

*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

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

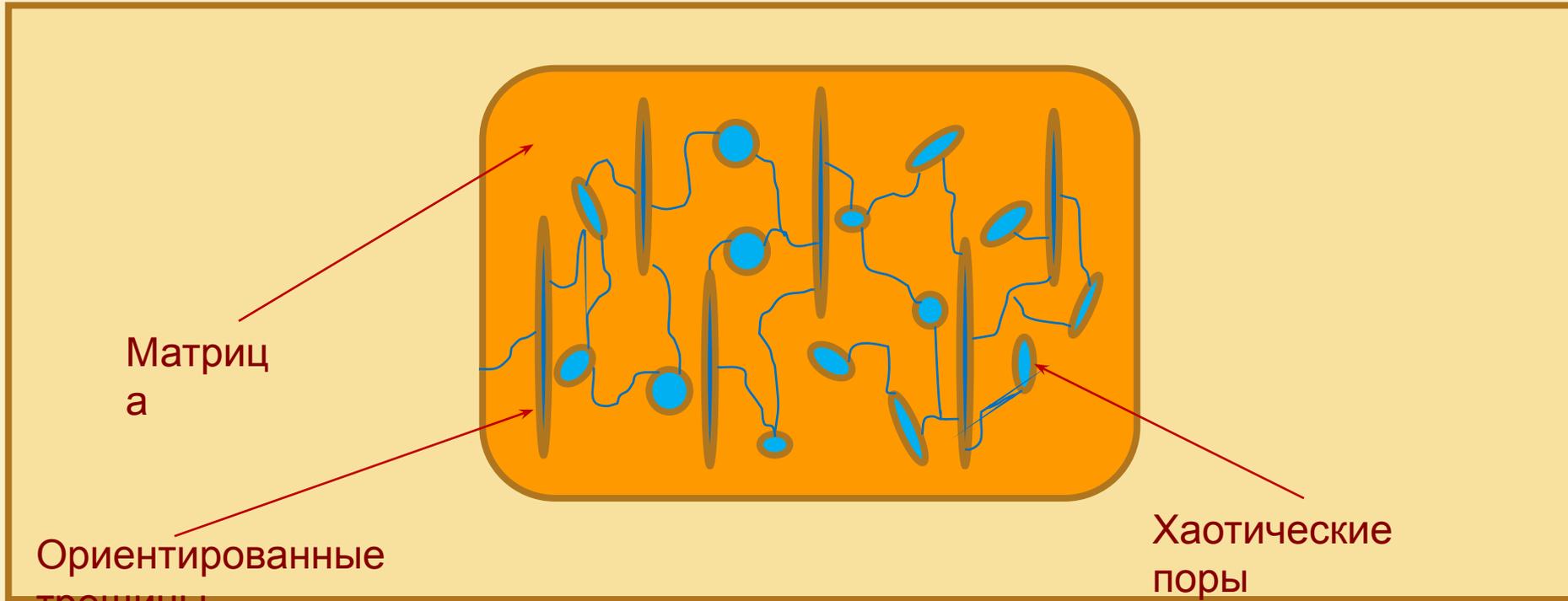
Теория эффективных сред позволяет связать упругие постоянные

с

параметрами внутреннего строения среды:

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

# Модель карбонатного коллектора



Матрица

Ориентированные трещины

Хаотические поры

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

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

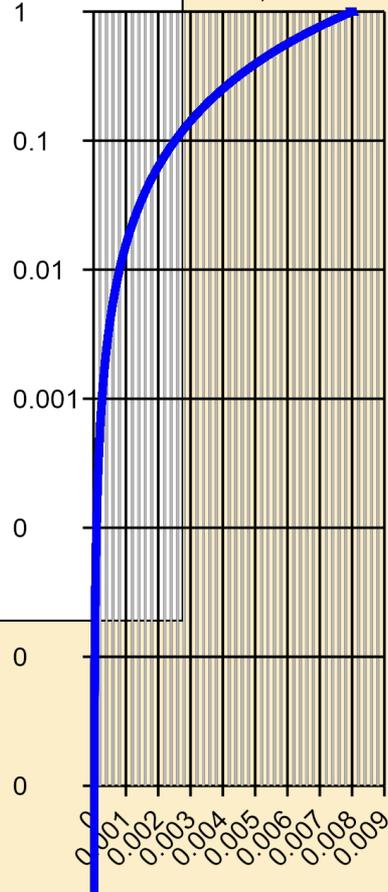
Распределение объема пустот по аспектным отношениям описывается Бэ́та-распределением

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

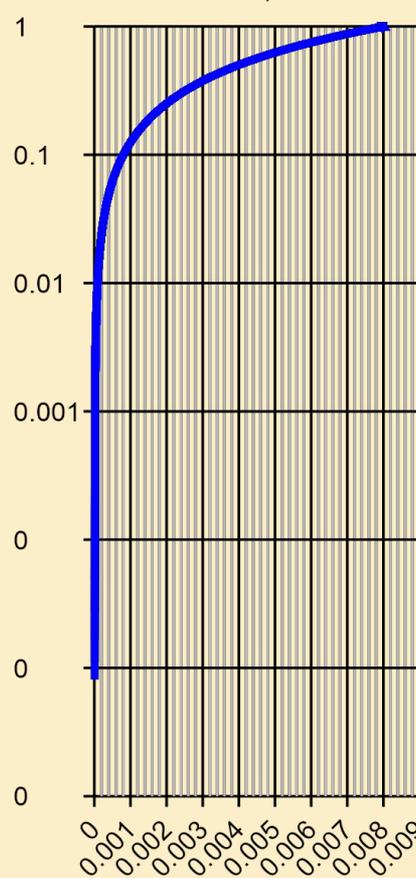
# Зависимость вида Бэ́та-распределения от параметров

