



Применение мультискважинной деконволюции при решении обратной задачи подземной гидродинамики

Докладчик
Крыганов Павел Викторович

Возможности мультискважинной деконволюции

Выбор скважин для ГТМ (СКО, РИР, ГРП и т.д.)

Определение добычных возможностей скважин с учетом интерференции

Оценка эффективности ППД

Оценка длин и ориентации трещин ГРП, автоГРП

Выделение границ и их свойств (подтверждение данных сейсморазведки)

Определение влияния соседних скважин

Определение фильтрационных параметров околоскважинного и межскважинного пространства

Минимизация погрешности измерения дебитов

Конволюция и деконволюция

Конволюция или **свертка** – вид интегрального преобразования, который можно определить как «схожесть» одной функции с отражённой и сдвинутой копией другой:

$$f * g = w$$

$$w(x) = f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-y)g(y)dy = \int_{-\infty}^{+\infty} f(y)g(x-y)dy$$

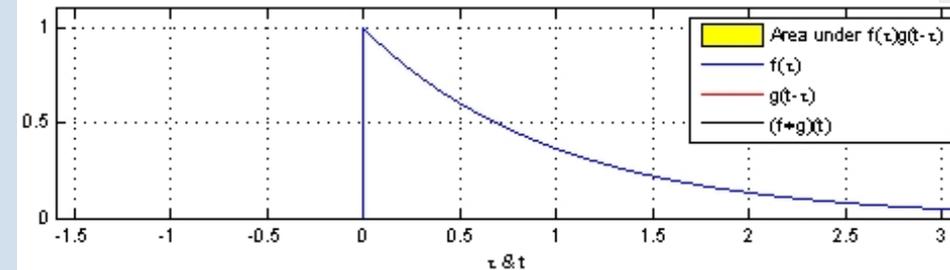
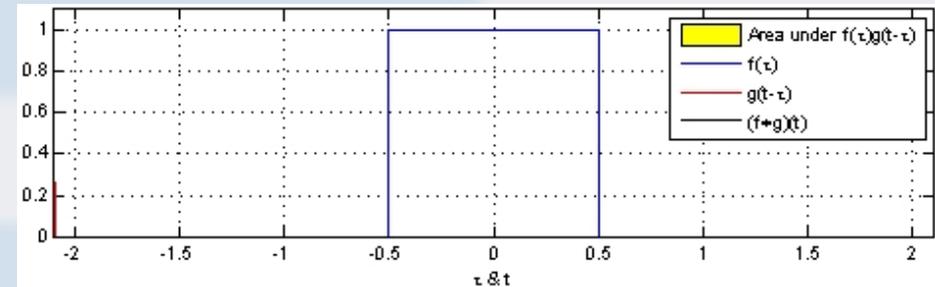
$$w(x) = \sum_{y=0}^{\infty} f(x-y)g(y) = \sum_{y=0}^{\infty} f(y)g(x-y)$$

w — зарегистрированный сигнал (получен путём свёртки сигнала g с некоторым известным сигналом f)
 g — сигнал, который требуется восстановить

Если сигнал f неизвестен, его необходимо оценить.

Деконволюция или **обратная свертка** – это математическая операция, обратная свёртке сигналов. Целью деконволюции является поиск решения уравнения свёртки.

Применительно в подземной гидродинамике - определение функции самовлияния g по имеющимся замерам забойного давления P_w и дебита q называется деконволюцией (односкважинной).



$$P_w(t) = P_0 - q(t) * g(t) = P_0 - \int_0^t q(\tau)g(t-\tau)d\tau = P_0 - \int_0^t q(t-\tau)g(\tau)d\tau$$

Функции влияния и самовлияния

В общем виде уравнение притока жидкости

$$P_w(t) = P_0 - \sum_{j=1}^N q(t_j) g(t - t_j)$$

В случае вертикальной скважины в однородном бесконечном пласте уравнение притока жидкости

$$P_w(t) = P_0 - 21,5 \frac{B\mu}{kh} \left\{ \sum_{j=1}^N [-(q_j - q_{j-1}) l g(t - t_{j-1})] + q_N \left[l g\left(\frac{k}{\phi \mu c_i r_w^2}\right) - 3,0923 + 0,8686S \right] \right\}$$

