

## **Введение**

Трещиноватые месторождения составляют приблизительно 60% доказанных мировых запасов нефти и 40% мировых запасов природного газа. Логично предположить будущее увеличение добычи из трещиноватых коллекторов, так как множество «классических» терригенных месторождений находятся на стадии истощения. На территории России одним из потенциально интересных районов является фундамент Западной Сибири, который характеризуется слабой изученностью.

Трещиноватые коллекторы имеют сложное строение, в отличие от более «унифицированных» поровых терригенных природных резервуаров.

Понимание характеристик трещин критично для нефтегазодобывающих компаний, тратящих впустую огромные деньги на бурение новых скважин, которые оказываются «сухими». Чрезвычайно важно понимать фильтрацию флюидов в резервуарах такого типа, более геологично моделировать поведение фильтрации, чтобы достичь максимального уровня добычи. Более полная оценка приведет к наиболее рациональному подходу при планировании стратегий бурения и последующей разработки.

Методами для прогнозирования и оценки поведения коллекторов являются геологическое и гидродинамическое моделирование. Одним из способов геологического моделирования трещиноватых коллекторов является создание модели двойной пористости с построением дискретной сети трещин (Discrete Fracture Network), которая позволяет оценить и смоделировать поведение резервуара более геологично, в отличие от моделей одинарной пористости, а так же непрерывной сети трещин (Continuum Fracture Network).

Во время геологического моделирования, наибольшие неопределенности возникают при анализе и построении сети трещин.

Целью работы является количественное определение чувствительности геологических неопределенностей при построении DFN на прогнозы добычи (КИН, обводненность), как функцию от интенсивности, длины и ориентации трещин в трещиноватом резервуаре.

Задачи:

- Создать дискретную сеть трещин (DFN), используя данные реального месторождения Томской области,
- Провести анализ таких геологических неопределенностей как интенсивность, длина и ориентация трещин при построении DFN,
- Оценить влияние параметров трещин на прогноз добычи (КИН, обводненность).

Основные положения, выносимые на защиту: важность понимания влияния геологических неопределенностей при построении дискретной сети трещин на прогнозирование добычи.

Научная новизна и практическая значимость полученных результатов заключается в применении количественной оценки геологических неопределенностей при построении дискретной сети трещин на месторождении X. Построение дискретной сети трещин может позволить уточнить гидродинамическую модель и сделать оценку рисков и прогнозировании добычи более корректным и геологичным.

Вкладом автора в решение задачи является решение поставленных задач и достижение цели – количественным определением чувствительности геологических неопределенностей при построении DFN на месторождении X.

### **Глава 3. Методика исследований**

#### *Методы, используемые для решения задач*

Для достижения цели и решения поставленных задач были проделаны следующие процедуры: анализ исходных данных, цифровое геологическое моделирование и анализ полученных результатов

#### *Дискретная сеть трещин*

DFN – дискретная сеть трещин: трехмерная цифровая модель, в которой трещины представлены как конечные поверхности с определенными механическими и гидравлическими свойствами. DFN является одним из основных компонентов при создании моделей двойной пористости: трещин и матрицы горной породы.<sup>[4]</sup>

Фундаментальная мотивация моделирования DFN – определение ограниченного количества дискретных путей, сформированных трещинами. Метод DFN может быть определен как анализ и моделирование, которое напрямую включает геометрию и свойства дискретных элементов, как центральных компонентов, контролирующих фильтрацию флюида.

Дискретная сеть трещин помогает понять пути наиболее вероятного течения флюида.

Основные параметры дискретной сети трещин<sup>[11]</sup>: интенсивность (обычно используют параметр P32: площадь трещины/объем горной породы), длина, ориентация в пространстве (угол наклона и азимут наклона), а также апертура, которая обуславливает проницаемость.

Необходимой информацией для построения DFN является знание геологии (литология, обстановка осадконакопления, дигенетические преобразования), формирование представления о тектонических движениях в регионе и на месторождении и, соответственно, о распределении и направлении тектонического стресса, который напрямую влияет на процесс

трещинообразования. Данные по геометрии трещин: простирание, угол наклона – как правило, получают из микроимэджеров или керна. Так же важны динамические данные по ГДИС или истории добычи для калибровки сети трещин.

Желательны так же лабораторные геомеханические исследования керна, 3D сейсморазведка для определения интенсивности трещин в межскважинном пространстве, данные по поглощения бурового раствора, а так же любые другие данные, которые могут быть прямыми или косвенными признаками трещинных интервалов или характеризовать трещины в коллекторе.

После построения сети трещин применяется апскейлинг с помощью метода Ода<sup>[10]</sup>, на выходе получаются кубы проницаемости по трем направлениям (x;y;z), куб трещинной пористости (обычно с пористостью менее 0,01), а так же куб с сигма-фактором в каждой ячейке, который обуславливает взаимодействие между кубами пористости/проницаемости матрицы и трещин.<sup>[8]</sup>

Метод позволяет прогнозировать полный комплекс параметров трещиноватости и использовать их в дальнейшем при перемасштабировании модели трещинной пористости, проницаемости и сигма-фактора для гидродинамического моделирования.

Пространственное распределение CFN (Continuum Fracture Network – непрерывная сеть трещин) интенсивности трещин обычно используется при отсутствии детальной информации об индивидуальных свойствах трещин, обычно на стадии проведения геолого-разведочных работ или на ранней стадии оценочного бурения, когда данные о трещиноватости по пробуренным скважинам отсутствуют или их накоплено очень мало.<sup>[6]</sup>

Основными отличиями дискретной сети трещин от непрерывных моделей трещин, является реализм, так как в итоге дренируется намного меньшая часть резервуара.<sup>[24]</sup> Так же в CFN имеет место быть допущение непрерывности, что

негеологично, так как непрерывный метод не может соответствовать дискретным геологическим путям течения флюида в трещиноватом резервуаре

### *Главные геологические неопределенности при построении DFN*

При построении DFN важными параметрами, оказывающими влияние на характер сети трещин, являются:

- интенсивность трещин и ее пространственное распределение,
- геометрия трещин: форма, отношение длины к высоте, характер распределения длины трещин, а так же диапазон значений, особенно важными является параметр максимальной длины,
- ориентация в пространстве,
- раскрытость, которая обуславливает проницаемость трещин

## *Исходные данные*

### 1. Ячеистая геологическая модель.

Трехмерная геологическая модель, построенная в программном продукте Petrel, которая представляет собой совокупность следующей информации:

- скважинные данные (траектории скважин, кривые каротажа, данные по интерпретации ГИС);
- отбивки пласта по скважинам;
- поверхности кровли и подошвы пласта, поверхность кровли пласта отстроена с использованием карты отражающего сейсмического горизонта;
- поверхность ВНК;
- кубы песчаности, водонасыщенности, пористости и проницаемости.

