными экономическими сценариями.

В работе представлены результаты математического моделирования процесса кислотного растворения неоднородных карбонатных коллекторов с использованием отклоняющих нелинейно-вязких жидкостей применительно к условиям вертикальных, наклонно-направленных и горизонтальных скважин. В ходе вычислительного эксперимента исследованы параметры, влияющие на улучшение фильтрационно-емкостных свойств коллектора, получены их оптимальные значения, обеспечивающие максимальную эффективность БСКО.

Разработанная математическая модель базируется на физических и химических принципах кислотного растворения карбонатов. Задача солянокислотной обработки карбонатных пластов рассматривается в рамках многокомпонентной изотермической фильтрации однофазной несжимаемой жидкости. Исходная система дифференциальных

уравнений в частных производных, моделирующих кислотную обработку, является нелинейной, и в общем случае может быть решена численными методами. Численная аппроксимация задачи основана на методе контрольных объемов [3]. Модель рассчитывает следующие процессы: гидравлический расчет движения стадий жидкостей по насосно-компрессорным трубам, распределение и течение жидкостей в неоднородном карбонатном коллекторе, растворение кислотой матрицы породы пласта, работу и влияние жидкостей-отклонителей.

В ходе математического моделирования БСКО на вертикальных скважинах установлена возможность получения максимальной эффективности процесса кислотного растворения при оптимальной скорости закачки реагента. Установлено, что кратность прироста дебита жидкости нелинейно зависит от объема кислотного раствора, оптимальный объем которого определяется в ходе экономической оптимизации процесса. На рис. 1 приведена расчетная зависимость эффективности воздействия от критерия подобия, аналогичному по смыслу числу Дамкелера, определенному как отношение скорости химической реакции к скорости конвективного переноса [4].

По разработанной математической модели поинтервальной кислотной обработки горизонтальной скважины выполнены модельные расчеты. Установлено, что уменьшение длины обрабатываемого интервала приводит к увеличению эффективности обработки, что выражается уменьшением скин-фактора скважины в сторону отрицательных значений. Как показали расчеты зависимость скин-фактора от длины интервала нелинейная, близкая к логарифмическому закону.

На рис. 2 представлена зависимость скин-фактора от скорости закачки кислоты. Согласно приведенной зависимости существует оптимальный режим закачки реагента в пласт, который позволяет достичь максимальной эффективности процесса (максимального прироста дебита), определяемый экстремумом данной функции.

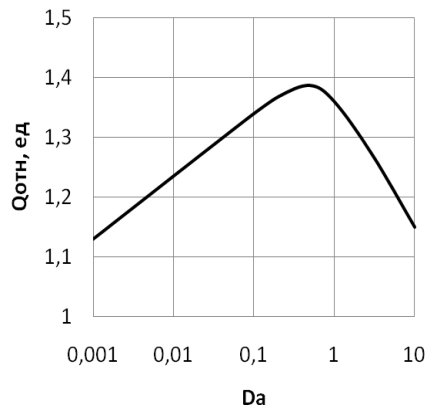


Рис. 1. Зависимость эффективности от числа Дамкелера

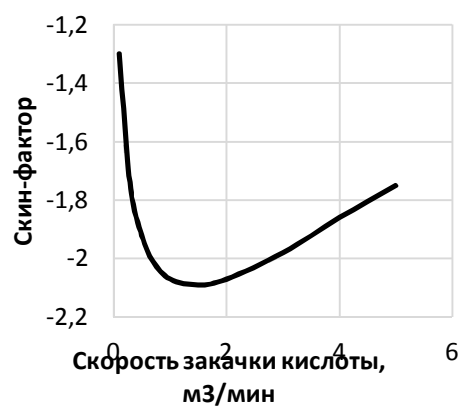


Рис. 2. Зависимость скин-фактора от скорости закачки

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Kalfayan L.J., Martin A.N.* The Art and Practice of Acid Placement and Diversion: History, Present State and Future // SPE paper 124141. 2009.
2. *Glasbergen G., Buijse M.* Improved Acid Diversion Design Using a Placement Simulator // SPE paper 102412-MS. 2006.
3. *Патанкар С.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат: Пер. с англ. 1984, 152 с.
4. *Fredd C.N., Fogler H.S.* Optimum Conditions for Wormhole Formation in Carbonate Porous Media: Influence of Transport and Reaction // SPE Journal. September 1999, № 3. P. 196–205.