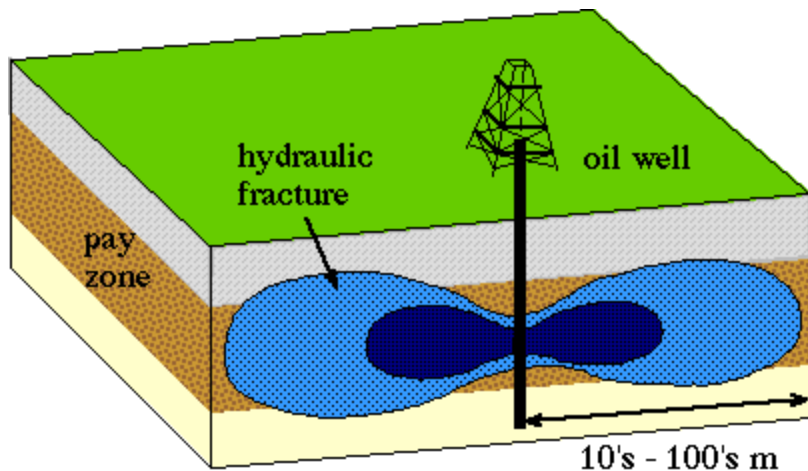


Электрокинетика и геодинамика прискважинной зоны

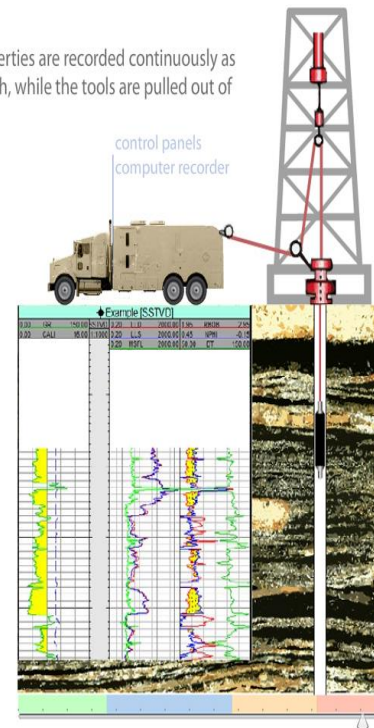
В.В. Шелухин, ИГиЛ

Как контролировать трещину ГРП ?