В случае работы сразу нескольких скважин, влияющих друг на друга, уравнение притока после применения свертки

$$P_{w,i}(t) = P_0 - q_i(t) * g_i(t) - \sum_{l=1}^M q_l(t) * g_{l,i}(t), \quad l \neq i$$

g_i – функция самовлияния i -ой скважины,

$g_{l,i}$ – функция влияния скважины l на скважину i ,

M – количество скважин

$$P_{w,i}(t) = P_0 - \int_0^t q_i(\tau) g_i(t - \tau) d\tau - \sum_{l=1}^M \int_0^t q_l(\tau) g_{l,i}(t - \tau) d\tau, \quad l \neq i$$

Функция влияния и самовлияния

Предлагается представлять функции g_i и $g_{l,i}$ в виде суммы элементарных функций, характеризующих отдельные режимы фильтрации в пласте

$$\begin{aligned}
 P_{w,i}(t) = & P_0 + a_i \sum_{j=1}^N [-(q_{i,j} - q_{i,j-1}) \exp(t - t_{j-1})] + b_i \sum_{j=1}^N [-(q_{i,j} - q_{i,j-1}) \sqrt{t - t_{j-1}}] + \\
 & + c_i \sum_{j=1}^N [-(q_{i,j} - q_{i,j-1}) \sqrt[3]{t - t_{j-1}}] + d_i \sum_{j=1}^N [-(q_{i,j} - q_{i,j-1}) \lg(t - t_{j-1})] + \\
 & + e_i \sum_{j=1}^N [-(q_{i,j} - q_{i,j-1})(t - t_{j-1})] + f_i q_{i,N} + \\
 & + \sum_{l=1}^M \left\{ a_{l,i} \sum_{j=1}^N [-(q_{l,j} - q_{l,j-1}) \exp(t - t_{j-1})] + b_{l,i} \sum_{j=1}^N [-(q_{l,j} - q_{l,j-1}) \sqrt{t - t_{j-1}}] + \right. \\
 & + c_{l,i} \sum_{j=1}^N [-(q_{l,j} - q_{l,j-1}) \sqrt[3]{t - t_{j-1}}] + d_{l,i} \sum_{j=1}^N [-(q_{l,j} - q_{l,j-1}) \lg(t - t_{j-1})] + \\
 & \left. + e_{l,i} \sum_{j=1}^N [-(q_{l,j} - q_{l,j-1})(t - t_{j-1})] + f_{l,i} q_{l,N} \right\}, l \neq i,
 \end{aligned}$$

- Влияние ствола скважины представим в виде экспоненты,
- Билинейный поток – в виде корня четвертой степени
- Линейный поток – в виде квадратного корня
- Радиальный поток – в виде логарифма
- Влияние границ – в виде линейной функции

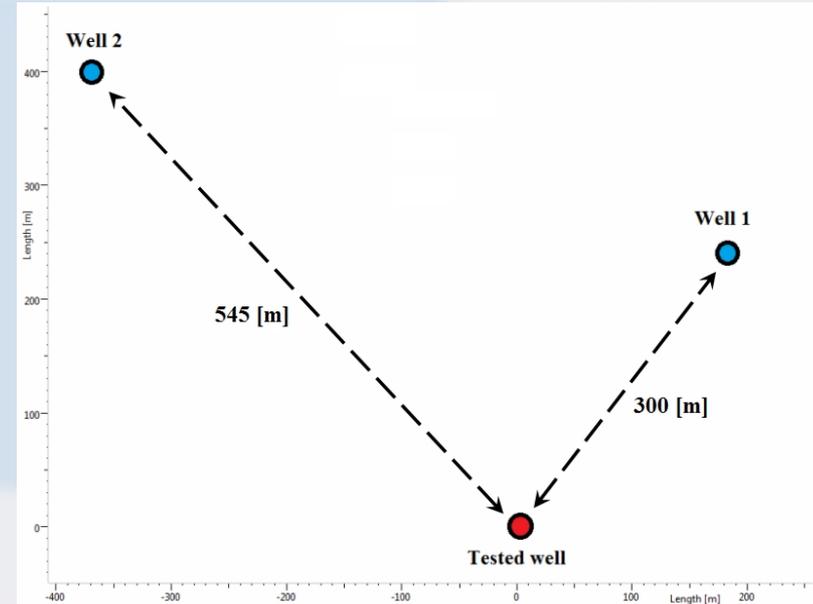
- Найти коэффициенты - деконволюировать кривую забойного давления
- Коэффициенты функций влияния и самовлияния представлены линейно, поэтому для их определения может использоваться метод Ньютона.