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

$\alpha = 1, d = 5$

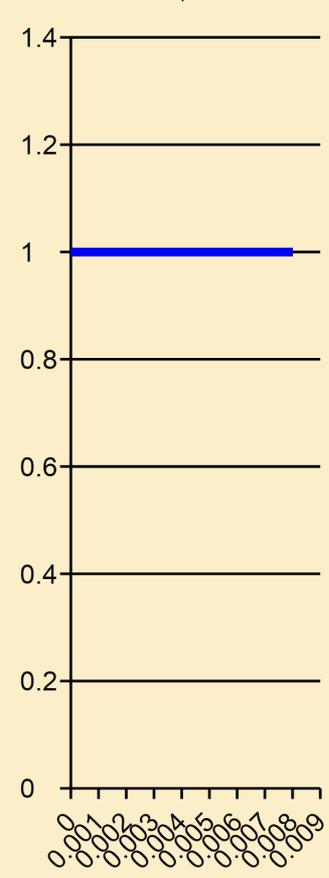


$\alpha = 1, d = 3$



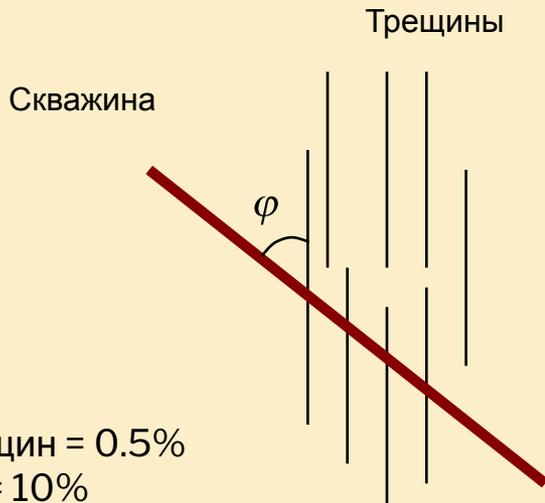
$\alpha = 1, d = 2$

$\alpha = 1, d = 1$

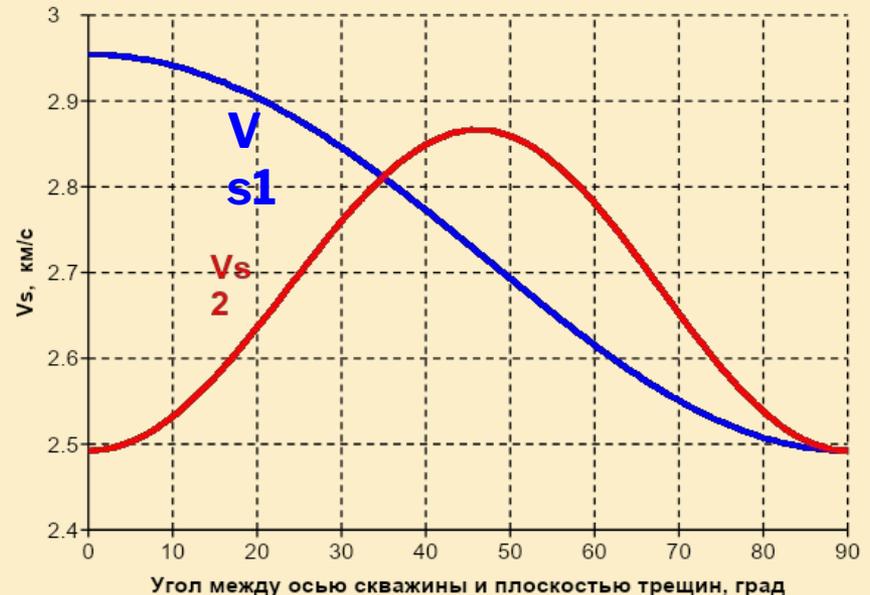
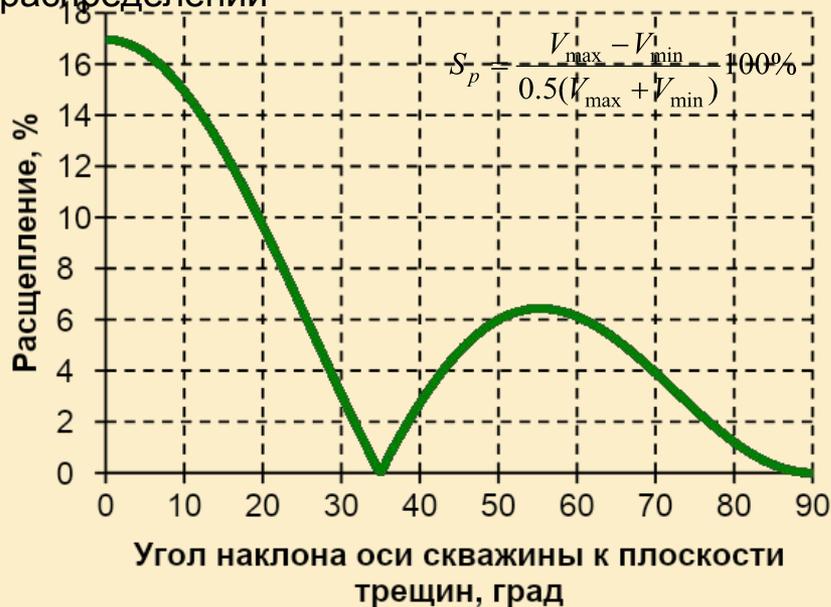
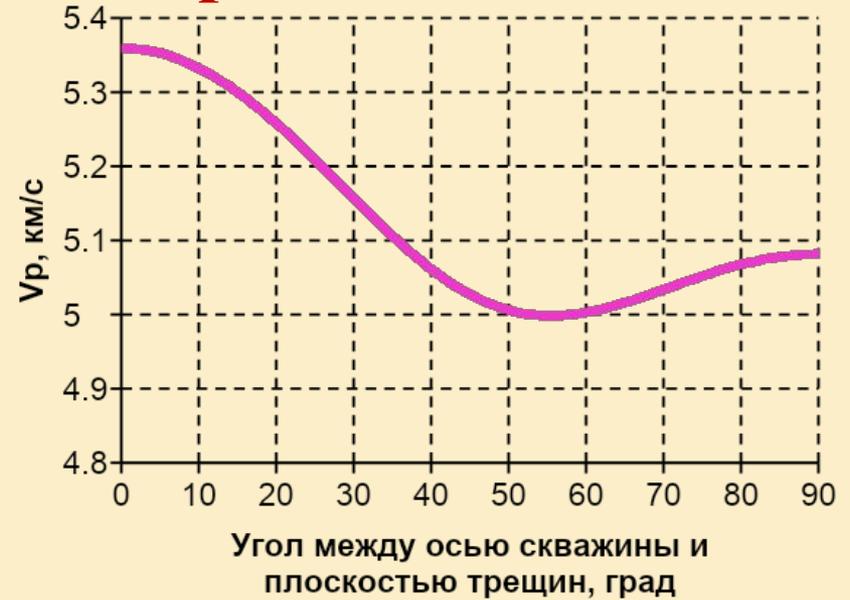


