

*Использование дипольного
акустического каротажа для
оценки параметров пор и
трещин карбонатных
коллекторов*

Баюк И.О.* , Рыжков В.И.**

**ИФЗ РАН, **РГУ нефти и газа*

Введение в проблему

Наличие преимущественной ориентации трещин – залог успешной нефте- и газодобычи

Субвертикальные трещины – причина анизотропии карбонатных коллекторов, приводящая к расщеплению поперечных волн

Дипольный акустический каротаж – средство обнаружения эффекта расщепления поперечных волн и, как следствие, выявления трещиноватых зон

Знание параметров трещин - **объемной концентрации и формы** - позволяет определять проницаемость коллекторов

Теория эффективных сред - ключ к определению параметров трещин по данным ГИС

Границы применимости метода для наклонных скважин и какой же выход из положения за границами применимости метода?

Теория эффективных сред - ключ к определению параметров трещин по данным ГИС

Скорости упругих волн в анизотропной среде зависят от направления распространения волны, упругих постоянных и плотности :

$$V = f(\bar{\mathbf{n}}, \mathbf{C}, \rho)$$

Трансверсально-изотропная среда

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{13} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{pmatrix}$$

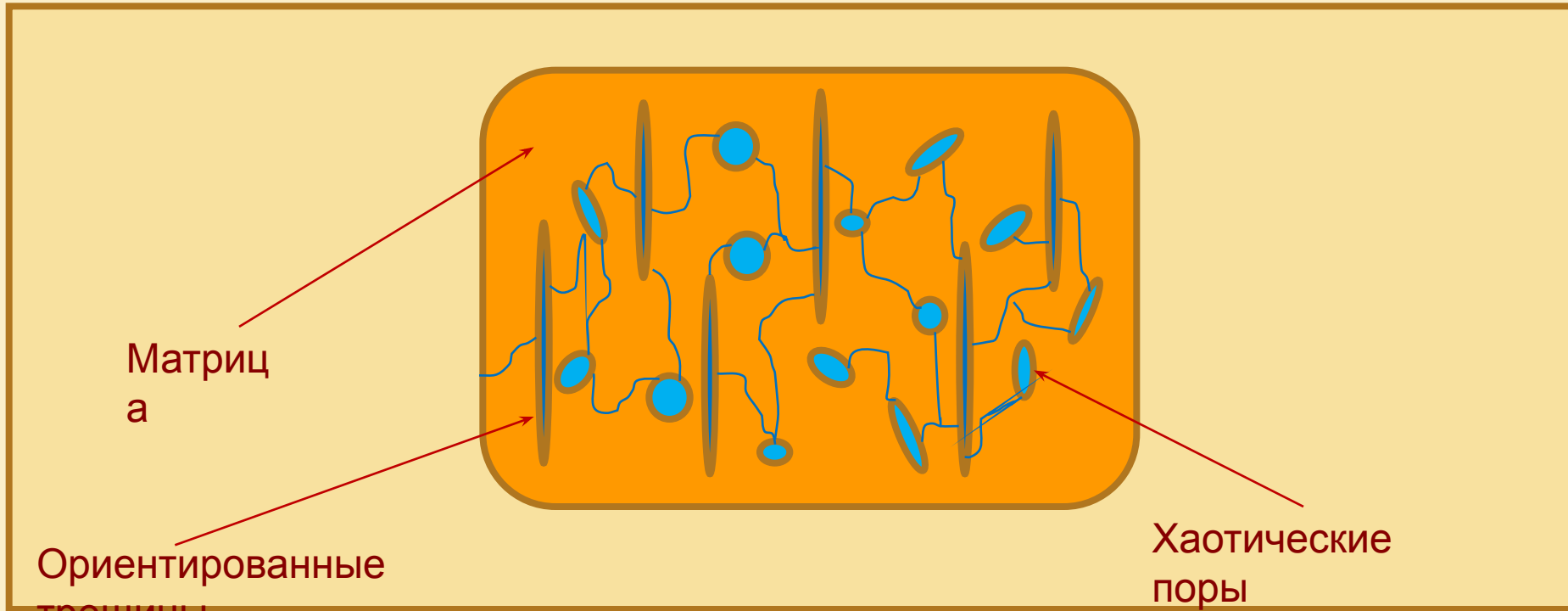
Теория эффективных сред позволяет связать упругие постоянные

с

параметрами внутреннего строения среды:

**свойствами компонент,
их объемной концентрацией,
формой включений различных компонент,
ориентацией включений,
степенью связности включений**

Модель карбонатного коллектора



Матрица: минеральные зерна, остатки органического вещества, закрытая и субкапиллярная пористость

Ориентированные трещины: эллипсоиды с аспектным отношением, изменяющимся в интервале $[1e-5, A_1]$

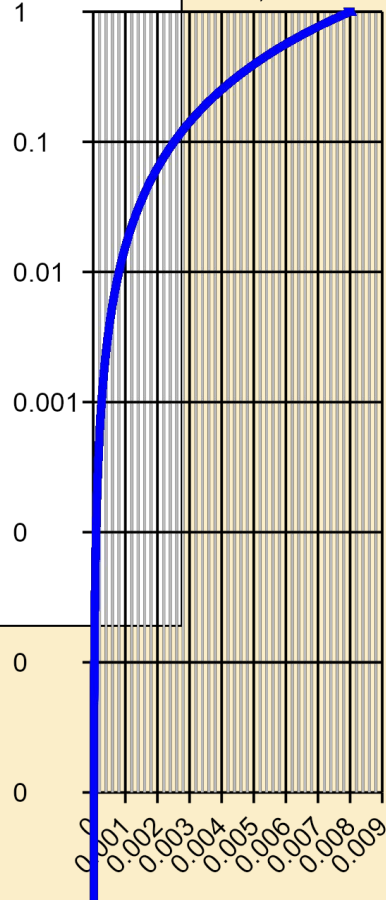
Хаотически ориентированные поры: эллипсоиды с аспектным отношением в интервале $[A_2, 1]$

Распределение объема пустот по аспектным отношениям описывается Бэ́та-распределением

