

Mini Frac

Приложение для анализа мини-ГРП

Для получения достоверных данных о геомеханических свойствах горной породы, пластовых условиях и свойствах жидкости гидроразрыва перед основным ГРП пласта проводится калибровочный тест - **мини-ГРП**. Мини-ГРП – это самый важный тест перед основной обработкой; определяется как относительно короткая по времени закачка, при которой используются все режимы работы насоса и относительно большие объемы жидкости разрыва. По параметрам, получаемым в результате анализа мини-ГРП с созданием малой по размерам трещины, калибруется модель основного ГРП и предсказывается поведение трещины большего размера.

С помощью приложения можно провести **анализ теста мини-ГРП** и рассчитать соотношение полудлины и ширины трещины, эффективность жидкости разрыва и коэффициент утечек – параметры, необходимые для планирования основного гидроразрыва.

Расчеты в приложении основаны на методике **Nolte-Shlyapobersky** (Нолта-Шляпоберского).

1. Входные параметры

h_p	Проницаемая мощность (утечек), м – предполагается, что отток за пределы проницаемого слоя отсутствует
h_f	Высота трещины, м
E	Модуль Юнга, атм – способность породы сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации
ν	Коэффициент Пуассона, д.ед. – отношение поперечного сжатия к продольному растяжению ($\partial e_x / \partial e_z$)
p_c	Давление смыкания трещины, атм

Табличные данные:

t	Время, мин – от начала нагнетания
q_i	Скорость закачки жидкости, м ³ /мин
p_{bh}	Забойное давление, атм
Включение в нагнетаемый объем*	Индикатор, принимающий значение 0 или 1: 1 – на протяжении периода нагнетания 0 – после остановки насоса
Включение в g-функцию*	Индикатор, принимающий значение 0 или 1: 1 – для всех точек, соответствующих прямой линии на кривой падения давления 0 – для остальных точек

Примечание:

* – устанавливаются пользователем самостоятельно в подгружаемой таблице Excel

2. Анализ мини-ГРП

Концепция K.Nolte по анализу кривых давления основана на наблюдении, что степень падения давления во время процесса смыкания трещины содержит полезную информацию об интенсивности процесса утечек. Он отличается от периода нагнетания, когда давления зависит от многих других факторов.



Предполагая, что площадь трещины расширяется вместе с постоянной экспонентой α и остается постоянной с остановкой насоса, в момент $(t_e + \Delta t)$ объем трещины определяется как:

$$V_{t_e} = V_i - 2A_e S_p - 2A_e g(\Delta t_D, \alpha) C_L \sqrt{t_e} \quad (2.1)$$

где безразмерный промежуток времени:

$$\Delta t_D = \Delta t / t_e \quad (2.2)$$

и функция двух переменных $g(\Delta t_D, \alpha)$ может быть получена интегрированием:

$$g(\Delta t_D, \alpha) = \frac{4\alpha\sqrt{t_D} + 2\sqrt{1+t_D} \times F\left[\frac{1}{2}, \alpha, 1+\alpha, (1+t_D)^{-1}\right]}{1+2\alpha} \quad (2.3)$$

В расчетных целях используется функция Грасгофа (g-функция).

G-функция является функцией безразмерного времени, связывающая время остановки (Δt) к общему времени закачки (t_e), предполагая при этом закачку с постоянным расходом.

В приложении по анализу мини-ГРП в качестве модели распространения трещины использовалась модель *PKN* (Перкинса-Керна-Нордгрена). При этом постоянная α принимается равной $\frac{4}{5}$.

Аппроксимация g-функции для данного значения α :

$$g\left(d, \frac{4}{5}\right) = \frac{1,41495 + 79,4125d + 632,457d^2 + 1293,07d^3 + 763,19d^4 + 94,0367d^5}{1 + 54,8534d^2 + 383,11d^3 + 540,342d^4 + 167,741d^5 + 6,49129d^6} \quad (2.4)$$

где d – безразмерное время.

Изменение давления соответствует выражению:

$$p = \left(p_c + \frac{S_f V_i}{A_e}\right) - (2S_f S_p) - (2S_f C_L \sqrt{t_e}) \times g(\Delta t_D, \alpha) \quad (2.5)$$

где p_c – давление смыкания, атм; S_f – жесткость трещины, Па/м; S_p – мгновенные утечки, м³/м²; C_L – кажущийся коэффициент утечек, м · мин^{1/2}

Коэффициент пропорциональности S_f , или жесткость трещины, для модели PKN определяется как:

$$S_f = \frac{2E'}{\pi h_f} \quad (2.6)$$

Модуль плоской деформации E' вычисляется через заданный модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν :

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} \quad (2.7)$$

Выражение (2.5) показывает, что снижение давления в период после остановки насоса будет следовать прямой линии тренда:

$$p = b_N - m_N \times g(\Delta t_D, \alpha) \quad (2.8)$$

где b_N – коэффициент смещения прямой, атм; m_N – коэффициент наклона, атм.

Кажущийся коэффициент утечек:

$$C_L = \frac{-m_N}{2\sqrt{t_e} S_f} \quad (2.9)$$

Коэффициент мгновенных утечек:

$$S_p = \frac{V_i}{2A_e} - \frac{b_N - p_c}{2S_f} \quad (2.10)$$

Предполагая нулевые мгновенные утечки, можно определить неизвестную полудлину трещины.

Полудлина трещины:

$$x_f = \frac{2E' V_i}{\pi h_f^2 (b_N - p_c)} \quad (2.11)$$

Ширина трещины:

$$\overline{w_e} = \frac{V_i}{x_f h_f} - 2g_0(\alpha) C_L \sqrt{t_e} \quad (2.12)$$

Коэффициент утечек в проницаемом слое определяется из кажущегося коэффициента утечек:

$$C_{L,res} = C_L \cdot \frac{1}{r_p} \quad (2.13)$$

$$r_p = \frac{h_p}{h_f} \quad (2.14)$$

Эффективность жидкости разрыва:

$$\eta_e = \frac{\overline{w_e}}{\overline{w_e} + w_{Le}} \quad (2.15)$$

$$\eta_e = \frac{x_f \cdot \overline{w_e} \cdot h_f}{V_i} \quad (2.16)$$