### 2. Интерпретация данных электрического микроимиджера (СМІ)

Основные области применения СМІ:

- Структурный анализ – определение структурных углов
- Оценка трещиноватости – ориентация системы трещин,
- Седиментологический анализ – фациальный анализ,
- Описание керна – калибровка и ориентация керна, увязка данных керна и электрического микроимиджера,
- Оценка фильтрационно-емкостных свойств – анализ тонких пластов,
- Оценка кавернозности, включений и идентификация наслоений.

Микроимиджер позволяет определить характер трещины: закрытые трещины, залеченные цементом, имеют высокую проводимость, а открытые трещины, заполненные пресным буровым раствором, имеют низкую.<sup>[19]</sup> В ходе

проведения геофизических операций, проводимых в скважине, использовался проводящий биополимерный буровой раствор. Следовательно, доступно только определение пространственных характеристик, а выделение закрытых или открытых трещин невозможно.

В ходе интерпретации трещин были выделены техногенные трещины, вывалы, а так же естественные трещины.

Вывалы определяются как увеличение диаметра скважины по одной из ее осей вследствие компрессионных разрушений породы и обрушения стенок скважины. В вертикальных скважинах ориентация основного направления обрушений является направлением минимального горизонтального стресса.

Техногенные трещины – трещины вызванные бурением. Эти трещины проявляются на противоположных сторонах скважины. В вертикальных скважинах ориентация основного направления техногенных трещин является направлением максимального горизонтального стресса.



Максимальный стресс

Минимальный стресс

Рисунок 9. Пример моделирование обрушений стенок скважины, под воздействием неравных горизонтальных напряжений (максимального и минимального стресса) <sup>[20]</sup>

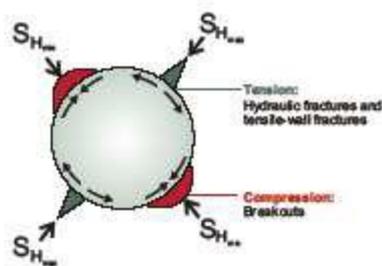


Рисунок 10. Направления максимального и минимального стресса и ориентация техногенных трещин, созданных в процессе бурения<sup>[20]</sup>

3. Данные анизотропии поперечных волн в комплексе кросс-дипольного акустического каротажа (CXD).

Для определения анизотропии скоростей поперечных волн используется модификация метода Алфорда, основанная на вращении поляризации поперечной волны за счет комбинации зарегистрированных полей до получения быстрой и медленной волн.<sup>[34]</sup> Это позволяет выявить прямым измерением анизотропные (трещиноватые) интервалы. Коэффициент анизотропии поперечных волн рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Anisotropy} = (S_{\text{SLOW}} - S_{\text{FAST}}) / (0.5 * (S_{\text{SLOW}} + S_{\text{FAST}})) * 100\%,$$

где:  $S_{\text{SLOW}}$  – интервальное время медленной поперечной волны;

$S_{\text{FAST}}$  – интервальное время быстрой поперечной волны.

Возникновение анизотропии скоростей поперечных волн в горных породах обусловлено тремя основными механизмами:

- наличие в породе горизонтальных напряжений;
- присутствие ориентированной субвертикальной трещиноватости;
- наклонное залегание пластов относительно оси скважины

### *Предполагаемая тектоническая история*

На территории месторождения проводился ряд исследований<sup>[3]</sup>, включающих, анализ глобальных тектонических движений и интерпретацию трехмерных сейсмических кубов. Полученные данные были анализированы и составлена возможная тектоническая история. В целом, при грубом анализе, можно выделить несколько условных тектонических событий.

К первому тектоническому событию можно отнести события среднего и позднего девона ( $D_2$ - $D_3$ ), активная разломная тектоника имела место во время накопления биогерма. Формировались разломы СВ-ЮЗ ориентации.. В раннее каменноугольное время (С) происходит усиление тектонической активности по существующим СВ-ЮЗ разломам.

Второе тектоническое событие происходило в позднем каменноугольном и раннепермском периодах ( $C_3$ - $P_1$ ), замыкание геосинклинальной системы: деформации горизонтального сжатия и вертикального подъема в момент активной блоковой и разрывной активности.

В триасе происходило заложение грабенов СВ-ЮЗ направления, формирование новых СВ-ЮЗ восточных разломов, активация старых СЗ-ЮВ. Эти можно отнести к третьему тектоническому событию.

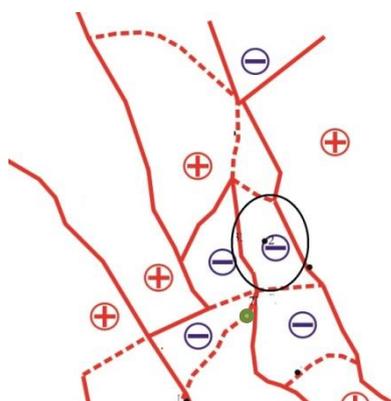


Рисунок 11. Схема разломов участка и предполагаемые вертикальные движения, кругом выделена исследуемая зона, зеленой точкой отмечено положение скважины, имеющей данные СМТ<sup>[3]</sup>

## Анализ исходных данных СМІ

Исходный массив трещин имеет данные о глубинной отметке трещины, ее углу падения и азимуту падения. Данные скорректированы за отклонения ствола скважины.