Аспектное отношение трещин

# Скорости упругих волн в карбонатном коллекторе с субвертикальными трещинами

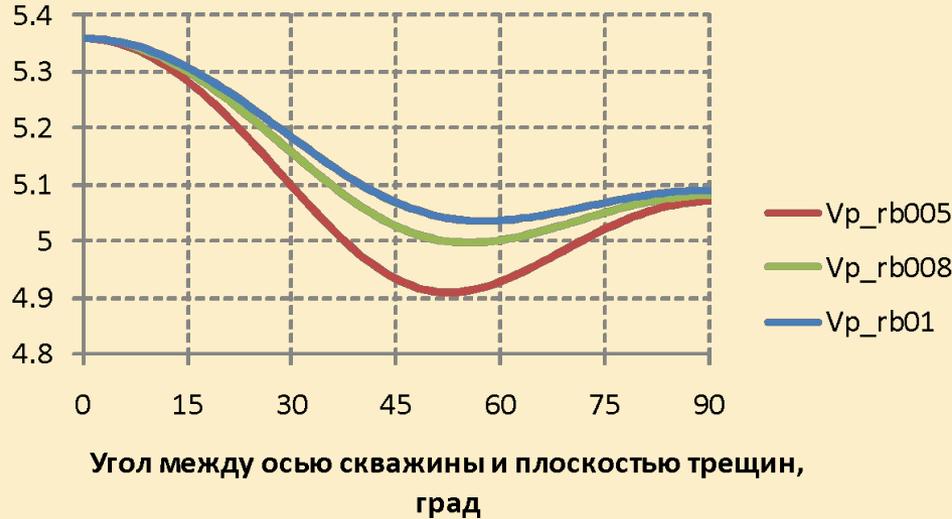


Емкость трещин = 0.5%  
 Пористость = 10%  
 d = 5 в Бэта-  
 распределении

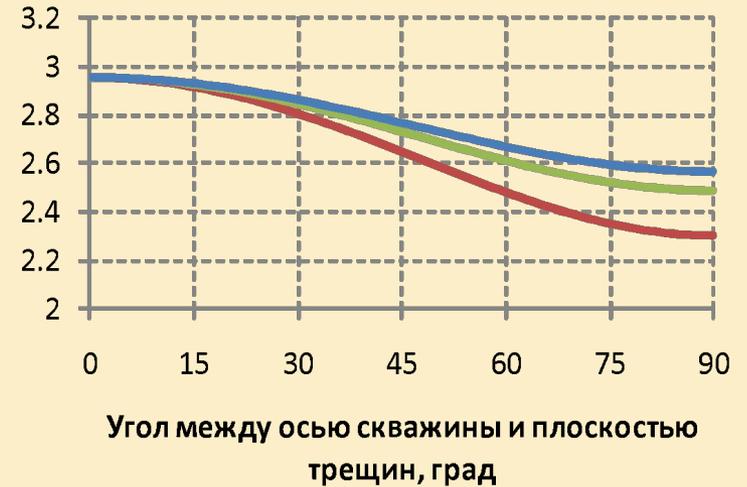


# Зависимость поведения скоростей от правой границы аспектного отношения трещин

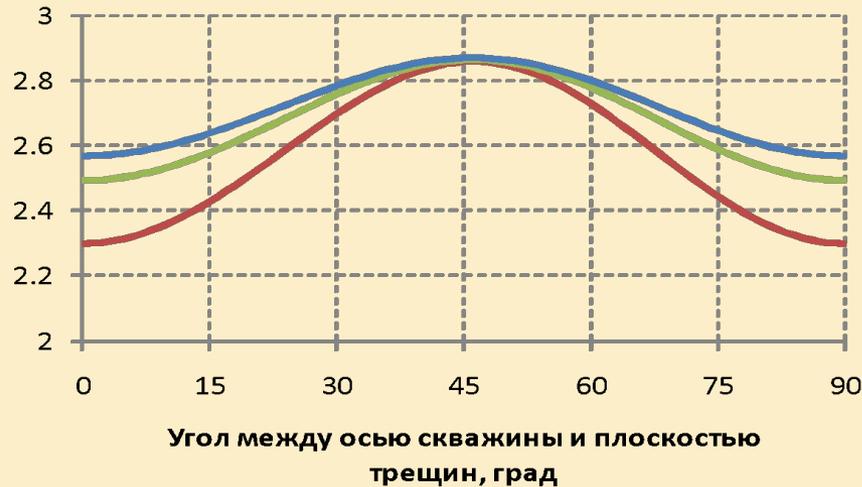
$V_p$ , км/с



$V_{s1}$  ( $V_{sh}$ ), км/с

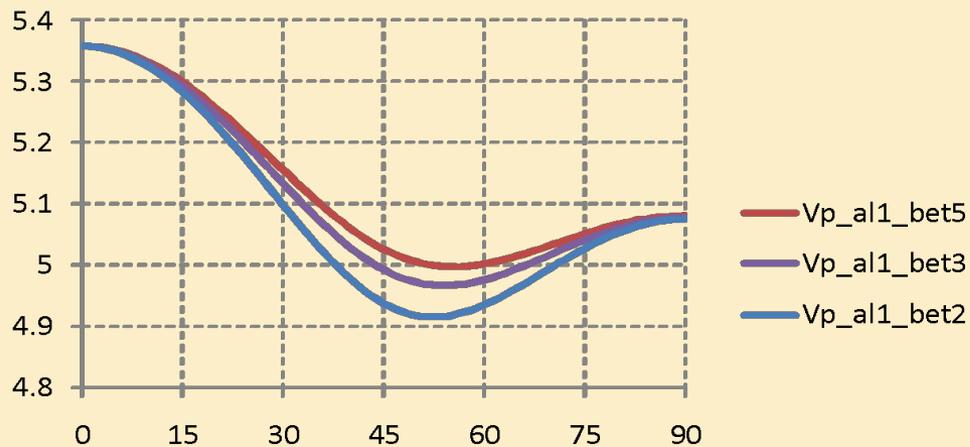