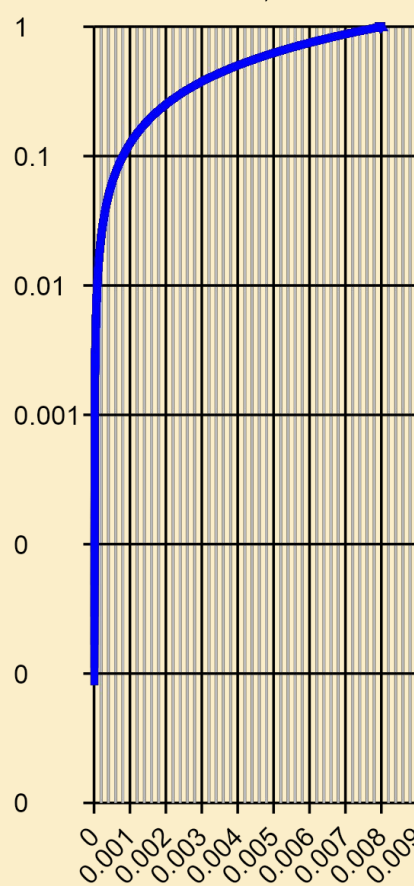
Зависимость вида Бэ́та-распределения от параметров

$$P(F) = \frac{\Gamma(\alpha + d)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(d)} F^{\alpha-1} (1 - F)^{d-1}$$

$\alpha = 1, d = 5$

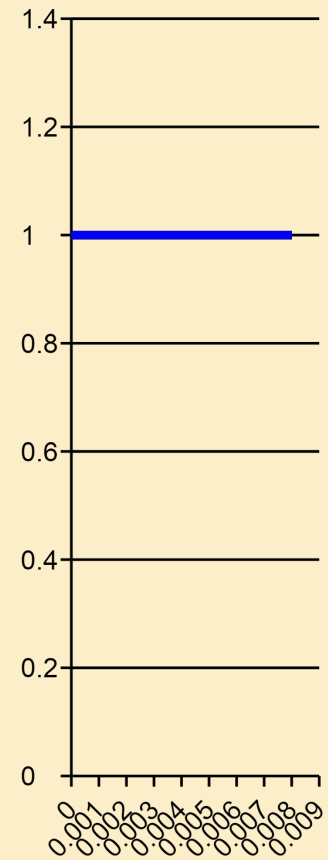


$\alpha = 1, d = 3$



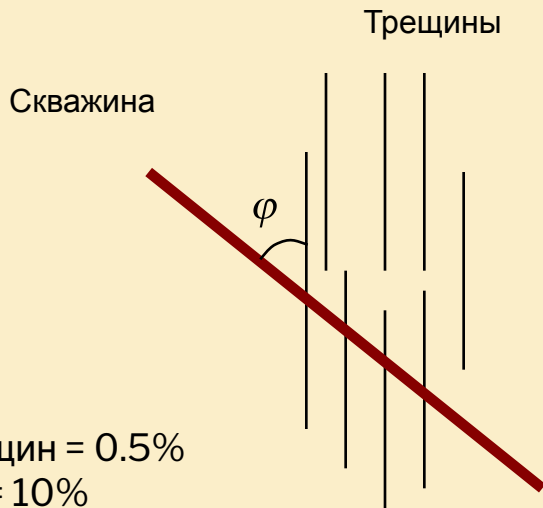
$\alpha = 1, d = 2$

$\alpha = 1, d = 1$

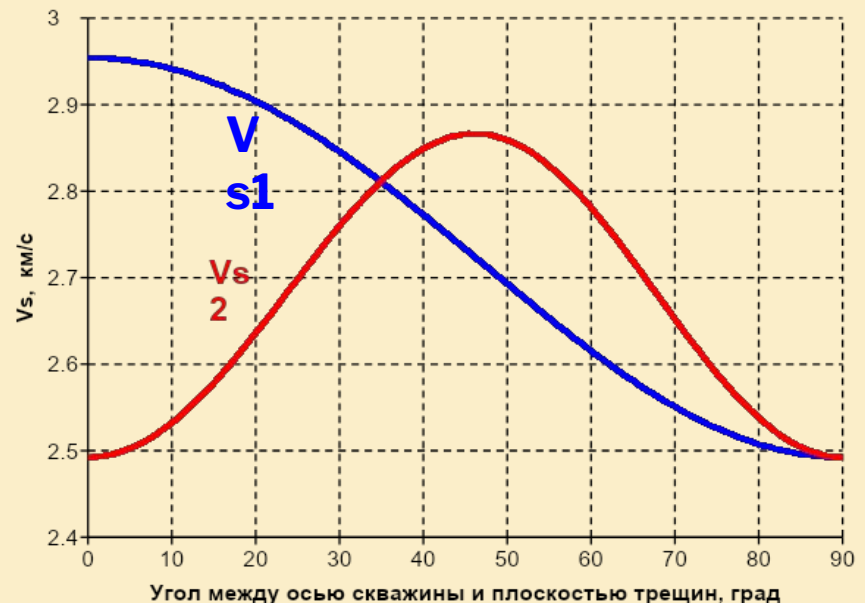
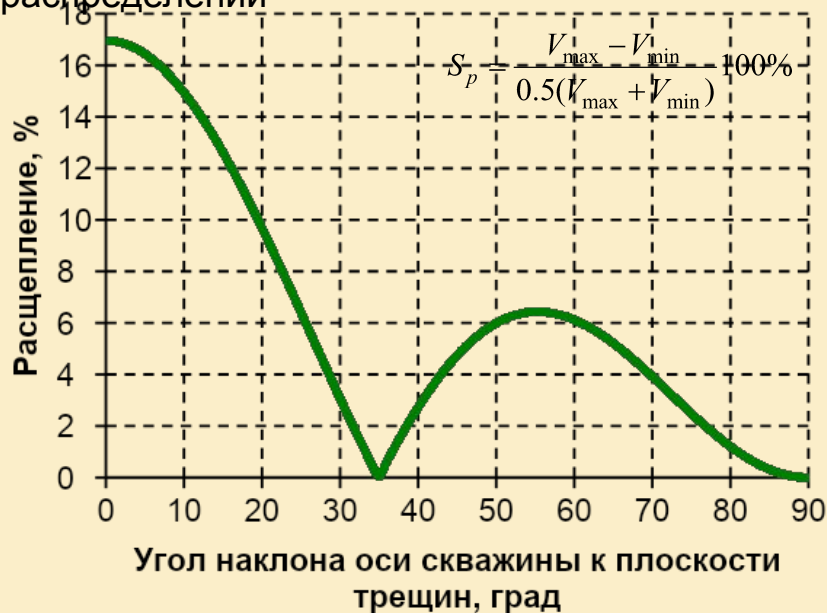
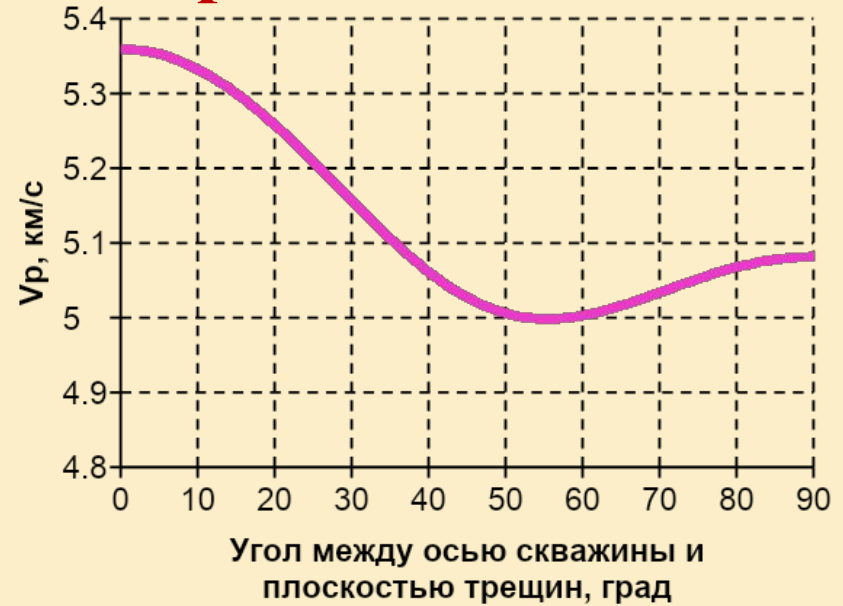