Для анализа трещин и последующей классификации был применен геометрический подход, параметры пространственной ориентации отображались с помощью диаграммы Шмидта, а так же «головастиков».

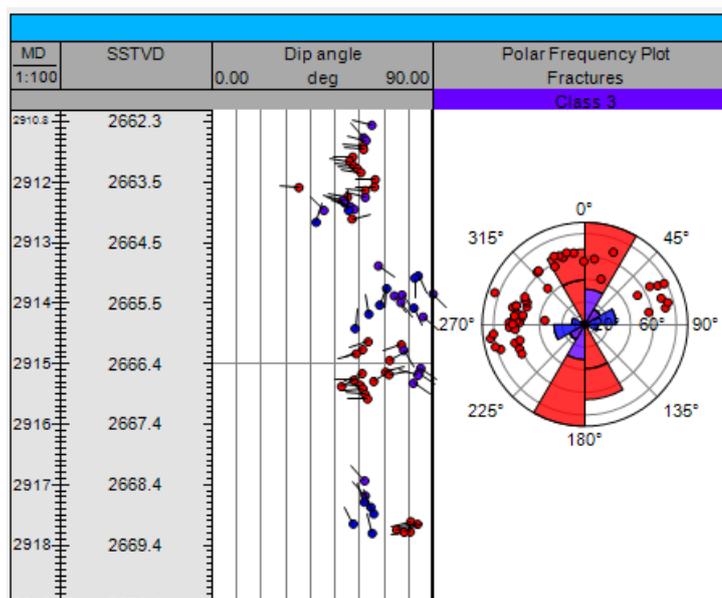


Рисунок 12. Фрагмент корреляционной панели с отображением распространения трещин по длине скважины

В ходе анализа было выделено три главных направления простирания трещин:  $164^{\circ}$ - $344^{\circ}$ ,  $82^{\circ}$ - $262^{\circ}$ ,  $22^{\circ}$ - $202^{\circ}$ .

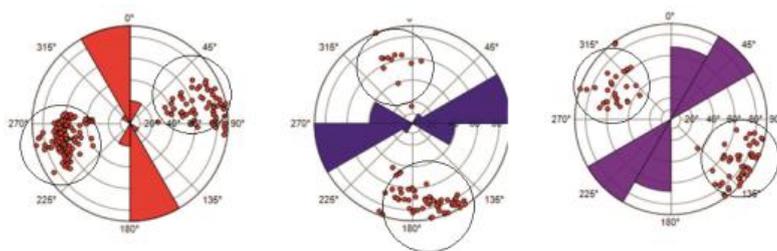


Рисунок 13. Диаграммы Шмидта, три главных направления простирания трещин (точками отмечены азимуты падения)

Преобладающие углы наклона трещин составляют 64 градуса, но так же встречаются субвертикальные трещины.

Зачастую, трещины с одинаковым простиранием имеют разный (противоположный) азимут падения, что говорит о присутствии системы трещин растяжения (продуцированные касательным напряжением), которые обычно составляют пару в крест лежащих трещин под углом 60 градусов. Трещины с аналогичным простиранием и углом наклона почти 90 градусов имеют сходство с трещинами сжатия.

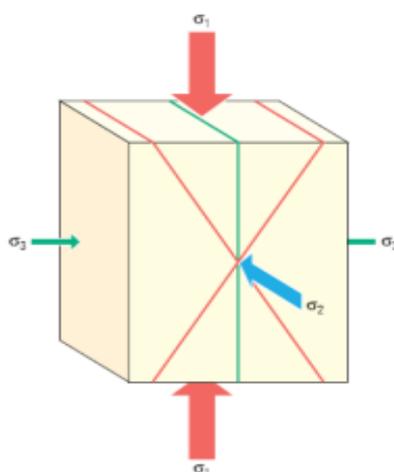


Рисунок 14. Красным цветом отображены трещины растяжения, зеленым сжатия.<sup>[2]</sup>

#### *Концептуальная модель трещинообразования*

Согласно выше описанной тектонической истории и проанализированным данным СМІ, используя некоторые допущения, была предложена следующая концепция.

Трещиноватость горных пород имеет в основном тектоническое происхождение, развиваясь при складкообразовании или в связи с образованием разломов и обособлением отдельных блоков. Так же иногда она может быть обусловлена различными в разных зонах скоростями диагенеза и литификации осадков.

На месторождении X трещинообразование связано в первую очередь со сложными разнонаправленными дизъюнктивными тектоническими процессами.<sup>[4]</sup> Каждый из трех типов трещин с одинаковым простиранием имеет общий генезис. Предполагается, что разломы, образованные в ходе тектонических событий, описанных выше, являются сбросами: отношения напряжений при генезисе:  $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$ , значит, исследуемые трещины можно ассоциировать с формированием разломов определенного простирания, а также, предположить их время образования. Большое влияние должны оказывать разломы, находящиеся в непосредственной близости от скважины, имеющей данные СМІ.

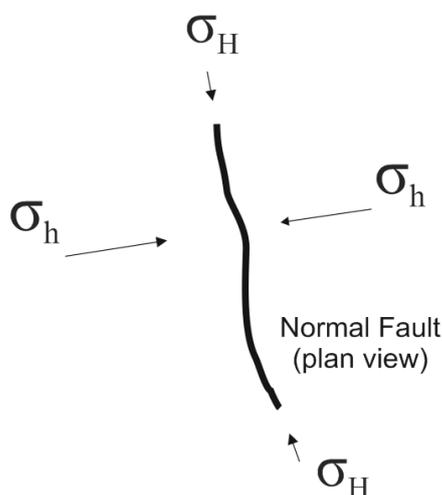


Рисунок 15. Направление максимального горизонтального и минимального горизонтального напряжений при формировании сброса, вид сверху

Согласно рисунку 14, трещины сжатия образуются параллельно двум главным напряжениям, в случае со сбросом, это вертикальное и главное горизонтальное напряжение.

То есть, во время одного тектонического события, когда формируется система разломов с одинаковым простиранием, так же формируется система трещин со сходным простиранием. Образуется в два типа трещин: сжатия и два «набора» трещин растяжения.