$V_{s2}$  ( $V_{sv}$ ), км/с



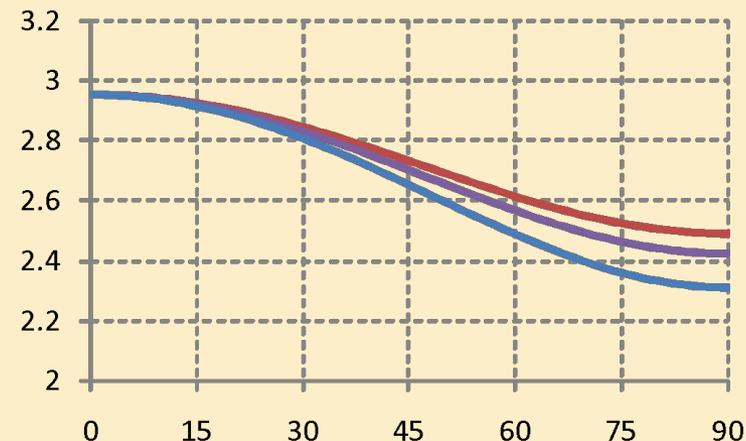
# Зависимость поведения скоростей от распределения объема трещин по их форме

$V_p$ , км/с



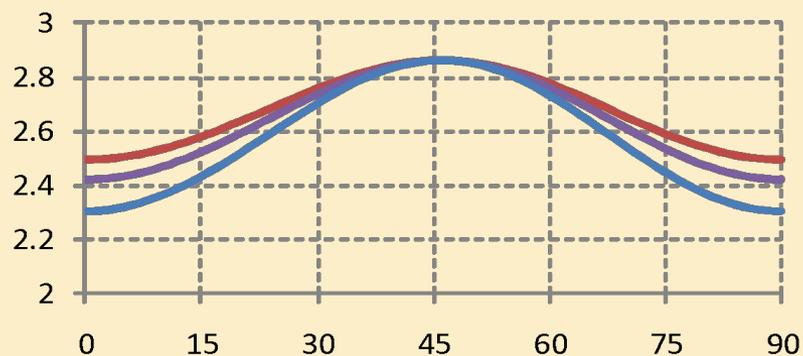
Угол между осью скважины и плоскостью трещин, град

$V_{s1}$  ( $V_{sh}$ ), км/с



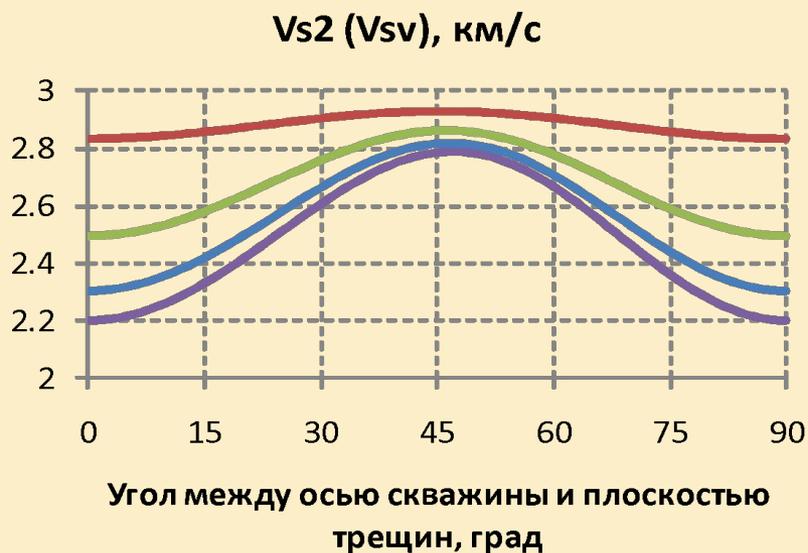
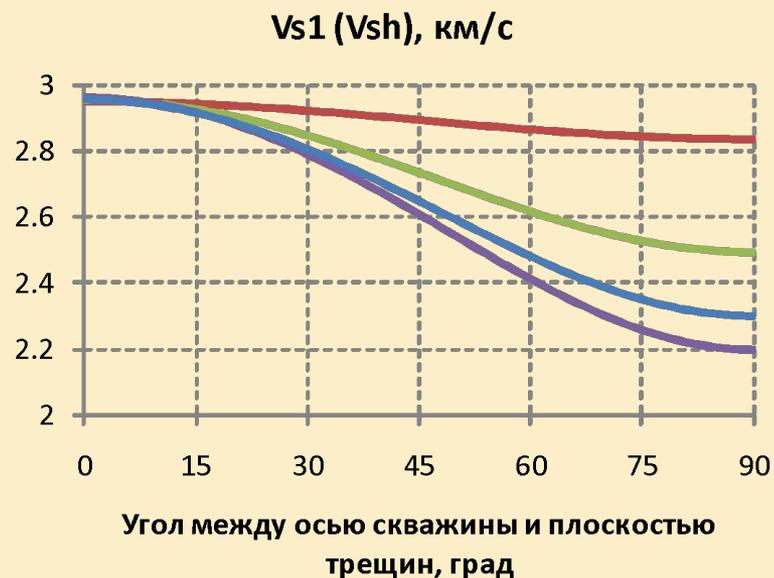
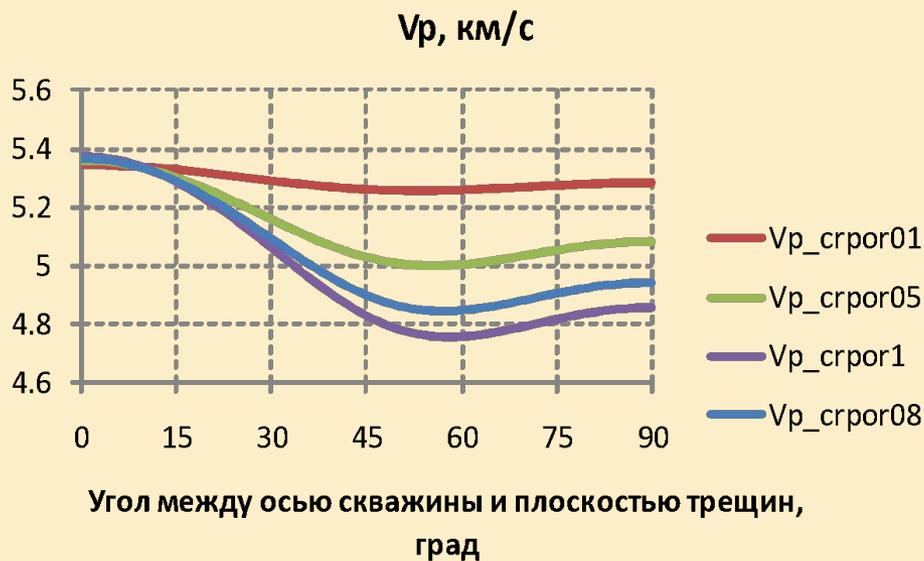
Угол между осью скважины и плоскостью трещин, град