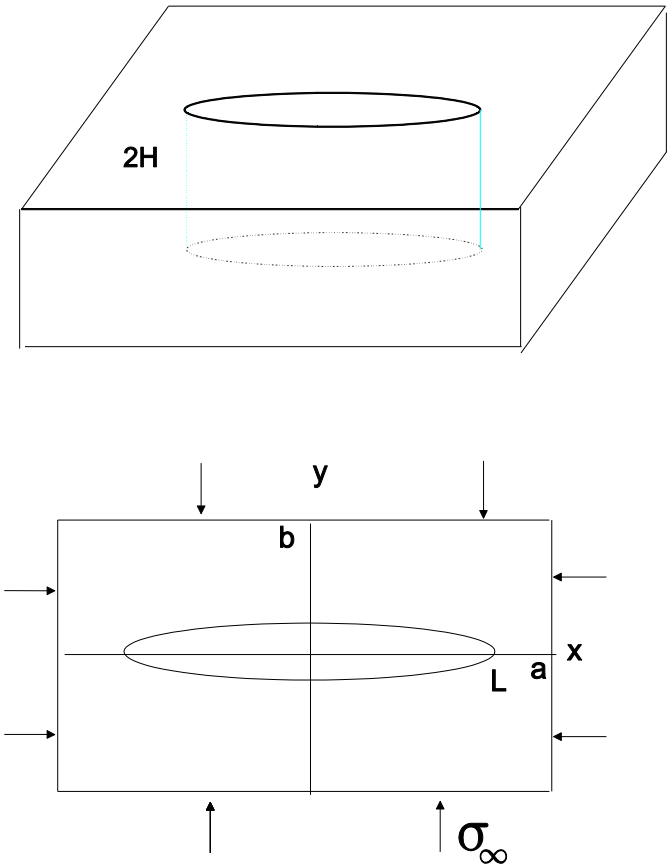
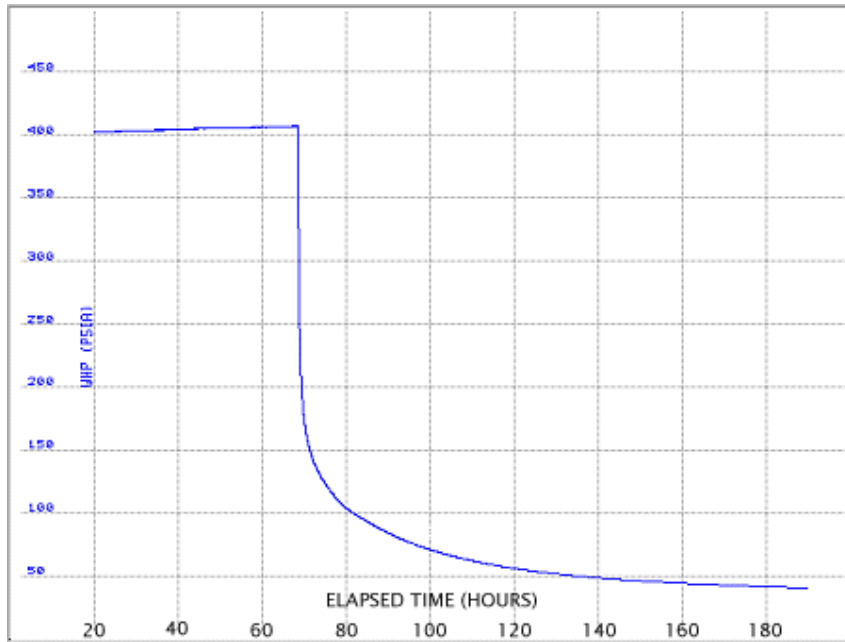
Как интерпретировать данные каротажа применительно к сланцам ?

The physical properties are recorded continuously as a function of depth, while the tools are pulled out of the well.



Фильтрация в условиях
механических напряжений впласте

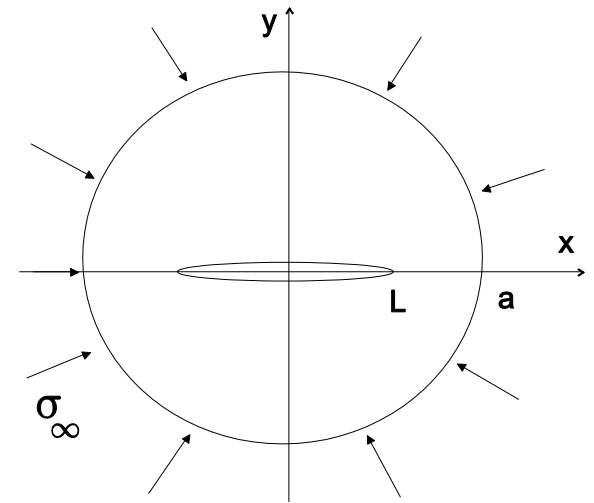
Кривая падения давления и размеры трещины ГРП



Shelukhin V.V., Baikov V.A., Golovin S.V., Davletbaev A.Y., Starovoitov V.N.
International Journal of Solids and Structures

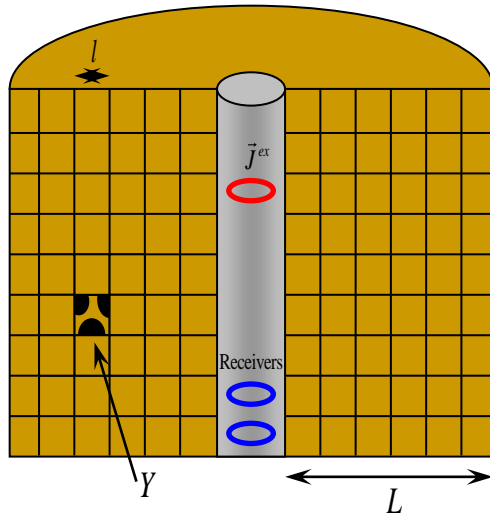
Компьютерная модель смыкания трещины ГРП