Класс трещин с простиранием  $164^{\circ}$ - $344^{\circ}$  имеет сходство с СВ-ЮЗ разломов девонского и каменноугольного периодов. На территории участка три крупных разлома соответствуют этому простиранию, то есть тектоническая активность в этом направлении была достаточно интенсивной, это в свою очередь, обуславливает большое количество трещин простирания  $164^{\circ}$ - $344^{\circ}$ .

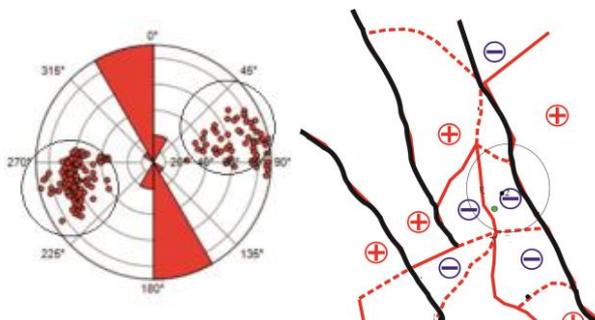


Рисунок 16. Сопоставление простирания разломов и трещин  $164^{\circ}$ - $344^{\circ}$

Простирание трещин  $82^{\circ}$ - $262^{\circ}$  можно соотнести со вторым тектоническим событием ( $C_3$ - $P_1$ ) и разломом, находящимся в непосредственной близости от скважины с данными СМІ. Наличие только одного разлома обуславливает меньшее количество трещин, чем в первом случае.

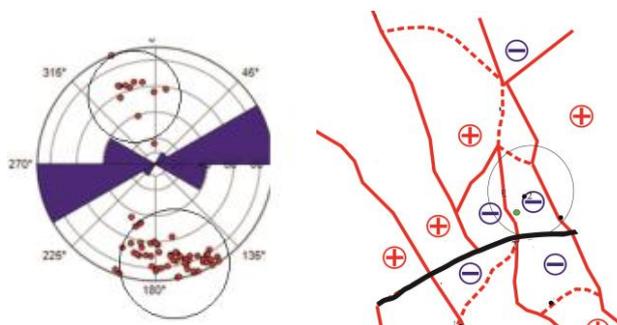


Рисунок 17. Сопоставление простирания разломов и трещин  $82^{\circ}$ - $262^{\circ}$

Трещины с направлением  $22^{\circ}$ - $202^{\circ}$  с третьим тектоническим событием (Т), когда происходило заложение грабенов СВ-ЮЗ направления, формирование новых СВ-ЮЗ восточных разломов. На участке, близком к скважине, находится один разлом СВ-ЮЗ ориентации, этим так же объясняется не густое появление в скважине трещин данного простирания.

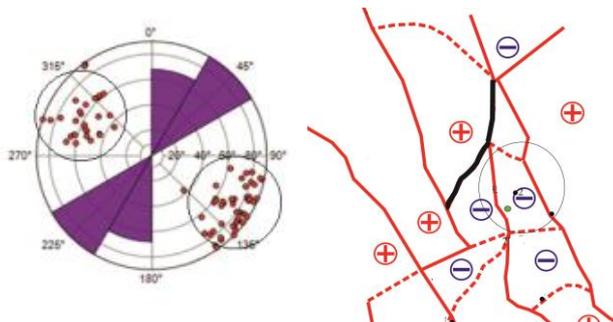


Рисунок 18. Сопоставление простирания разломов и трещин 22<sup>0</sup>-202<sup>0</sup>

#### *Анализ исходных данных CXD*

Использование проводящего бурового раствора привело к невозможности использовать микроимиджер для определения открытости/закрытости трещин.

Моделирование всех трещин, интерпретированных по СМІ, общее число которых составляет 356 на 55 метров (6,4 трещины/м), приводит к сильно завышенному параметру интенсивности трещин, что напрямую сказывается на значениях проницаемости сети трещин и значительно увеличивает скорость фильтрации флюида. Это приводит к полному несоответствию с реальным потенциалом работы месторождения, оказывая значительное влияние на будущие прогнозы параметров разработки.

Для идентификации интервалов с большим процентом открытых трещин были использованы значения коэффициента анизотропии поперечных волн больше 2%.<sup>[13]</sup>