$V_{s2}$  ( $V_{sv}$ ), км/с

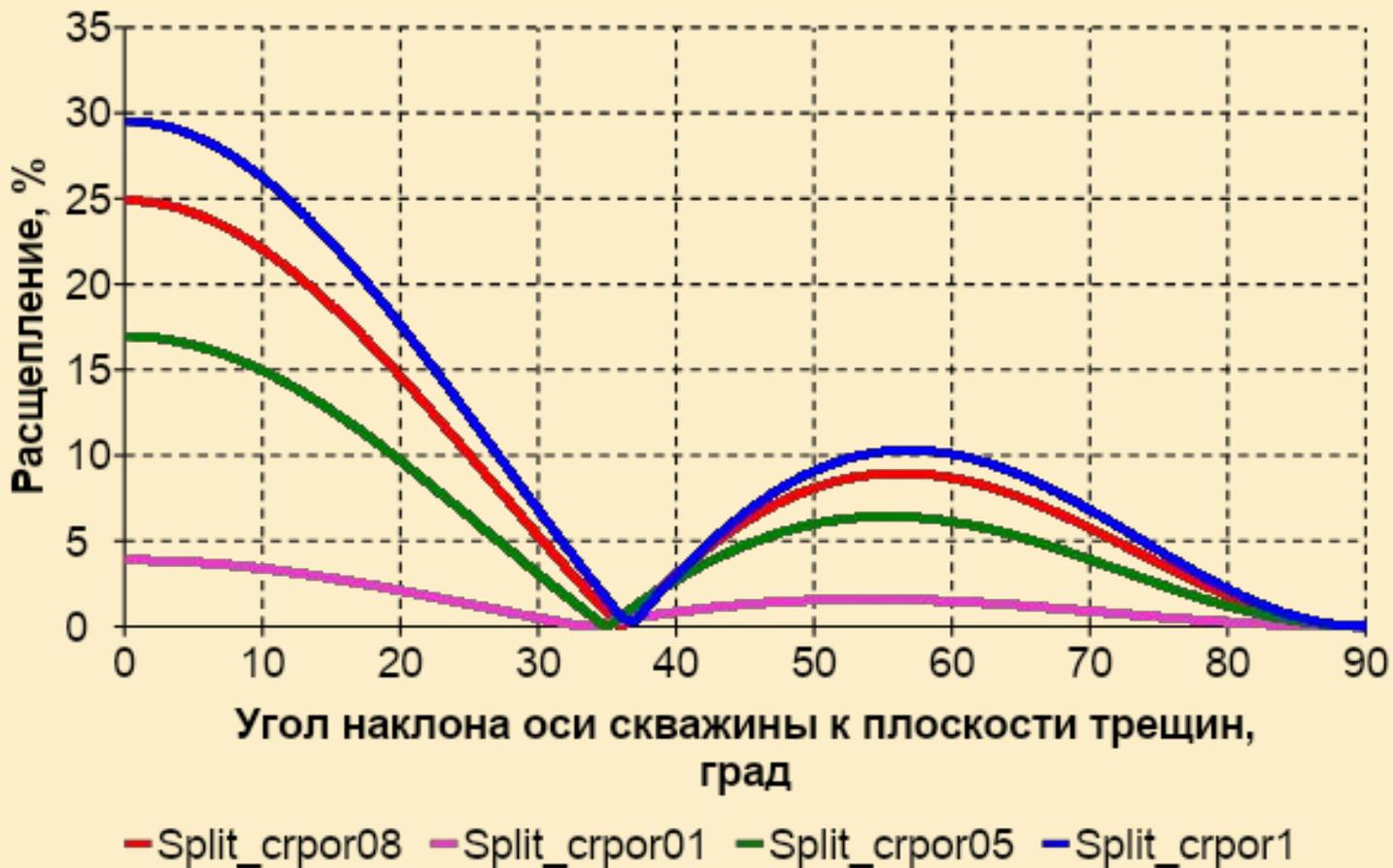


Угол между осью скважины и плоскостью трещин, град

# 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:

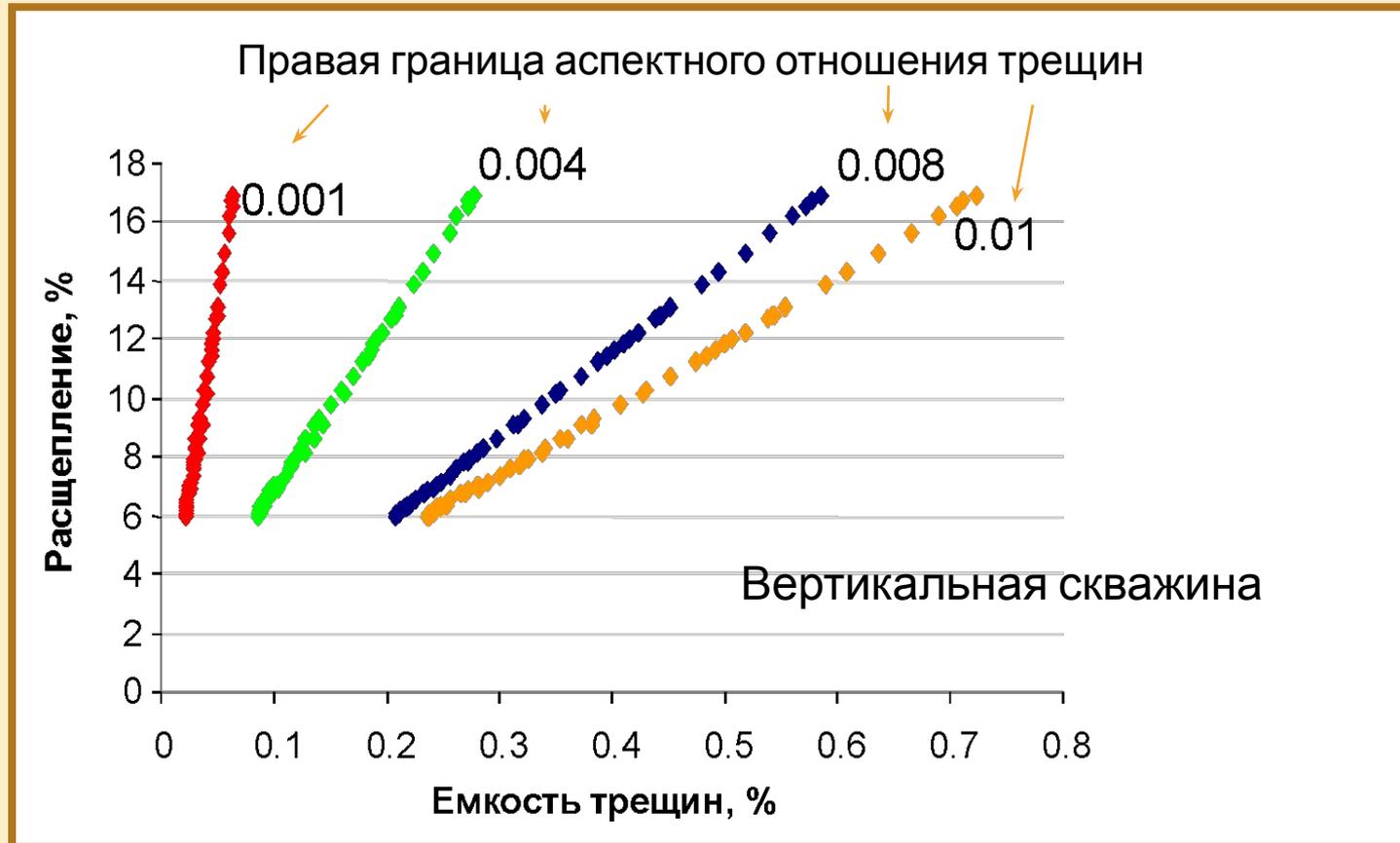
↓

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

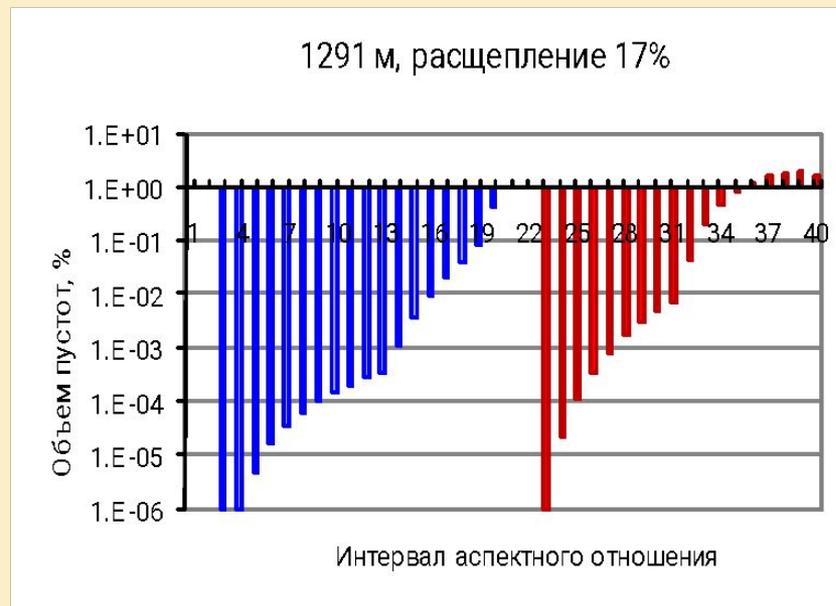
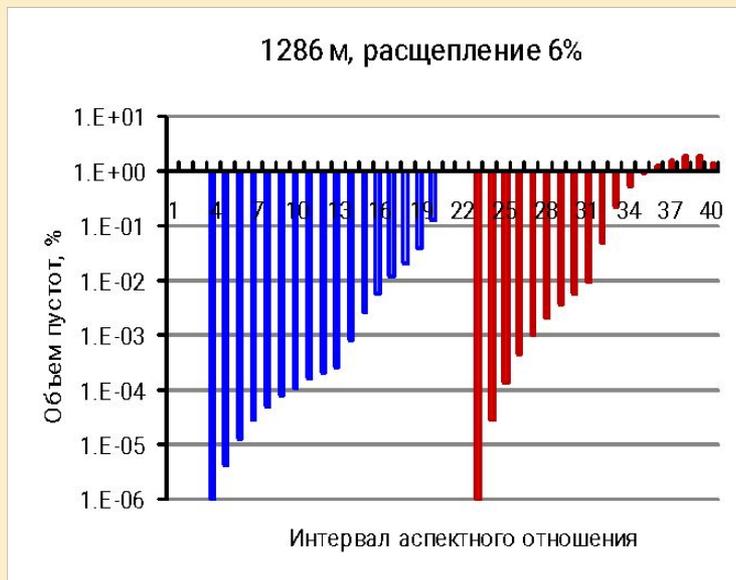
## Выходные параметры:

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

# Результаты: зависимость истинного расщепления от емкости трещин

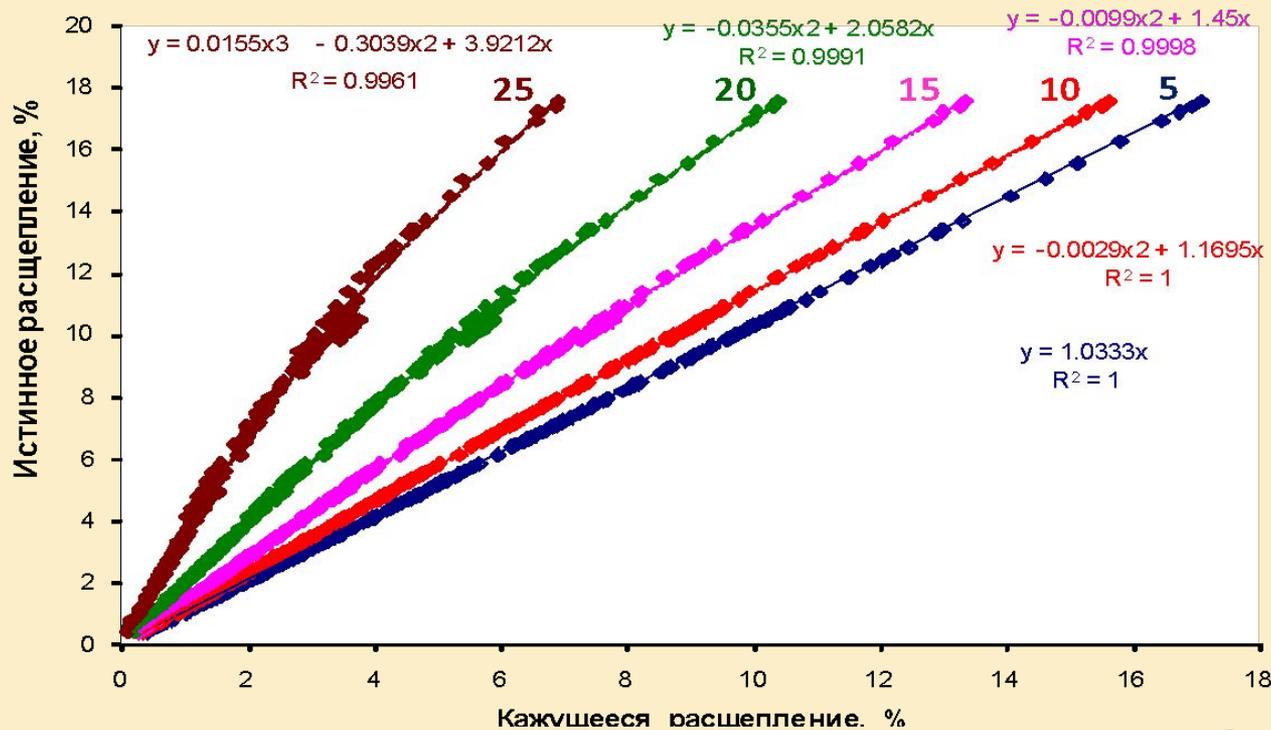


# Результаты: гистограммы распределения емкости трещин и объема пор по аспектным отношениям



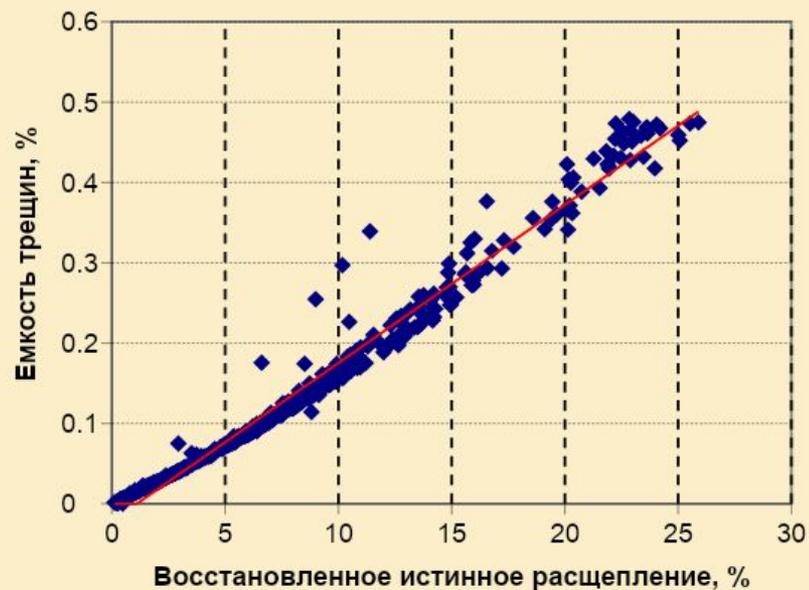
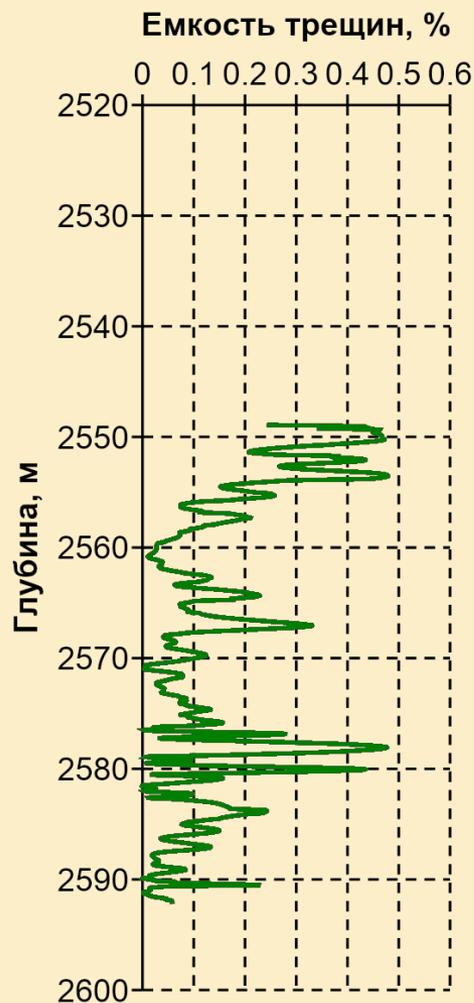
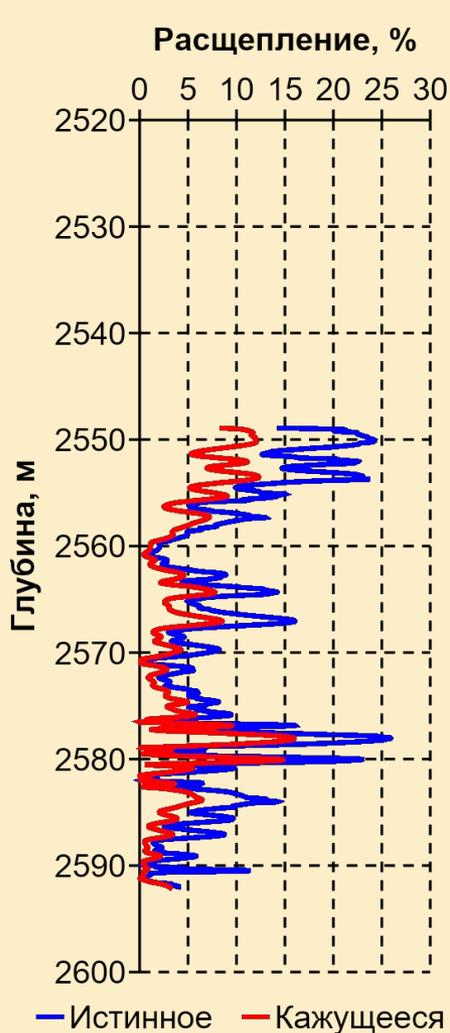
До аспектного отношения  $1e-4$  включительно ширина одного интервала аспектного отношения равна  $2.5e-5$  (интервалы 1 – 4). Для аспектных отношений, больших  $1e-4$  и до  $1e-3$  включительно, ширина интервала составляет  $1e-4$  (интервалы 5 – 13). До аспектных отношений  $0.01$  включительно ширина 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