- механические напряжения в породе
- поровое давление
- смыкание трещины
- распределение давления в трещине
- движение жидкости в трещине и породе
- утечка жидкости из трещины
- несимметричность крыльев трещины



Метод двухмасштабной гомогенизации при моделировании пороупругой среды

- - твердая фаза
 - - жидкая фаза
- $\frac{l}{L} = \delta$



$$\tau^\delta(x) = \chi_s(y)|_{y=x/\delta} \left\{ \lambda_s \operatorname{tr} \varepsilon(u^\delta) \cdot I + 2\mu_s \varepsilon(u^\delta) \right\} +$$

$$+ \chi_f(y)|_{y=x/\delta} \left\{ -p^\delta \cdot I + \lambda_f \frac{\partial}{\partial t} \operatorname{tr} \varepsilon(u^\delta) \cdot I + 2\mu_f \frac{\partial}{\partial t} \varepsilon(u^\delta) \right\}$$

$$\left[u_i^\delta \right] = 0; \quad \left[\sigma_{ij}^\delta u_j^\delta \right] = 0;$$

$$u^\delta(x) = u(x) + u^r(x, y) + \delta u^1(x, y) + o(\delta); \quad y = x/\delta; \quad \int_Y u^r dy = u^R(x);$$

$$p^\delta(x) = p(x) + \delta p^1(x, y) + o(\delta); \quad \tau^\delta(x) = \tau(x) + \delta \tau^1(x, y) + o(\delta);$$

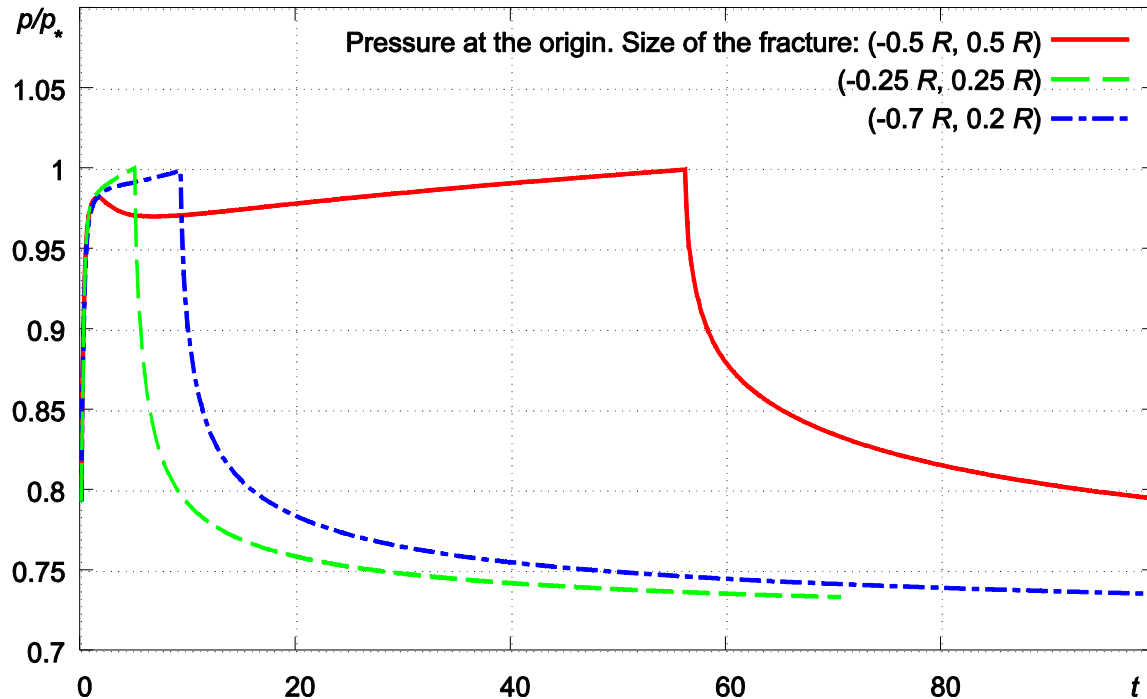
$$q \equiv \phi u_t^R;$$

Shelukhin V.V., Isakov A.E.. European Journal of Applied Mathematics 2012
(эффект частотной дисперсии коэффициентов λ и μ)

$$0 = \operatorname{div} \tau; \quad q = -\frac{k}{\eta} \nabla p; \quad \phi_t + \operatorname{div} q = 0; \quad \text{-модель пороупругой среды}$$