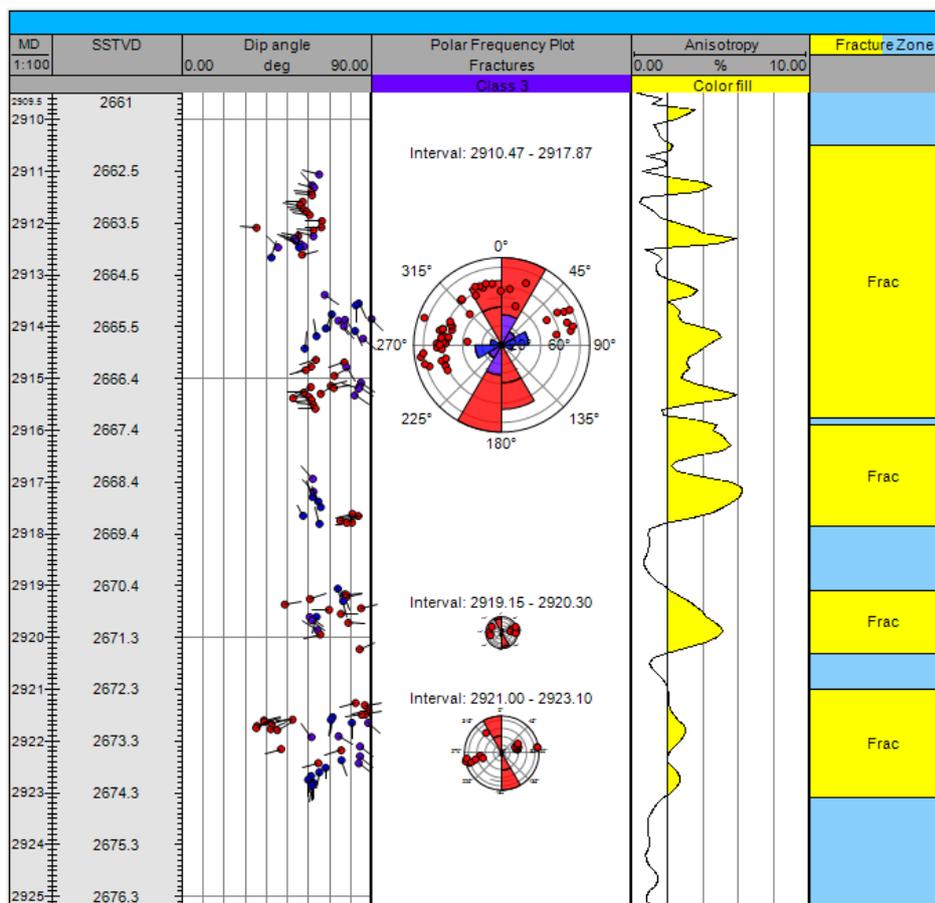


Рисунок 19. Фрагмент корреляционной панели с отображением трещин попадающих в зону коэффициента анизотропии скоростей поперечных волн

После применения данной операции количество потенциально открытых трещин сократилось до 140 (2,5 трещины/м)

### *Итоговая классификация трещин*

Для итоговой классификации использовались данные по трещинам, находящимся в интервалах с наиболее вероятной открытостью трещин. В целом распределение трещин изменилось не значительно, по сравнению с анализом полного комплекса трещин.

Классификация по простиранию подходит для понимания генезиса трещин, но не для моделирования сети трещин, так как необходимо задавать индивидуальные свойства каждому типу трещин (ориентация, длина, интенсивность), а трещины, относящиеся к одному простиранию, имеют разные азимуты падения (у трещин растяжения).

Согласно этому было решено выделить 6 классов трещин (рисунок 20).

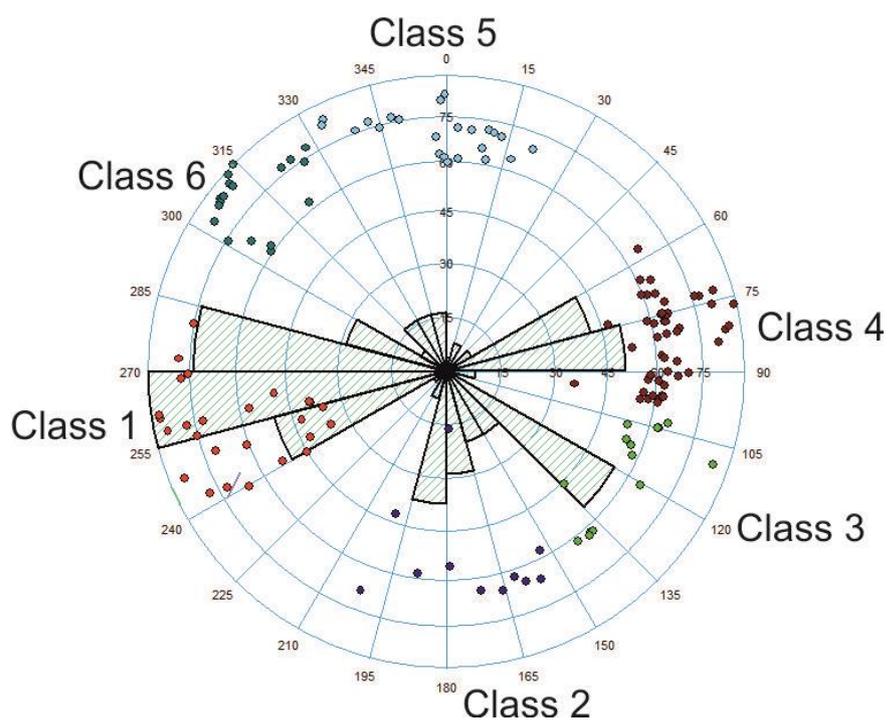


Рисунок 20. Классификация потенциально открытых трещин

## *Создание дискретной сети трещин в геологической модели*

Для моделирования дискретной сети трещин использовался программный продукт Petrel компании «Schlumberger».

Как уже упоминалось ранее, для создания DFN требуется определение параметров интенсивности трещин, их длины, ориентации и апертуры.

Апертура трещин и связанные с ней неопределенности не учитывались в ходе данной работы. Значения апертуры были приняты равные значениям, стоящим в настройках по умолчанию в Petrel при создании сети трещин: нормальное логарифмическое распределение со средним значением апертуры 0.00075, максимальным значением 0.005 и стандартным отклонением 0.00015.

Было определено, что сеть трещин должна состоять из 6 классов трещин, выделенных ранее. Для каждого класса присваивается свое свойство (интенсивность, средние значения угла и азимута падения, а также длины трещины)

### *Интенсивность*

Результатом входных данных для DFN является куб интенсивности P32. В случае с месторождением X таких кубов должно быть 6.

Для построения куба интенсивности используется кривая интенсивности P32, которая проходит процедуру апскейлинг согласно разделению модели на зоны по вертикали, а затем, используя метод SGS, получает распространение по всей ячеистой модели, используя в качестве тренда кровлю резервуара, полученную с помощью сейсмики.

Параметр P32 является отношением суммы площадей трещин на единицу объема [ $\text{м}^{-1}$ ].

Для получения кривой интенсивности P32 используется следующая формула<sup>[5]</sup>:

$$\text{intensity}(md) = (\text{cumulative}(md + w/2) - \text{cumulative}(md - w/2)) / w$$

где  $md$  – глубина,  $w$  – длина окна усреднения,  $\text{cumulative}$  – общая площадь трещин, попавших в интервал усреднения

Так как вычисление интенсивности P32 из исходных данных имеет большую неопределенность из-за не непрерывности данных о трещинах по глубине, а так же их малого количества, Petrel позволяет получить на выходе низкие (P10 перцентиль), средние (P50 перцентиль) и высокие значения (P90 перцентиль) интенсивности P32.

Большое значение имеет выбор размера окна для усреднения значения интенсивности. В рамках данной работы эти значения было взято значение 2,5 м, что объясняется большой частотой встречаемости трещин по разрезу.