Аспектное отношение трещин

Скорости упругих волн в карбонатном коллекторе с субвертикальными трещинами

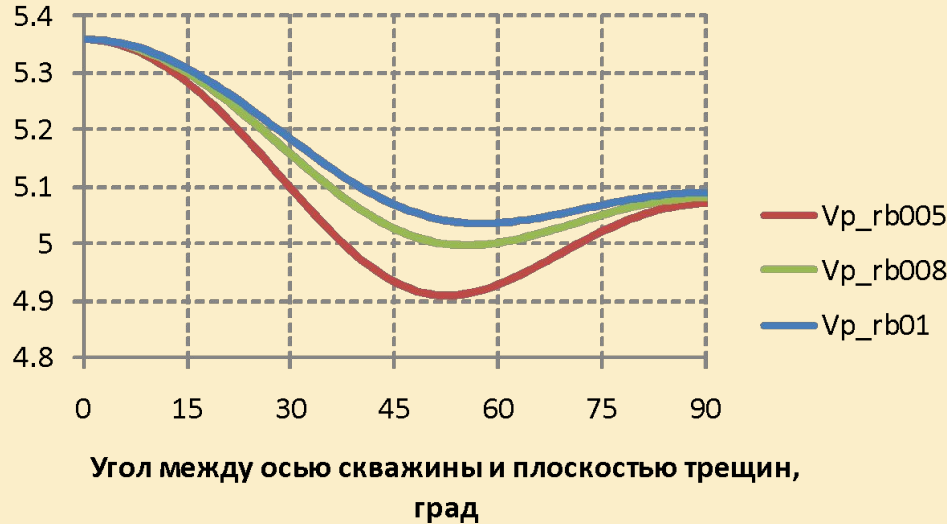


Емкость трещин = 0.5%
 Пористость = 10%
 d = 5 в Бэта-
 распределении

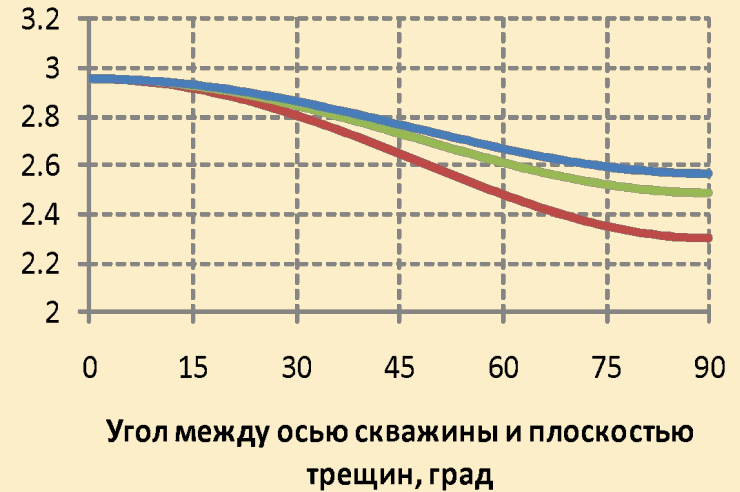


Зависимость поведения скоростей от правой границы аспектного отношения трещин

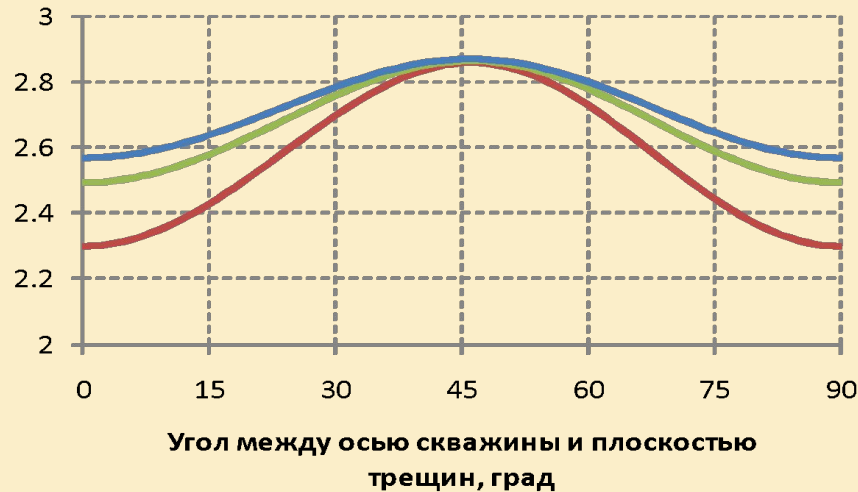
V_p , км/с



V_{s1} (V_{sh}), км/с

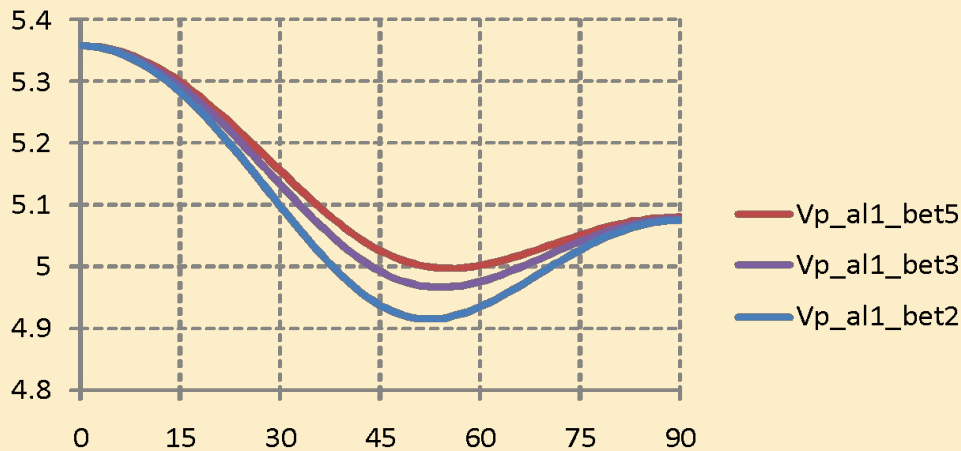