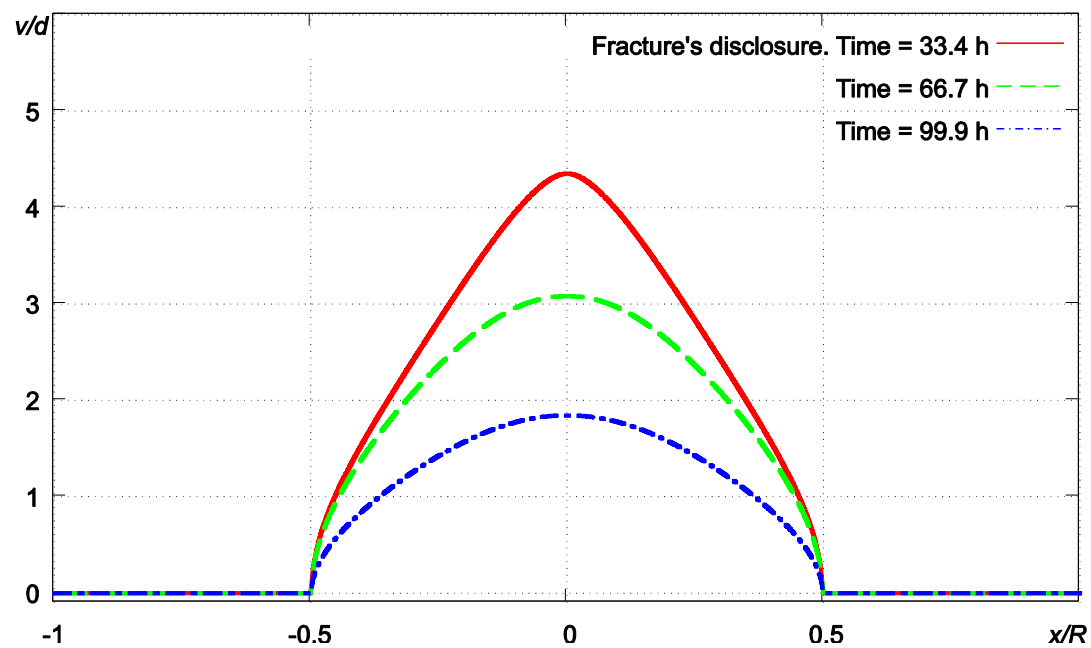
$$\tau = 2\mu \cdot \varepsilon(u) + (\lambda \operatorname{div} u - \alpha \cdot p) I; \quad \phi = \phi_0 + \alpha \cdot \operatorname{div} u + \beta \cdot p;$$