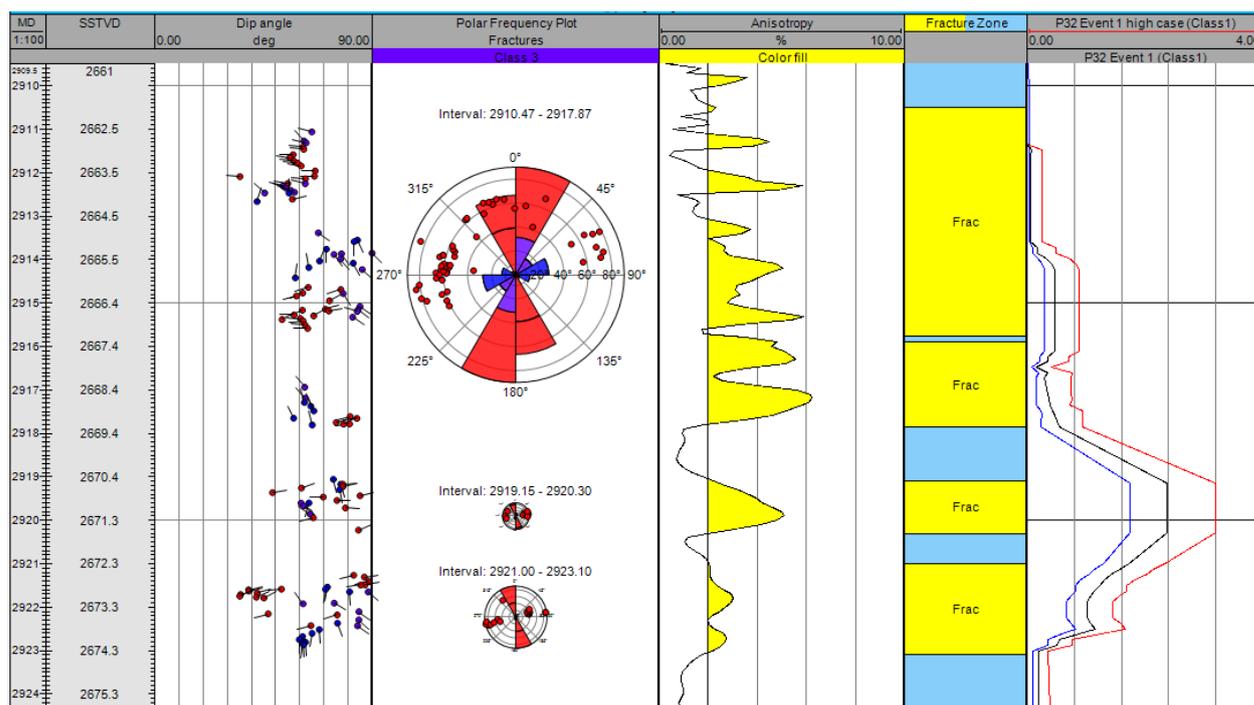


Рисунок 21. Фрагмент корреляционной панели с отображением рассчитанных низких, средних и высоких значений P32 для класса 1

Для распределения значений интенсивности использовалось распределение значений, встречаемых в скважине. Вариограммы не были использованы, так как данные имеются только по одной скважине.

Участки с наиболее резкими перепадами высот (зоны сгущения изолиний) предположены, как зоны потенциального увеличения интенсивности трещин и использованы как трендовая поверхность при стохастическом распределении интенсивности. [29]

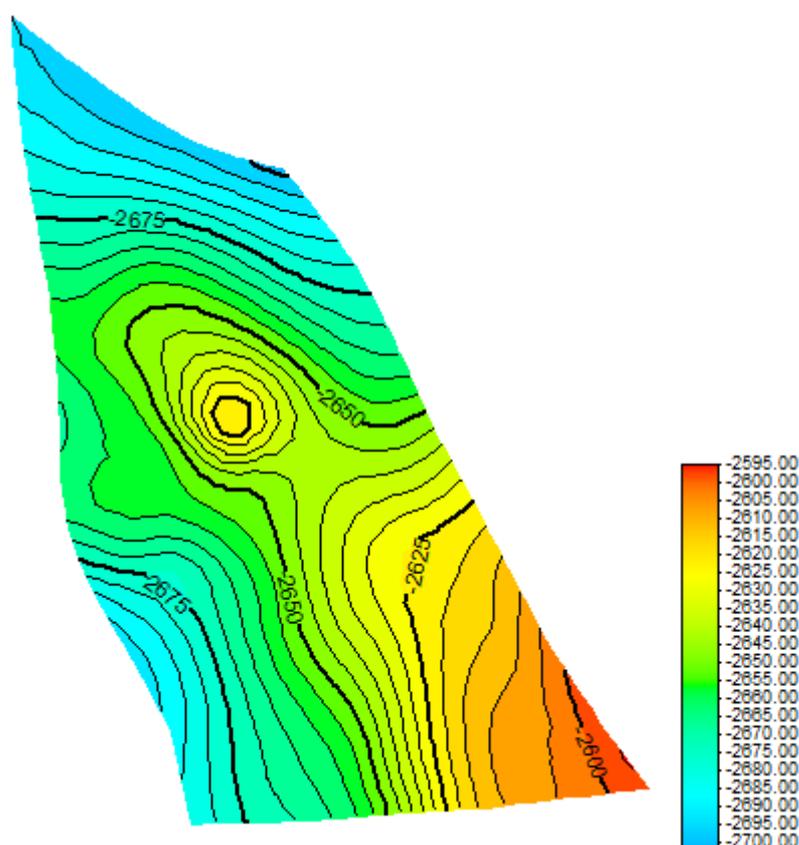


Рисунок 22. Поверхность кровли резервуара

Так же в Petrel была построена тектоническая модель, основанная на разломах, окружающих участок, включающая в себя несколько тектонических событий (описаны в предыдущих разделах). Модель должна была использоваться как тренд для увеличения трещиноватости в зонах, смежных с разломами. К сожалению, из-за недостатка требуемых данных, модель оказалась невысокого качества, и ее использование было признано неактуальным.