Применение мультискважинной деконволюции

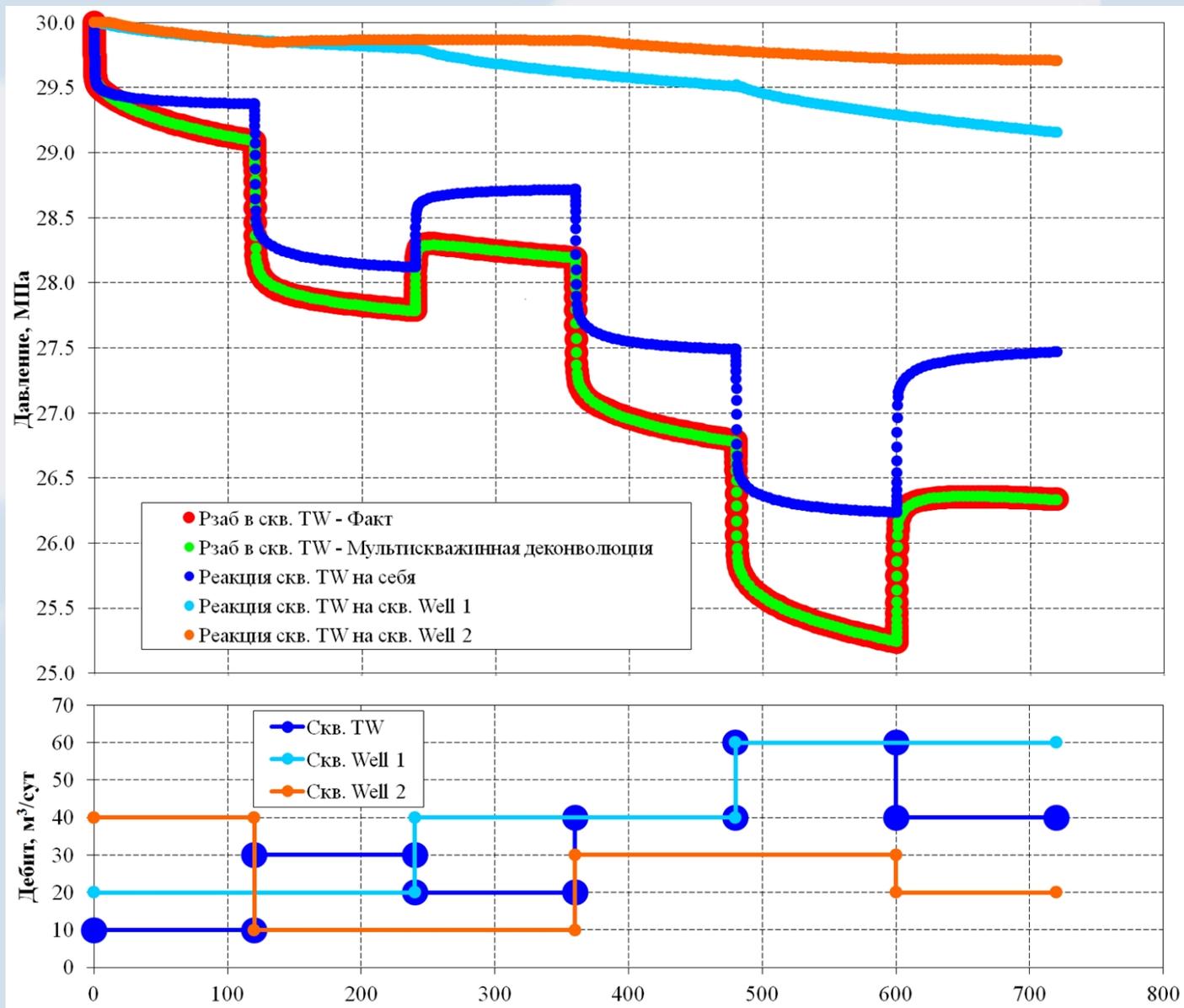
Моделирование кривой

Исходные параметры:

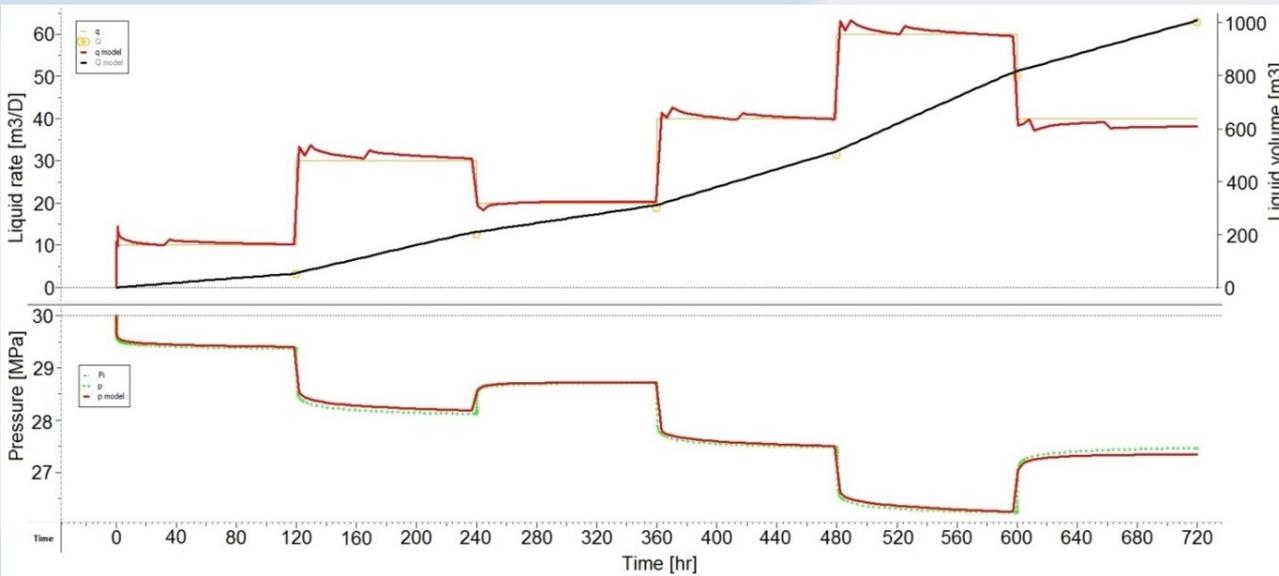
- однородный бесконечный пласт
- 3 вертикальные, добывающие скважины работающие без остановок с переменным дебитом
- радиусы скважин 0,1 м;
- толщина пласта 10 м; пористость 0,1 д.ед.;
- объемный коэффициент нефти 1,1 м³/м³;
- вязкость нефти 1 мПа·с;
- общая сжимаемость $4,3 \cdot 10^{-4}$ 1/МПа;
- скин-факторы скважин 0 безразм.;
- начальное пластовое давление 30 МПа;
- проницаемость $30 \cdot 10^{-3}$ мкм²