V_{s2} (V_{sv}), км/с



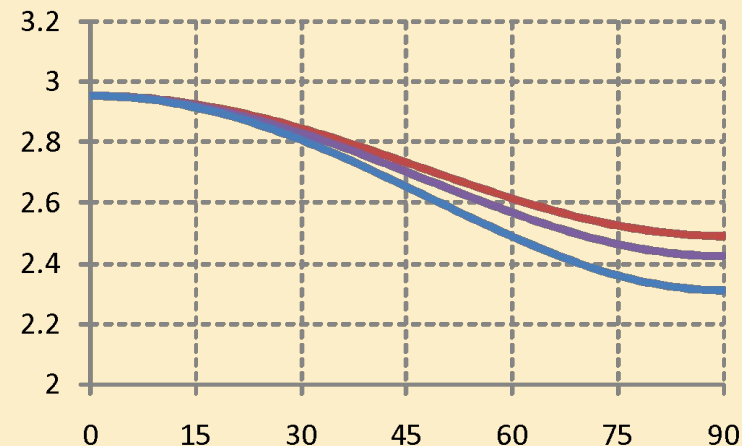
Зависимость поведения скоростей от распределения объема трещин по их форме

V_p , км/с



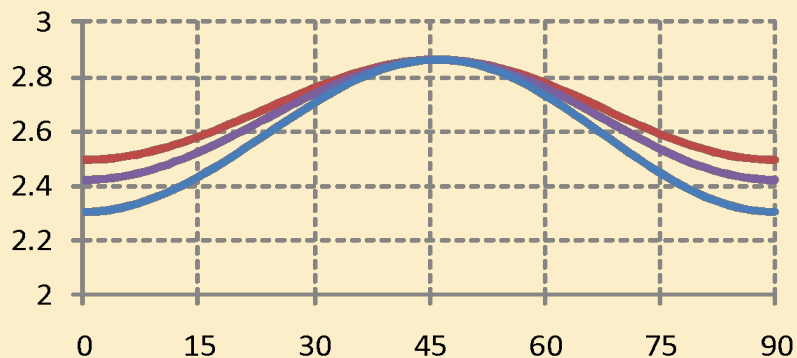
Угол между осью скважины и плоскостью трещин, град

V_{s1} (V_{sh}), км/с



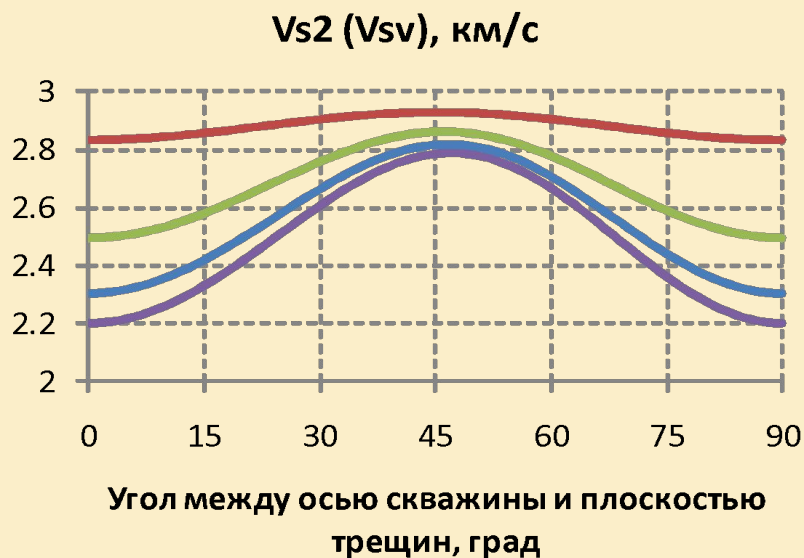
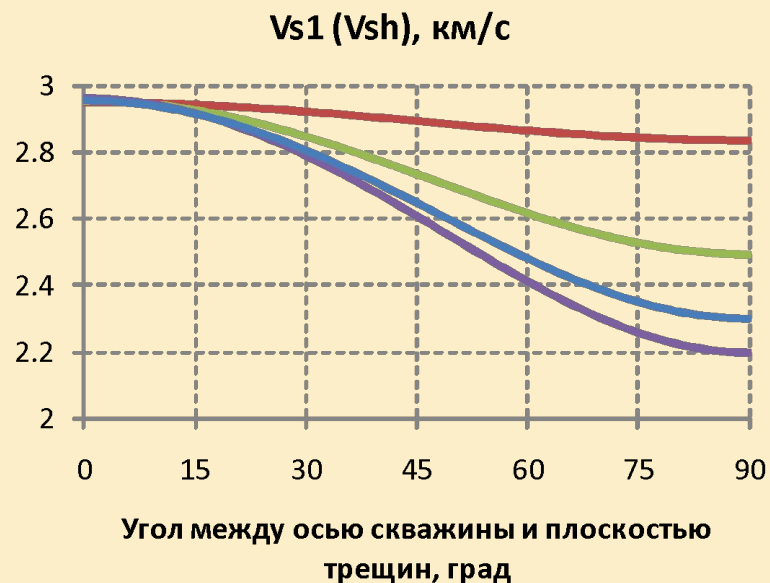
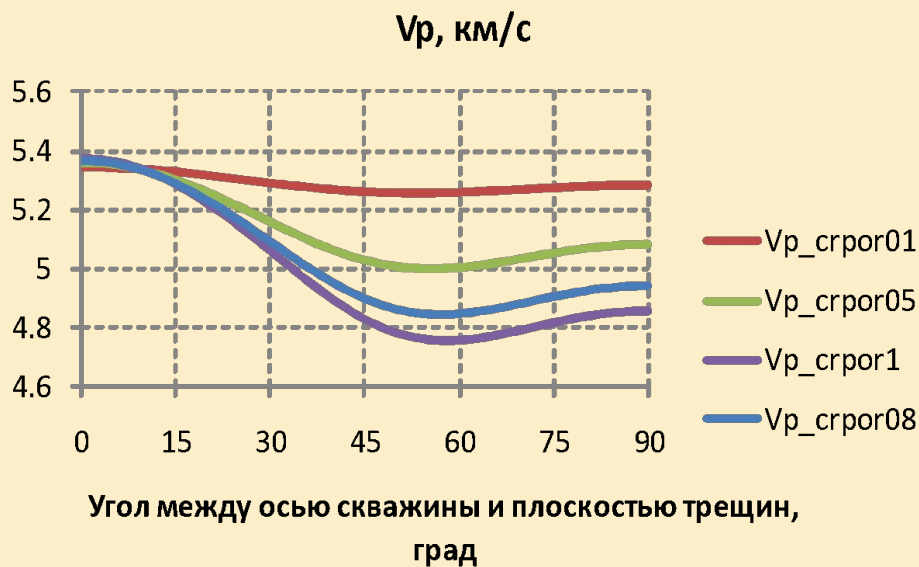
Угол между осью скважины и плоскостью трещин, град