Вычисленная кривая падения давления в скважине

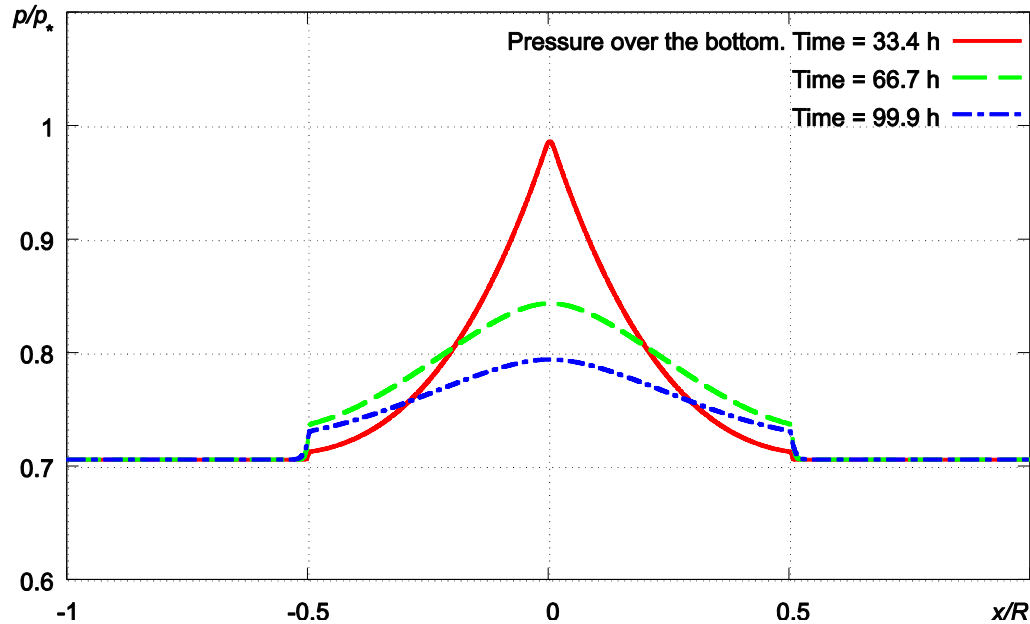


Падение безразмерного давления на величину 0.2 происходит за 40 ч. В случае длинной трещины и за 5ч. в случае короткой. Вывод. В длинных трещинах падение давления медленнее.

Динамика смыкания трещины



Динамика падения давления в трещине



Направления исследований

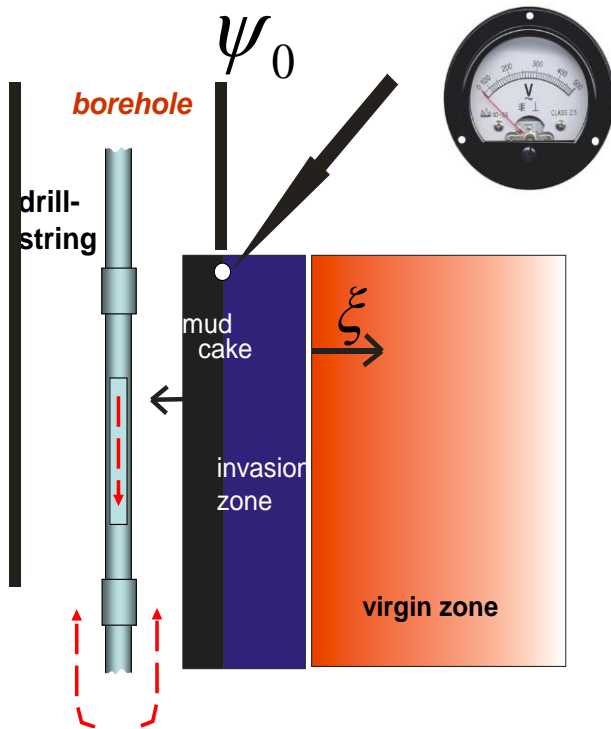
- зависимость проницаемости от механических напряжений
- концентрация пропанта в трещине
- увеличение размеров трещины
- 3D трещины

Электрокинетика и геодинамика прискважинной зоны

Определение зоны проникновения по потенциалу самополяризации

Reuss F.F. (1778-1852)

“Notice sur un nouvel effet de l’électricité galvanique” 1809.



«Обобщенный» закон Дарси

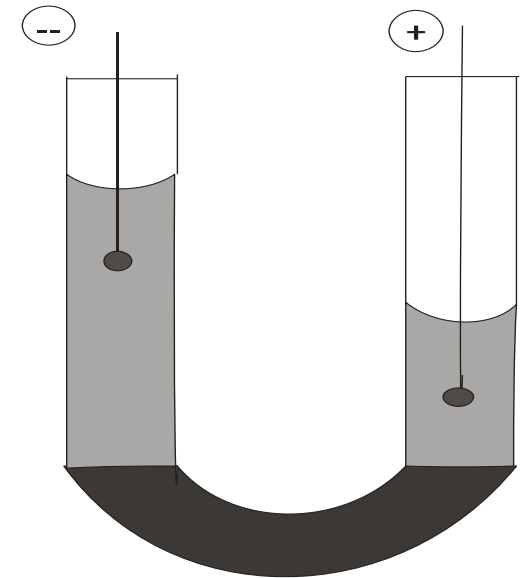
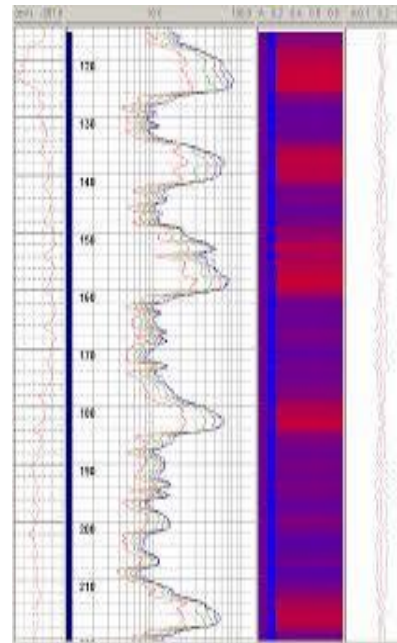