Для последующего анализа чувствительности и выполнения множественных реализаций сети трещин будут использоваться низкий, средний и высокий куб интенсивности.

### *Длина трещин*

Для построения DFN требуется определения параметров отношения длины трещины к высоте, выбор типа распределения длины, а так же максимальное значение длины трещин.

Отношение длины к высоте трещин было выбрано равное 5, как наиболее встречаемое в исследованиях обнажений трещиноватых формаций.<sup>[19]</sup>

Степенной метод с распределением Парето был использован для определения распределения длин трещин, так же основываясь на исследованиях обнажений, которые говорят, что данный тип распределения является наиболее подходящим для описания распределения природных трещин в горных породах.<sup>[19]</sup>

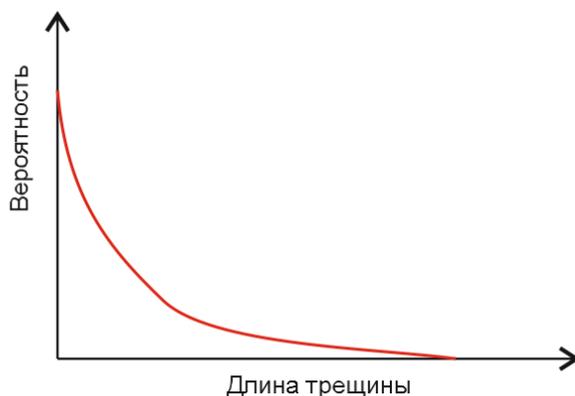


Рисунок 23. Кумулятивная функция распределения Парето

Максимальная длина трещин является наибольшей неопределенностью в изучении трещиноватых коллекторов. Основным источником являются геологические обнажения тех же формаций, которые являются коллекторами. В этом плане являются идеальными обнажения на побережье Бразилии, где обнажения трещиноватых карбонатных отложений являются аналогом коллекторов, находящихся на шельфе Бразилии.<sup>[31]</sup> К сожалению, для месторождения X таких аналогов обнаружено не было. В связи с этим, было предложено взять низкую максимальную длину трещин равную 100 м, среднюю – 1000 м, высокую – 2000 м. Для последующей оценки

чувствительности этого параметра выбранный диапазон 100 – 2000 м. Такой диапазон значений был выбран согласно анализу источников литературы<sup>[19]</sup>, как наиболее часто применяемый при моделировании сети трещин и малом количестве входных данных, а так же на учебном месторождении Тиapot<sup>[32]</sup>.

### *Ориентация*

Для задания ориентации трещин в пространстве используется метод Фишера, который заключается в требовании средних значений углов и азимутов падения трещин, а так же концентрации<sup>[22]</sup>. Параметр концентрация отвечает за степень дисперсии средних значений углов и азимутов падения трещин, и варьируются от 0 до 100. 0 – низкая концентрация – высокая дисперсия значений, 100 – высокая концентрация, низкая дисперсия.

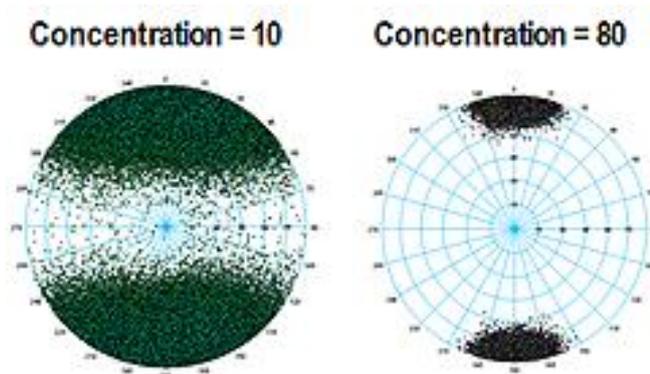


Рисунок 24. Пример варьирования значений концентрации

Предполагается, что ориентация трещин, наблюдаемых в скважине с СМІ так же характерно и для всей площади месторождения. Согласно этому каждому из 6 классов трещин, выделенных ранее, было присвоено свое среднее значение углов и азимутов падения.

### *Множественные реализации сети трещин и апскейлинг*

Для сокращения времени расчетов модели от создания сети трещин до выводов графиков после гидродинамического моделирования, было принято обрезать модель месторождения, так как одна реализация полной модели

занимала около 20 минут. Все последующие операции происходили уже на обрезанном участке.

После определения с параметрами DFN для варьирования, было запущено множество реализаций для максимальной длины трещин (100-2000 м), концентрации (10-80). Параметр интенсивность, является не таким гибким, как предыдущие два параметра, позволяя изменять только три случая: низкой, средней и высокой интенсивности. По сути, данный метод является анализом неопределенностей. Было проведено 150 реализаций.

Так же проводилось варьирование одного параметра в пессимистичном, базовом и оптимистичном случаях – 3 реализации анализа чувствительности. Это связано с малым количеством входных данных и неясностью, можно ли использовать значения (длина=1000, средняя интенсивность, концентрация=40), как базовый случай. Было проведено по 75 реализаций для каждого случая, кроме интенсивности, где было рассчитано несколько моделей.