Результаты моделирования и деконволюции

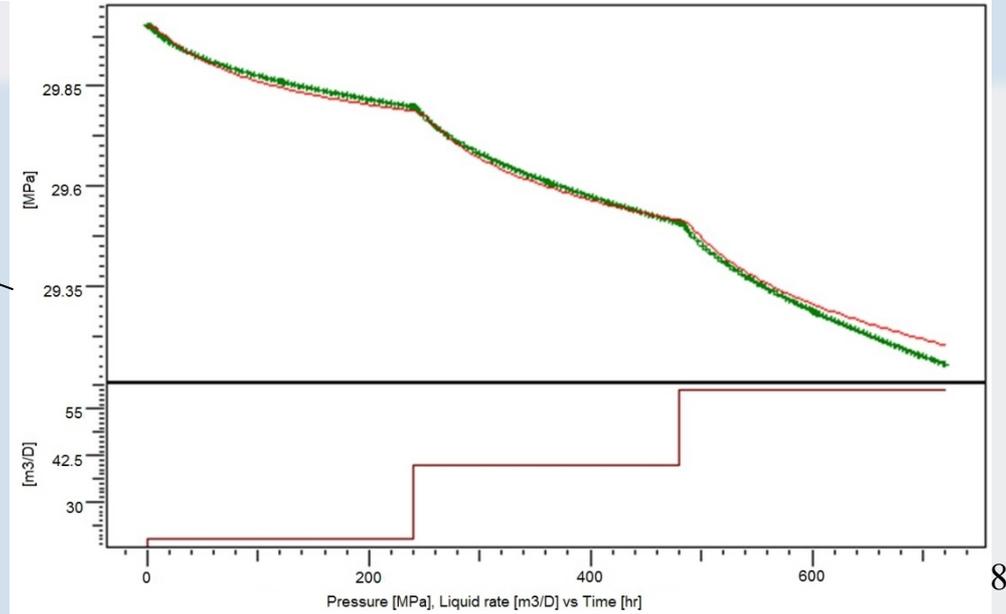


Обработка кривых методом наилучшего совмещения

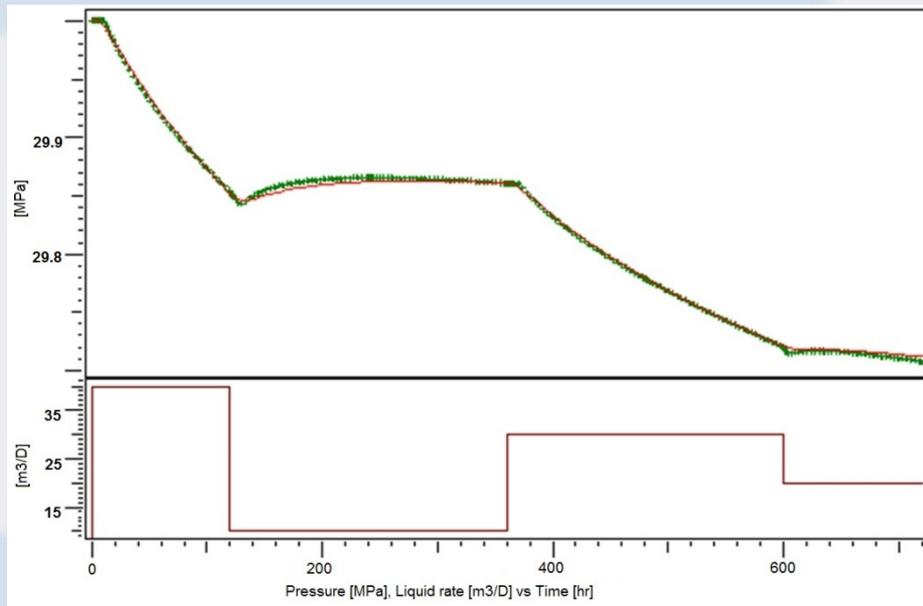


Обработка кривой снижения давления в скважине TW

Обработка кривой гидропрослушивания между скважинами TW и «Well 1»



Обработка кривых методом наилучшего совмещения



Обработка кривой гидропрослушивания между скважинами TW и Well 2

Результаты интерпретации исследований

Параметр	Факт	Кривая снижения давления, TW	Гидропрослушивание, Well 1 → TW	Гидропрослушивание, Well 2 → TW
Проницаемость, $*10^{-3} \text{мкм}^2$	30	28	22	18
Пористость, д.ед.	0,1	-	0,12	0,15
Скин-фактор, безразм.	0	-1	-	-

