

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК ТРЕЩИНЫ ГРП НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА

Г. Т. Булгакова, А. В. Блонский

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

Основное назначение соляно-кислотных обработок (СКО) в карбонатном пласте заключается в увеличении проницаемости коллектора в обрабатываемой зоне за счет увеличения объема пустотного пространства в породе при взаимодействии ее с кислотой. Эффективность любого вида кислотных обработок скважины определяется глубиной проникновения кислоты в пласт в активном состоянии, а также полнотой удаления продуктов реакции из скважины и призабойной зоны пласта. На сегодняшний день существуют различные технологии проведения кислотных обработок от кислотных ванн с «нулевой» скоростью обработки до критических скоростей с превышением давления разрыва и формированием кислотного гидроразрыва пласта (КГРП). Основными определяющими факторами для подбора технологии кислотных обработок являются свойства коллектора: минеральный состав, наличие трещиноватости (вторичной пористости), пластовая температура коллектора, мощность продуктивного пласта, наличие близлежащих газо- и/или водонасыщенных горизонтов, глубина залегания продуктивного пласта, наличие тектонических стрессов. Метод КГРП на низкопродуктивных доломитизированных пластах, на которых закачка кислоты в пласт крайне затруднительна из-за низкой приемистости, не дает длительного эффекта. КГРП создает короткие протравленные трещины. Для поддержания длительной продуктивности скважин требуется более глубокое проникновение кислотного состава в пласт. В связи с этим, для повышения гидропроводности трещин ГРП, в последние годы развивается технология «closed fracture acidizing» - кислотная обработка трещины ГРП при давлении ниже давления разрыва. Для прогноза эффективности кислотной обработки трещины разработана математическая модель процесса, основанная на законе сохранения массы кислотного состава, уравнении переноса кислоты в трещине.

Модель учитывает изменение ширины трещины вследствие кислотного растворения, утечки кислоты. Искомые функции давления, концентрации кислоты и ширины трещины в модели представлены как функции, зависящие от времени и пространственных переменных. Модель карбонатной породы построена при следующих предположениях: в центре, вдоль боковой поверхности, находится единственная трещина; кислота нагнетается с одной стороны вдоль трещины; утечки кислоты пронизывают матрицу перпендикулярно трещине. Система координат выбрана так, чтобы направление оси x совпадало с направлением распространения потока кислоты, направление оси z совпадало с направлением высоты трещины, и направление y было перпендикулярно поверхности трещины. Плоскость трещины совпадает с плоскостью $x - z$, утечки распространяются в направлении y . В качестве элементарного объема взят параллелепипед со сторонами $\Delta x, \Delta z$ и b , где b – переменная ширина трещины в точке (x, z) (рис. 1.). Исходная трехмерная модель усредняется по высоте и ширине трещины. Модель кислотной обработки трещиноватых карбонатов была реализована численно с учетом неоднородности по пористости и проницаемости стенок трещины и фильтрационно-емкостных свойств пласта при постоянном расходе реагента на скважине. Неизвестные функции давления, концентрации кислоты и ширины трещины $P(x, t)$, $C(x, t)$, $b(x, t)$, соответственно, определяются системой уравнений (1) при заданных значениях вязкости μ , проницаемости k , пластового давления P_l ,

плотностей кислоты и породы ρ_a, ρ_m , соответственно, растворяющей способности кислоты β , коэффициента массопереноса k_g , коэффициента скорости утечек η , полуширины пласта w_m

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{12\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left(b^3 \frac{\partial P}{\partial x} \right) - 2 \frac{k}{\mu} \frac{P - P_l}{w_m} &= \frac{\partial b}{\partial t}, \\ \frac{1}{12\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left(C b^3 \frac{\partial P}{\partial x} \right) - 2C \frac{k}{\mu} \frac{P - P_l}{w_m} - 2C k_g &= \frac{\partial(Cb)}{\partial t}, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} = \beta \frac{\rho_a}{\rho_m (1 - \phi)} \left(2k_g C + 2\eta \frac{k}{\mu} \frac{P - P_l}{w_m} C \right).$$

Численные расчеты показали, что при начальной ширине трещины 0,03 – 0,1мм происходит только поверхностное выщелачивание стенок трещины кислотой. Максимальное проникновение кислоты в трещину доходит до 0,7 от длины трещины при скорости закачки 0,5 м³/мин и начальной ширине трещины 0,1мм. Минимальное проникновение кислоты в трещину составляет 0,23 от длины трещины при ширине 0,03мм и скорости закачки 0,1 м³/мин. Анализ расчетных зависимостей ширины трещины от глубины проникновения кислотного состава показал, что при ширине трещины 1-5 мм кислота распространяется по всей длине трещины даже при скорости закачки менее 1м³/мин, рис.2. Таким образом, глубина проникновения кислоты в трещине увеличивается с увеличением ширины трещины и скорости закачки. Максимальное увеличение ширины трещины достигается на входе при малых скоростях закачки.

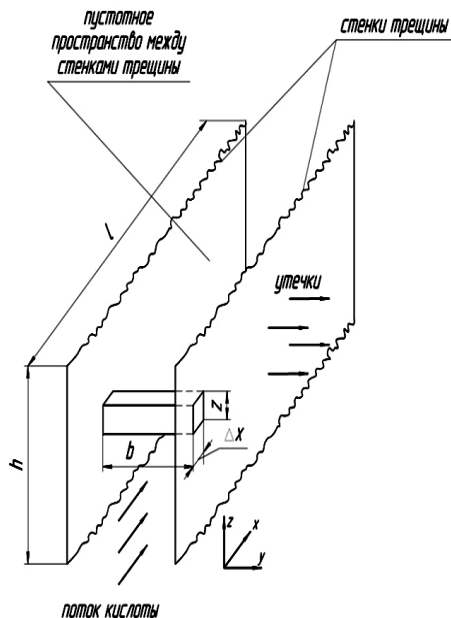


Рис.1 Геометрия задачи

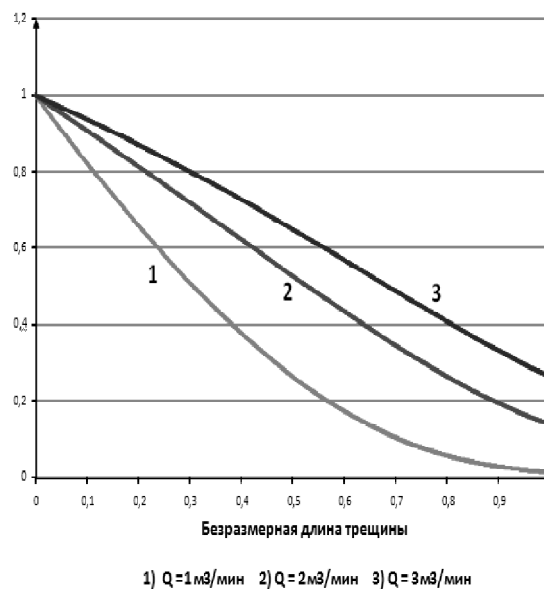


Рис.2. Зависимость безразмерной концентрации кислоты от безразмерной длины трещины при различных скоростях закачки