V_{s2} (V_{sv}), км/с

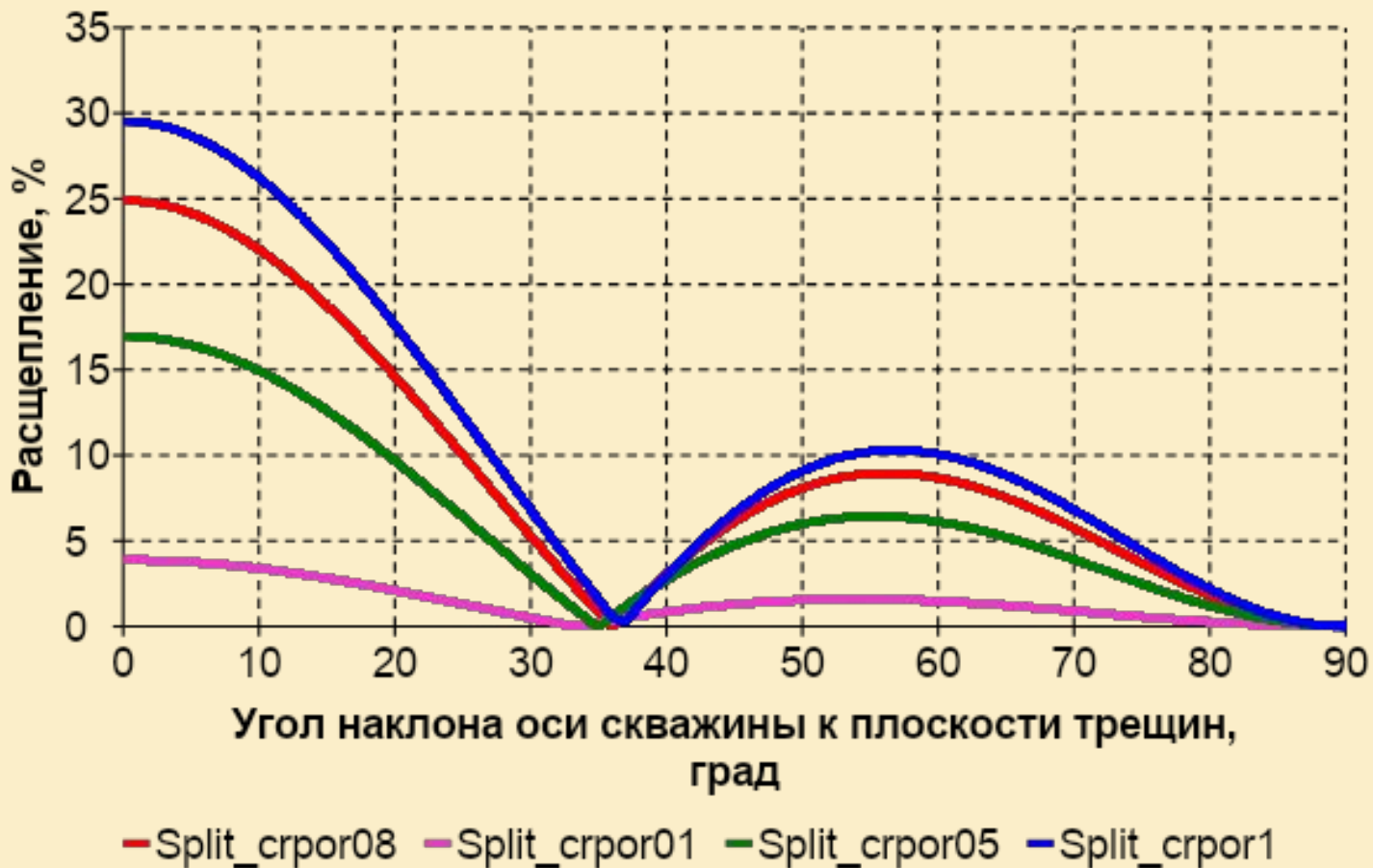


Угол между осью скважины и плоскостью трещин, град

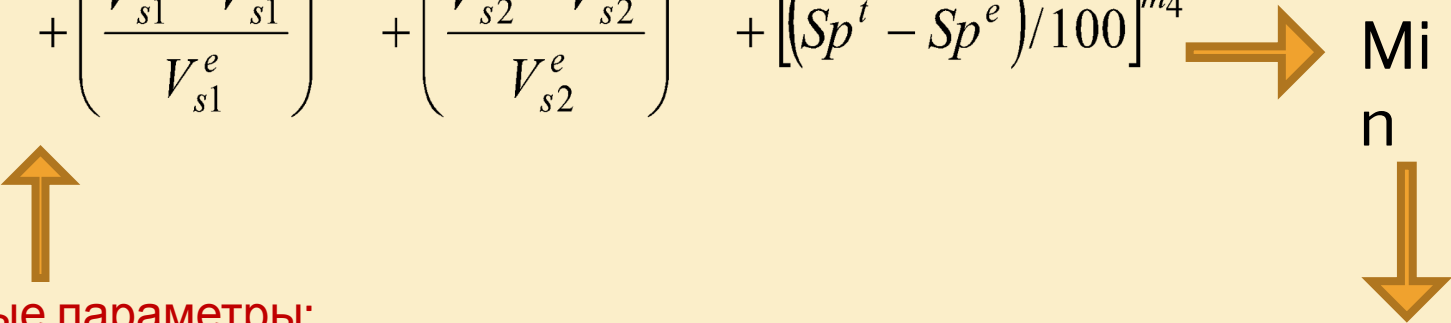
Зависимость поведения скоростей от емкости трещин



Зависимость величины расщепления от емкости трещин



Решение обратной задачи по определению параметров трещин и пор карбонатного коллектора по данным ГИС

$$\Psi = \left(\frac{V_P^t - V_P^e}{V_P^e} \right)^{m_1} + \left(\frac{V_{s1}^t - V_{s1}^e}{V_{s1}^e} \right)^{m_2} + \left(\frac{V_{s2}^t - V_{s2}^e}{V_{s2}^e} \right)^{m_3} + \left[(Sp^t - Sp^e) / 100 \right]^{m_4} \longrightarrow \text{Min}$$


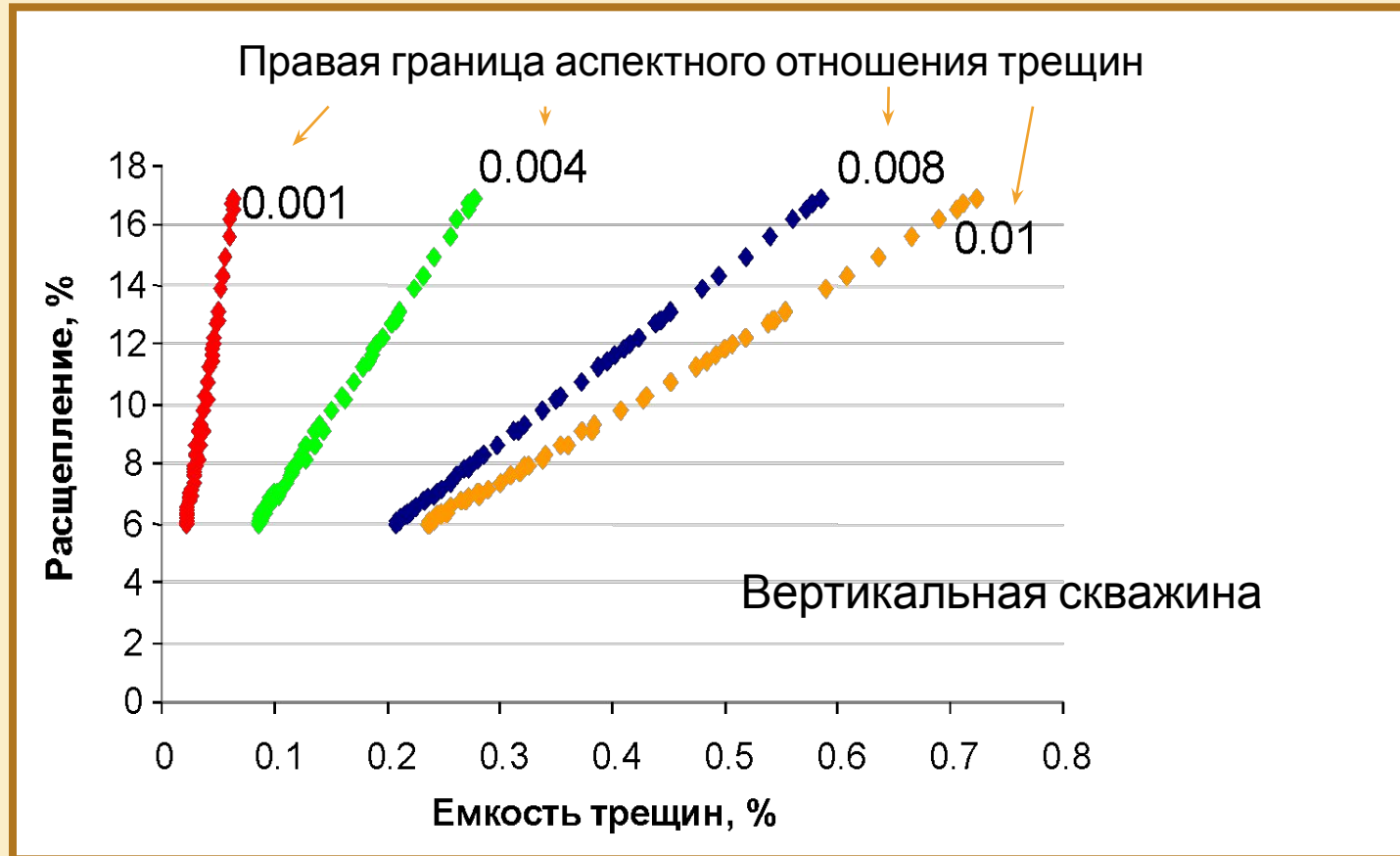
Входные параметры:

1. Азимут трещин, угол между осью скважины и вертикалью, азимут оси скважины (ГИС)
2. V_p, V_{s1}, V_{s2} (ГИС)
3. Плотность (ГИС)
4. Общая пористость (ГИС)
5. Правая граница аспектного отношения трещин
6. Левая граница аспектного отношения пор
7. Скорости упругих волн и плотность матрицы