Figure 1

$$Q = -\lambda_{11} \nabla p - \lambda_{12} \nabla \psi, \quad J = -\lambda_{21} \nabla p - \lambda_{22} \nabla \psi, \quad \lambda_{ij} = \lambda_{ij}(u, c),$$

Теория электрокинетических коэффициентов λ_{ij}

$$\mathbf{Q} = -\lambda_{11} \nabla p - \lambda_{12} \nabla \psi, \quad \mathbf{J} = -\lambda_{21} \nabla p - \lambda_{22} \nabla \psi,$$

λ_{22} - эффективная электропроводимость электрокомпозита σ_e
(двухмасштабная гомогенизация уравнений Максвелла)

$$\mathbf{J}^\delta(x) = \sigma(y) |_{y=x/\delta} \mathbf{E}^\delta(x),$$

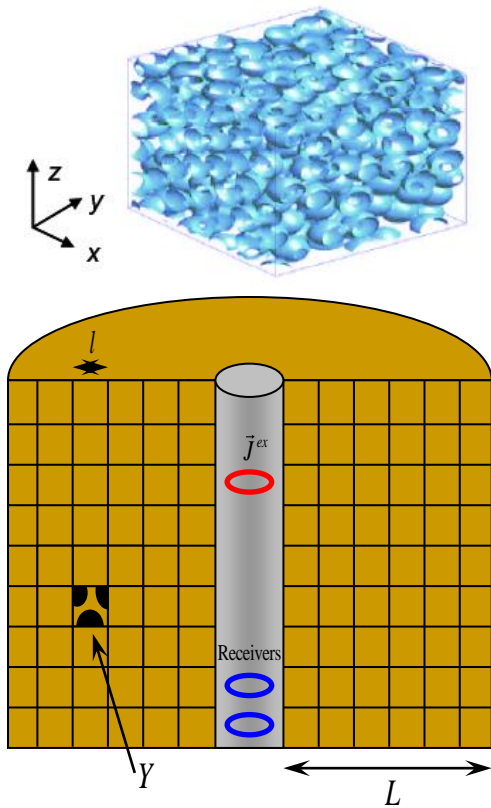
$$\mathbf{J}^\delta(x) = \mathbf{J}^0(x, y) + \delta \mathbf{J}^1(x, y) + o(\delta),$$