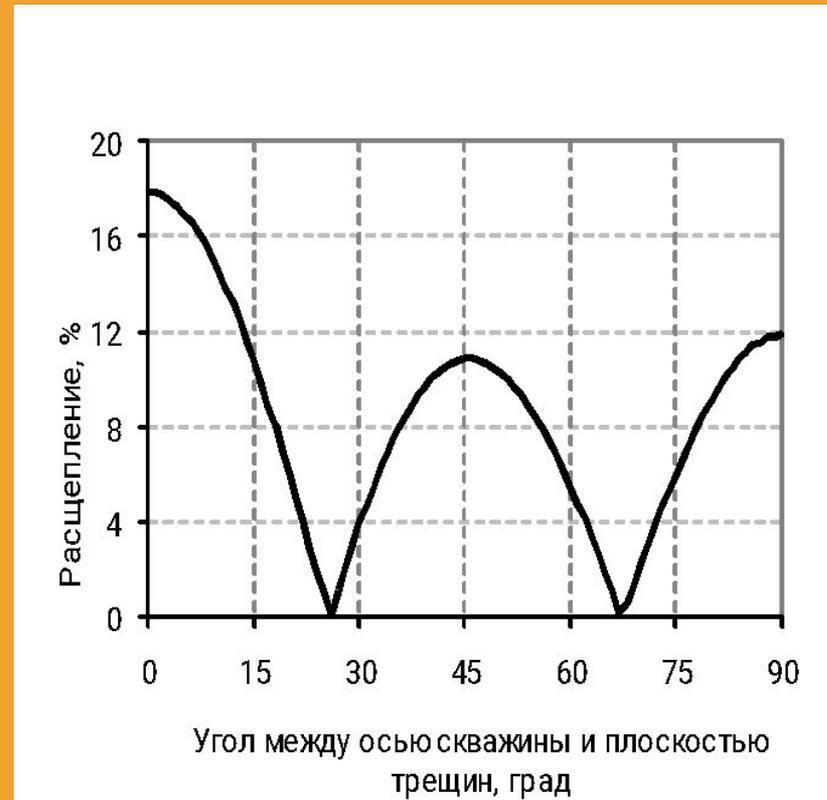
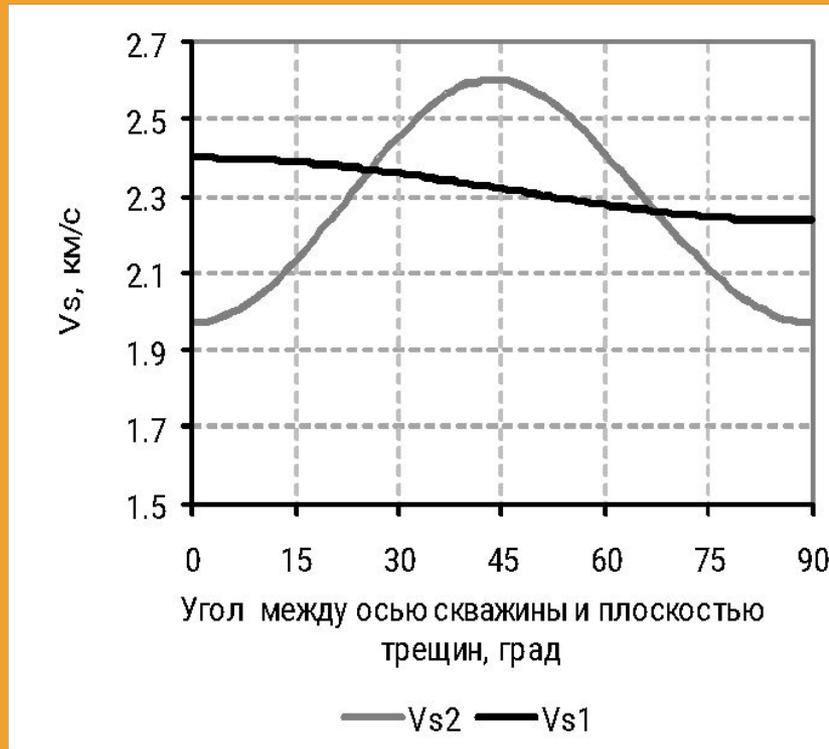


Цифрами на кривых показано значения угла наклона оси скважины к плоскости трещин

# 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!*