

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРП В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРИТОКА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА ТРЕЩИНЫ

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРП В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРИТОКА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА ТРЕЩИНЫ

А.А. Воронков, ведущий специалист, ТПУ ЦППС НД

В настоящее время всё более актуальной становится задача эффективной разработки низкопроницаемых месторождений. В данных условиях для получения экономически оправданного притока в скважину зачастую необходимо массивированное проведение ГРП операций. С точки зрения технологии добычи возникает вопрос: как рассчитать оптимальные параметры создаваемой трещины для увеличения добычи в пластах с низкой проницаемостью (оптимальную проводимость трещины и, соответственно, длину и ширину трещины, подобрать проницаемость закачиваемого в трещину проппанта)? Целью данной работы является создание универсальной методологии нахождения оптимального дизайна трещины для неустановившегося и псевдоустановившегося режимов притока, а также, в частности, нахождение ответа на вопрос: как оптимальные параметры трещины зависят от отношения полного времени работы скважины к длительности неустановившегося режима притока?

Valko и Economides [1, 2] предложили единую методологию расчета оптимальных параметров трещины на основе концепции постоянного объёма трещины (Unified Fracture Design) при предположении псевдоустановившегося притока. Данный подход основан на концепции безразмерного числа проппанта:

$$N_{prop} = I_x^2 C_{FD} = \frac{2k_f}{k} \frac{V_p}{V_r} \quad (1)$$

В рамках этой концепции для каждого числа проппанта, N_{prop} , существует такая оптимальная безразмерная проводимость трещины C_{FD} в условиях псевдоустановившегося [1] или стационарного [3] режимов притока, когда безразмерный индекс продуктивности максимален. Данный подход стал широко применяться даже для низкопроницаемых пластов, характеризующихся большой длительностью неустановившегося притока в скважину. Однако до сих пор не было установлено, насколько оптимальные параметры трещины, рассчитанные из предположения псевдоустановившегося притока, оптимальны при наличии длительного неустановившегося режима течения.

В данной работе на основе численных расчётов было предложено расширенное уравнение среднего безразмерного давления, которое имеет форму уравнения для псевдоустановившегося притока, однако описывает оба режима притока

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРП В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРИТОКА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА ТРЕЩИНЫ

неустановившийся и псевдоустановившийся. Это уравнение для скважины с трещиной конечной проводимости, дренирующей пласт квадратной формы, при условии постоянного дебита:

$$\bar{P}_D(C_{FD}, I_x, t_{DA}) = \frac{1}{2} \ln \frac{16}{\gamma C_A(I_x, t_{DA}) I_x^2} + f(C_{FD}, I_x, t_{DA}) \quad (2)$$

В уравнении (2) используется определение эквивалентного радиуса скважины, предложенное в работе [3], которое учитывает конечную проводимость трещины CFD , отношение полной длины трещины к протяженности стороны дренируемого объема квадратной формы, I_x , и зависимость решения от безразмерного времени анализа tDA . В данном уравнении функции $f(CFD, I_x, tDA)$ и $CA(I_x, tDA)$ являются расширением функций псевдо-скина (Cinco-Ley и Samaniego, [4]) и геометрического фактора пласта квадратной формы соответственно, и были получены при помощи нелинейной регрессии.

В данной работе предлагается универсальная единая методология расчёта оптимального дизайна трещины на основе концепции постоянного объема трещины. Основой данного подхода является уравнение (2), которое позволяет рассчитать оптимальные параметры на любой момент времени работы скважины с ГРП для обоих неустановившихся и псевдоустановившихся режимов притока. Уравнение (2) соответствует условию постоянного дебита скважины. Для полноты исследований при помощи методов деконволюции, было получено решение для изменяющегося дебита при условии постоянства забойного давления.