$$y = x / \delta;$$

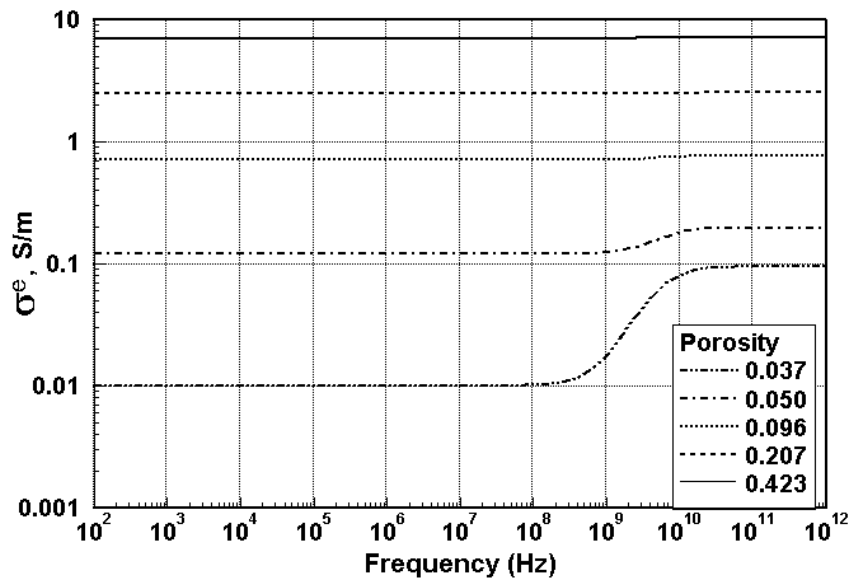
$$\mathbf{E}^\delta(x) = \mathbf{E}^0(x, y) + \delta \mathbf{E}^1(x, y) + o(\delta),$$

$$\int_Y \mathbf{E}^0(x, y) dy = \mathbf{E}(x); \quad \mathbf{J}_j = \lambda_{jk}^{22} \mathbf{E}_k$$

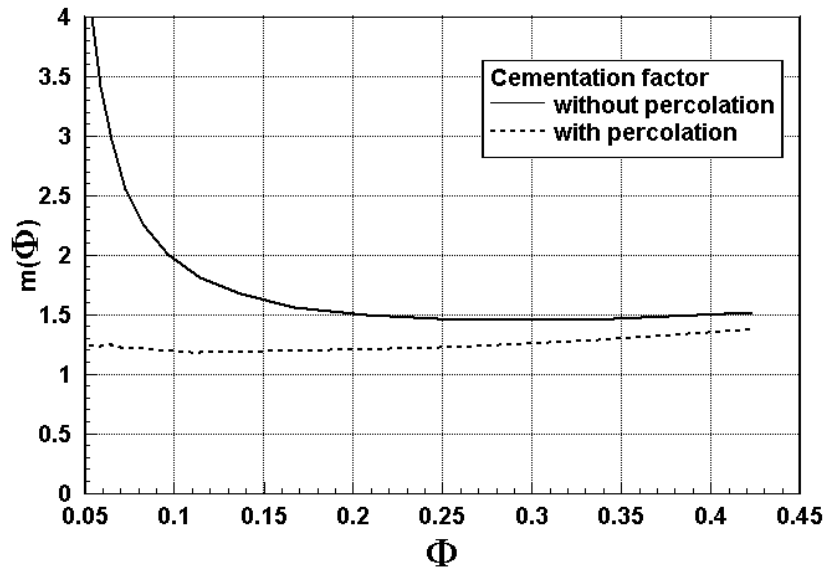
- Shelukhin V., Terentev S. Progress in electromagnetic research B, Vol. 14, (2009), 175-202.
- Шелухин В.В., Терентьев С.А. Доклады Академии Наук, 2009, Т.424, № 3, С.402-406.
- Amirat Y., Shelukhin V. Journal de Mathématiques Pures et Appliquées, Vol. 95, No.4, (2011), 420--443



Частотная дисперсия удельной электрической проводимости



«Компьютерная» формула Арчи $\sigma = \sigma(\phi)$



$$\sigma / \sigma_f = \Phi^m$$

$$\sigma / \sigma_f = a(\Phi - \Phi_p)^m$$

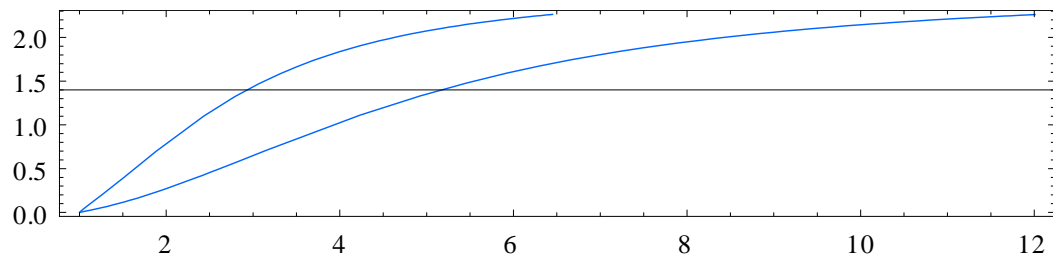
Теория перекрестного коэффициента λ_{12}