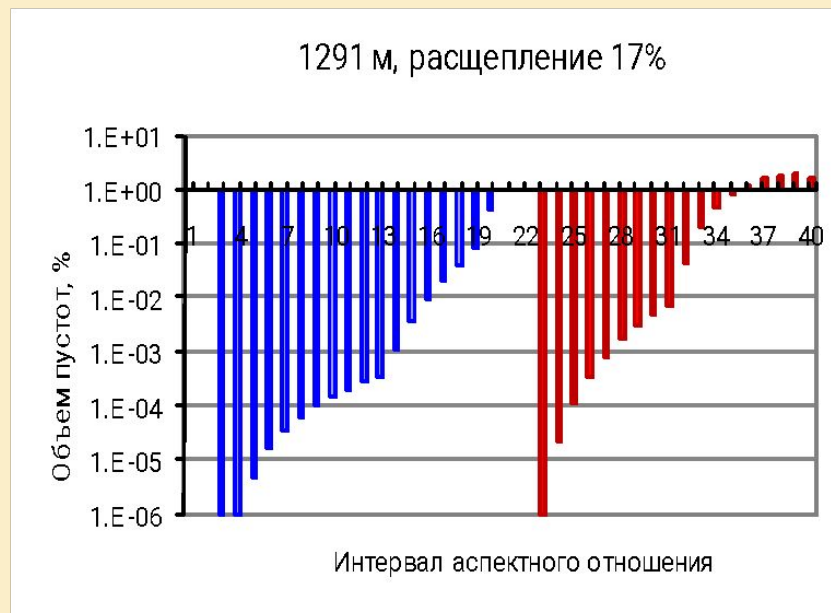
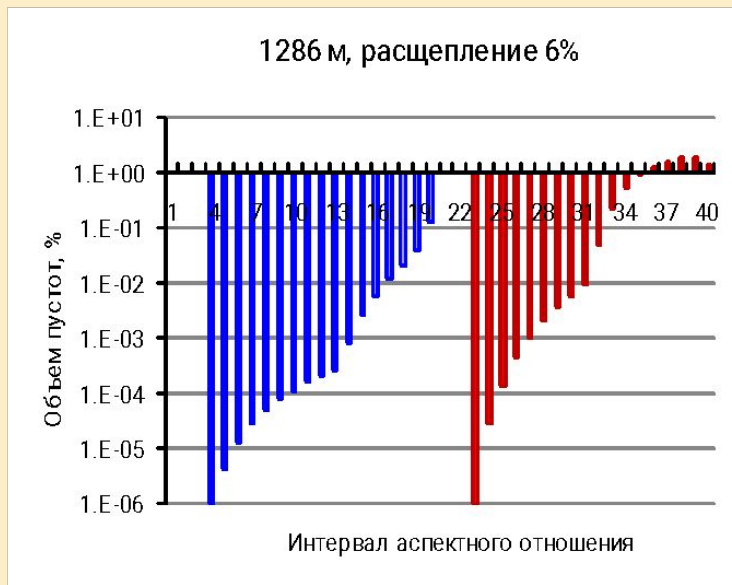
Выходные параметры:

1. Емкость трещин
2. Открытая пористость
3. Параметры Бэта распределения для формы трещин и пор

Результаты: зависимость истинного расщепления от емкости трещин

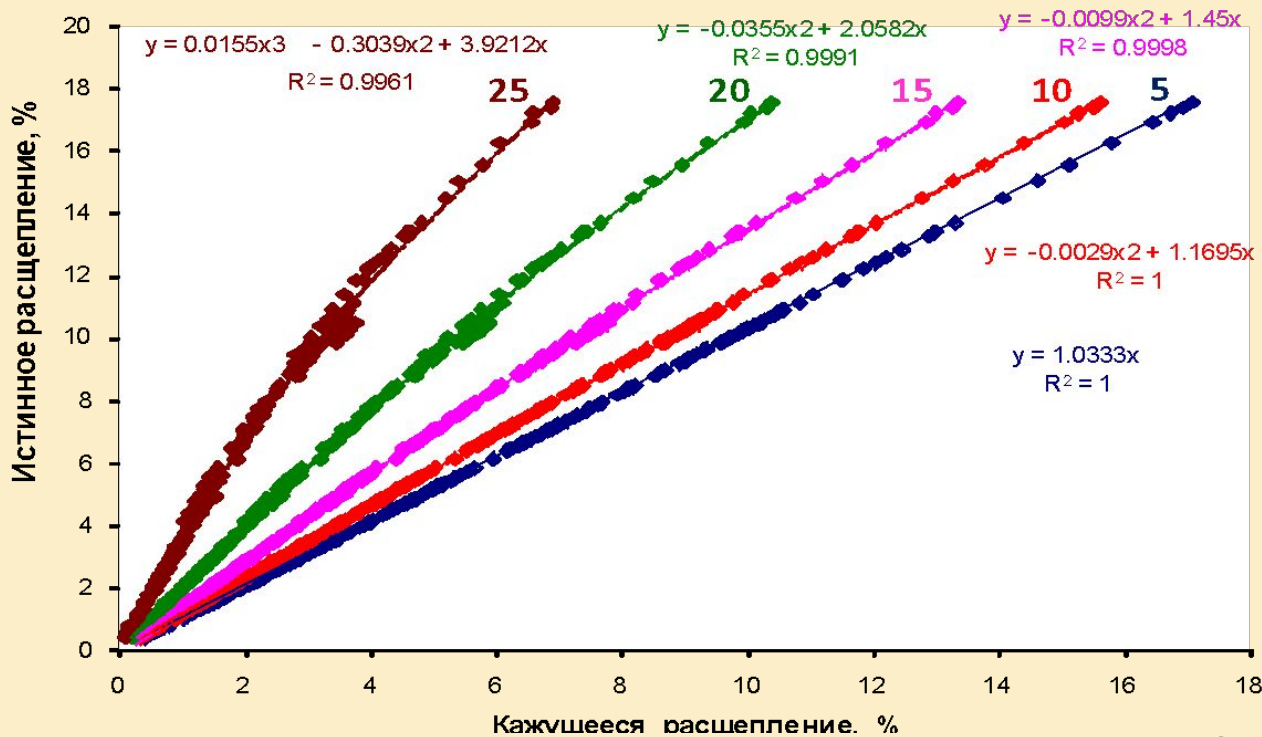


Результаты: гистограммы распределения емкости трещин и объема пор по аспектным отношениям