Для различных времён работы скважины $tpDA$ были рассчитаны два набора типовых кривых безразмерного индекса продуктивности $JD(CFD)$ (I_x и $Nprop$ в качестве параметров). Анализ типовых кривых показал, что в общем случае оптимальный дизайн трещины зависит не только от безразмерного числа проппанта $Nprop$ но и от времени работы скважины с ГРП:

$$C_{FDopt} = C_{FDopt}(t_{pDA}, N_{prop}) \quad (3)$$

Для фиксированного числа проппанта, $Nprop$, оптимальная безразмерная проводимость скважины $CFDopt(tpDA, Nprop)$ при условии постоянного дебита рассчитывалась из условия минимума функционала депрессии на момент времени работы скважины $tpDA$; при условии постоянного забойного давления из условия максимума накопленной добычи на момент времени работы скважины $tpDA$. Для иллюстрации на рис. 1 приведены $CFDopt(tpDA, Nprop)$ кривые для чисел проппанта $Nprop \leq 1.0$.

Для определённого диапазона величин безразмерного числа проппанта оптимальный дизайн трещины чувствителен к значению времени добычи для обоих граничных условий (постоянный дебит и постоянное забойное давление). В этом диапазоне эффект

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРП В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРИТОКА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА ТРЕЩИНЫ

неустановившегося притока изменяет значение оптимальной проводимости трещины, что особенно важно для низкопроницаемых пластов, когда планируемое время работы скважины иногда меньше времени достижения псевдоустановившегося притока. Если же время работы скважины больше времени достижения псевдоустановившегося притока, то пределом оптимальной проводимости трещины является оптимальная проводимость трещины, рассчитанная в рамках «традиционной» методологии [1,2] при предположении псевдоустановившегося притока.

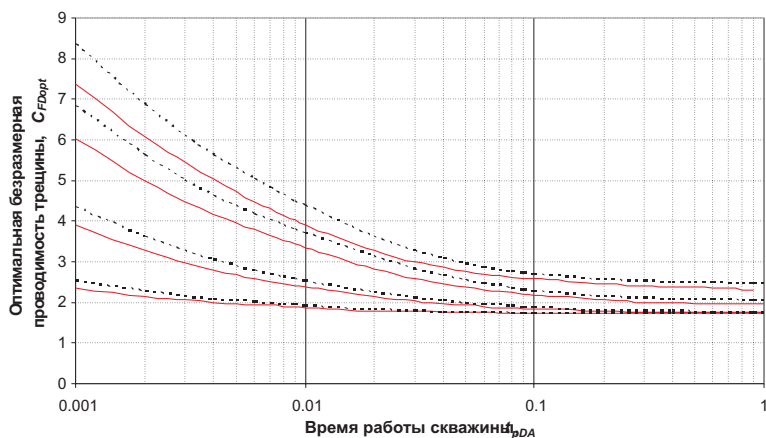


Рис. 1 Оптимальная безразмерная проводимость трещины как функция времени работы скважины и числа проппанта

Номенклатура

C_{FPD}	проводимость трещины, безразмерн.	N_{prop}	число проппанта, безразмерн.
I_x	отношение длины трещины к протяженности стороны пласта	V_p	объём трещины в продуктивном интервале, занятый проппантом, m^3
J_D	индекс продуктивности, безразмерн.	V_r	дренируемый объём, m^3
k	проницаемость пласта, mD	t_{DA}	безразмерное время на основе площади A
k_f	проницаемость проппанта в трещине, mD	t_{rDA}	безразмерное время работы скважины на основе площади A

Литература

1. Economides, M.J., Oligney, R.E. and Valko, P.P.: Unified Fracture Design, (hardbound) Orsa Press, Houston, May 2002.
2. Romero, D.J., Valko, P.P. and Economides M.J.: Optimization of the Productivity Index and the Fracture Geometry of a Stimulated Well With Fracture Face and Choke Skins. Paper SPE 73758, 2002.
3. Rueda, J.I., Mach, J. and Walcott, D.: Pushing Fracturing Limits to Maximize Producibility in Turbidite Formations in Russia. Paper SPE 91760, 2004.
4. Cinco-Ley, H. and Samaniego-V.F.: "Transient Pressure Behavior for a Well with a Finite-Conductivity Vertical Fracture", Paper SPE 6014, 1976.