- Shelukhin V., Yeltsov I., Paranichev I. World Journal of Mechanics, Vol.1 No.3, 2011, 127-136
- Amirat Y., Shelukhin V. Journal of Mathematical Analysis and Applications, vol. 342, no. 2, 2008, 1227-1245.
- Шелухин В.В., Амират Ю. Прикладная математика и техническая физика, 2008, Т. 49, № 4, 162-173.

$$\lambda_{12} = f_T \sqrt{\lambda_{11} \lambda_{22}},$$

Теория коэффициента мобильности λ_{11}

$$\lambda_{11} = \frac{k(c)}{\eta} \exp\{-\alpha p_e\}, \quad p_e = \phi p - \left(\lambda + \frac{2}{3}\mu\right) \operatorname{div} u,$$

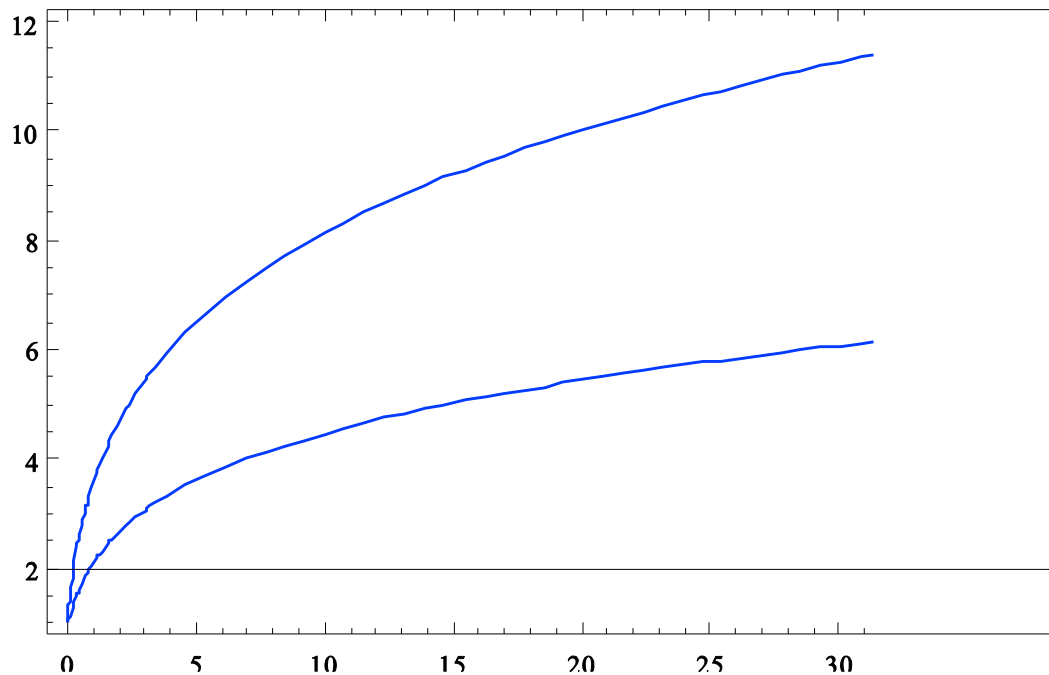


ξ / r_b

Электрический потенциал (мВ) в зависимости от безразмерной координаты фронта проникновения. Верхняя кривая соответствует деформируемой среде, а нижняя – недеформируемой.

И. Н. Ельцов, В. В. Шелухин, М. И. Эпов Потенциал самополяризации в деформируемой пористой среде и геофизические исследования в скважинах Представлена в ДАН

Динамика фронта проникновения



ξ / r_w в зависимости от времени (час). Верхняя – недеформируемый пласт, нижняя – деформируемый пласт

Учет деформации приводит к замедлению продвижения фронта

проникновения и роста толщины корки. Так, без учета деформаций за 30 ч

фронт продвигается на 11 радиусов скважины, а с учетом – только на 6.