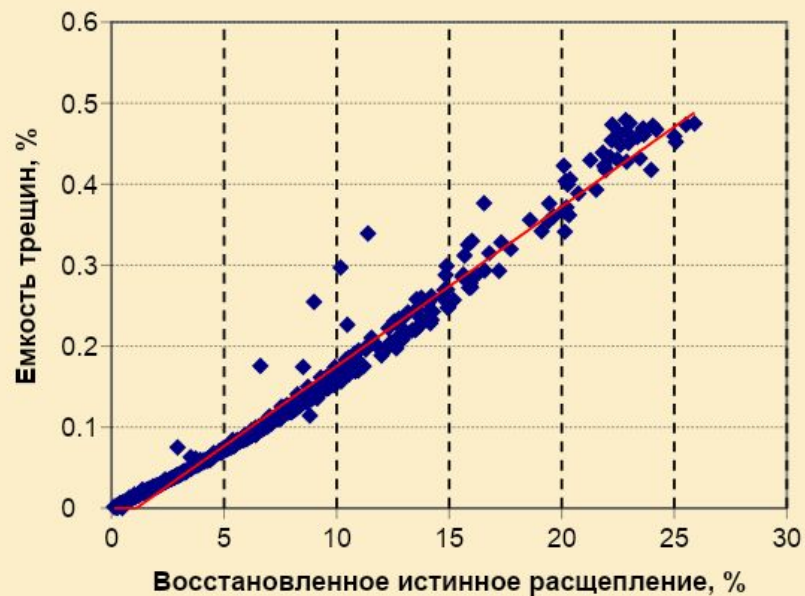
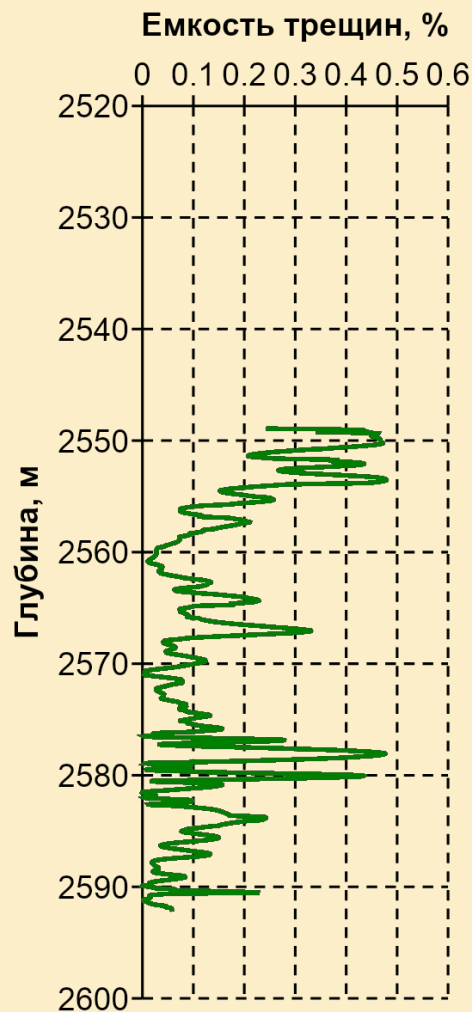
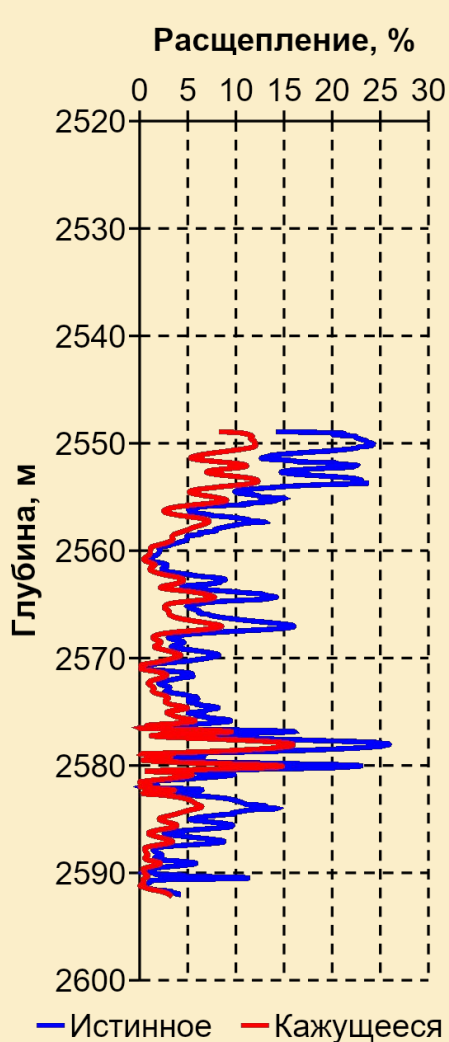
До аспектного отношения $1e-4$ включительно ширина одного интервала аспектного отношения равна $2.5e-5$ (интервалы 1 – 4). Для аспектных отношений, больших $1e-4$ и до $1e-3$ включительно, ширина интервала составляет $1e-4$ (интервалы 5 – 13). До аспектных отношений 0.01 включительно ширина интервала равна 0.001 (интервалы 14 – 22). До аспектного отношения 0.1 ширина интервала составляет 0.01 (интервалы 23 – 31). Для интервалов 32 – 40 ширина интервала равна 0.1 .

Результаты: номограмма для определения истинного расщепления по кажущемуся расщеплению



Цифрами на кривых показано значения угла наклона оси скважины к плоскости трещин

Результаты: восстановление истинного расщепления и определение емкости трещин



Скорости поперечных волн и расщепление в карбонатном коллекторе, содержащем прослой глины



Угол, при котором расщепление становится равным нулю, уменьшается до 20 градусов

Выводы

Разработанный для карбонатных нефтяных коллекторов метод определения по данным акустического каротажа объема и формы пустот (трещин и пор), участвующих в движении флюида, применим, если угол наклона оси скважины к плоскости трещин не превышает 33 градуса.

При наличии прослоев глины диапазон углов наклона оси скважины к плоскости трещин, при котором метод применим, сужается и становится равным 0 - 20 градусов.

Метод позволяет определять распределения емкости трещин и объемной концентрации пор по их аспектным отношениям.

Метод дает возможность получить зависимость истинного расщепления от кажущегося, а также зависимость емкости трещин от расщепления (истинного и/или кажущегося). Данные зависимости могут использоваться для экспресс-оценки емкости трещин по расщеплению, наблюдаемому при проведении акустического каротажа в карбонатных нефтяных коллекторах.

**Какой же выход из положения
за границами применимости
метода?**

Использовать ВСП!!!

Спасибо за внимание!