Примеры применения межскважинной деконволюции в зарубежной литературе*

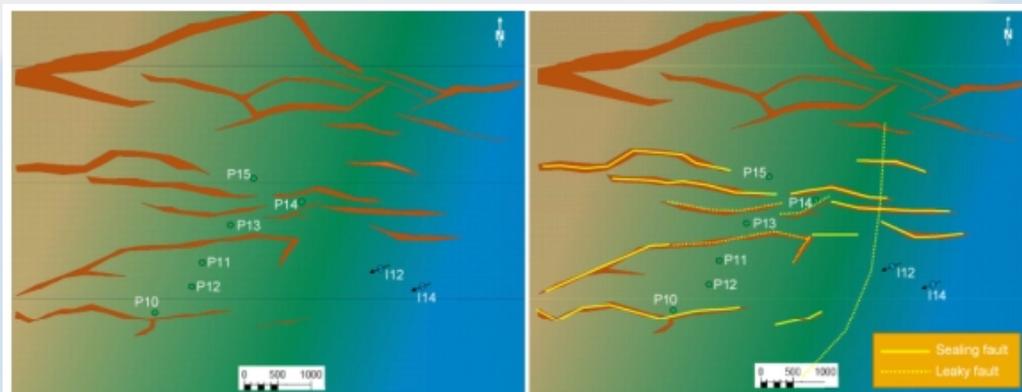
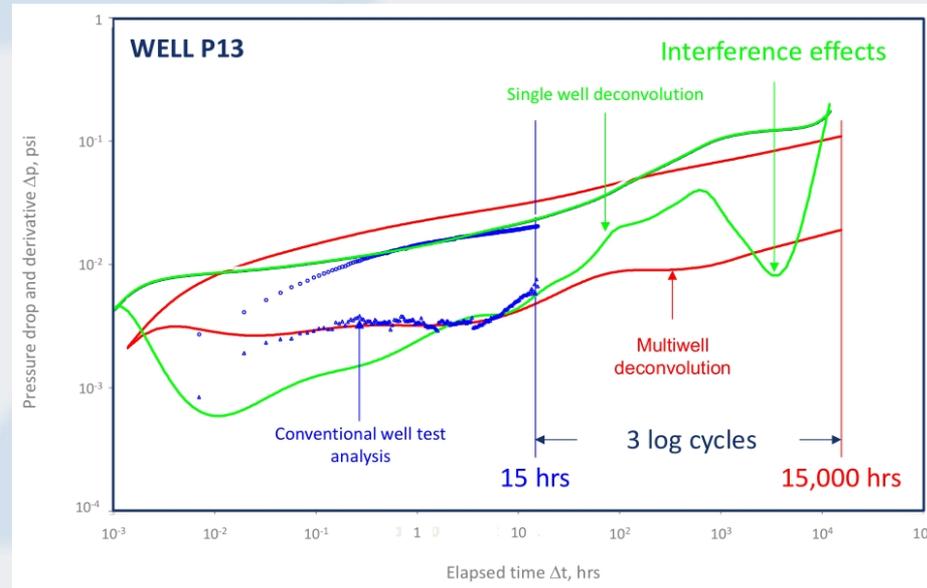


Figure 4: North Sea field: 6 producers and 2 injectors

Figure 5: North Sea field: Faults from multiwell deconvolution

*Gringarten, A. C.: "New Developments in Well Test Analysis – Phase 2" presented at Research Consortium, 8 May 2018

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Предложен новый подход к построению функции влияния и функции самовлияния, а именно представление их в виде суммы элементарных функций
- Коэффициенты функций влияния и самовлияния представлены линейно, поэтому для их определения может использоваться метод Ньютона.
- Данный способ апробирован при анализе кривой забойного давления, полученной путем моделирования.
- При достижении хорошего совмещения смоделированной и деконволюированной кривых забойного давления получено, что заданные при моделировании и определенные при обработке кривых самовлияния и взаимовлияния параметры пласта практически совпали (среднеквадратичное отклонение составило $3,85 \cdot 10^{-4}$ МПа), что характеризует высокую эффективность предлагаемого подхода.

Спасибо за внимание