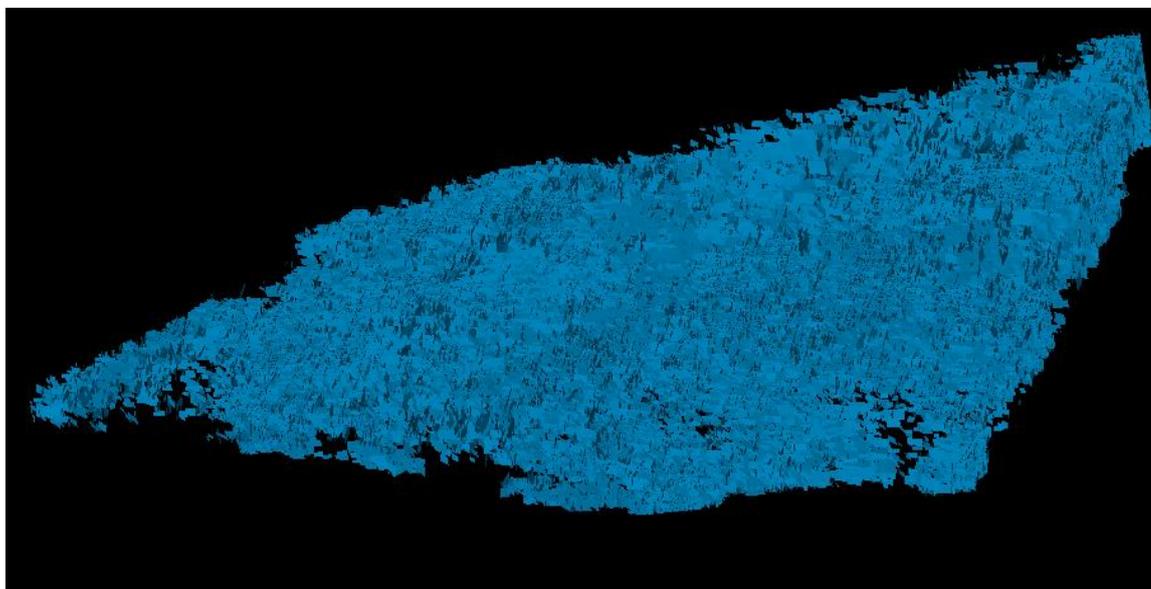


Рисунок 25. Одна из множественных реализаций сети трещин

После создания сети трещин каждая реализация проходила процесс апскейлинга методом Ода.

Апскейлинг сети трещин преобразует дискретную сеть трещин с присвоенными параметрами каждой трещине в кубы проницаемости, трещинной пористости, а также в куб сигма-фактора.

Метод Ода заключается в статистическом расчете оценки проницаемости, основанном на общей площади трещин в каждой ячейке и различных свойствах трещин.

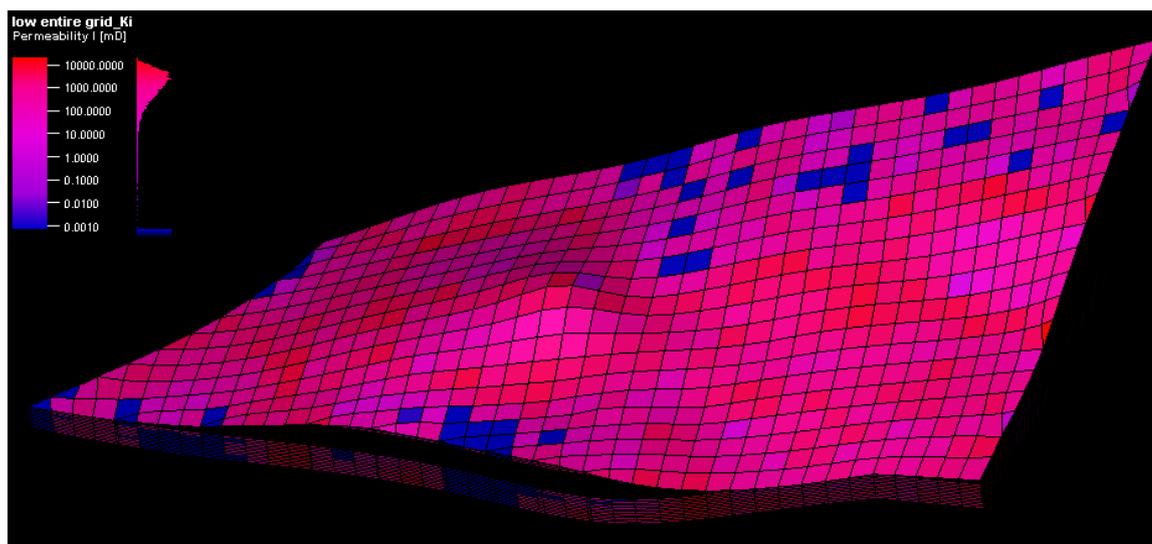


Рисунок 26. Результат апскейлинга сети трещин сети трещин на рисунке 25

### *Гидродинамическое моделирование*

Для гидродинамического моделирования было предложена 5-точечная система разработки с поддержанием пластового давления. Ограничения по разработке были поставлены по уровню обводненности: 0,98, а также по забойному давлению: 0,8 от давления насыщения. В системе 8 добывающих скважин и 7 нагнетающих скважин. Ориентация системы разработки  $270^{\circ}$ , расстояние между скважинами 500 м.



Рисунок 27. Схема разработки обрезаемого участка

## **Заключение**

В ходе работы был выполнен анализ чувствительности влияния геологических неопределенностей при моделировании дискретной сети трещин на разработку месторождений на примере нефтяного месторождения Томской области.

Главными выводами является количественная оценка влияния неопределенностей коэффициент извлечения нефти, а так же на время достижения обводненности равное 0,98, при гидродинамическом моделировании.

Наибольшей чувствительностью на КИН обладают значения интенсивности трещин и максимальной длины трещин (8,53% и 7,81%, соответственно). Связано это в первую очередь с повышением связанности сети трещин при увеличении данных параметров. Неопределенности в ориентации трещин оказывают наименьшее влияние на КИН (1,89%), так как позволяют лишь незначительно увеличить или уменьшить связанность сети трещин.

Достижение обводненности 0,98 при разработке с ППД, достигается в 3 раза раньше с большой интенсивностью трещин, чем с малой (4 и 16 месяцев после введения в эксплуатацию). Варьирование параметров максимальной длины трещин и их ориентации добавляют незначительные флуктуации в достижении заданной обводненности в пределах одного месяца.

Полученные результаты более полным образом дают понять значение геологических неопределенностей при моделировании трещин на количественном уровне, так же позволяют сделать акценты на сокращение неопределенностей с помощью дополнительных исследований, что, в свою очередь, должно привести к наиболее рациональному подходу при планировании стратегий бурения и последующей разработки, и, следовательно, к достижению максимального уровня добычи и максимально эффективному извлечению природных ресурсов из недр.

Для уменьшения главных геологических неопределенностей рекомендуются:

- дополнительные исследования скважинными микроимиджерами (для более полного понимания распределения и классификации трещин),
- извлечение керн из новых скважин и последующие геомеханические тестирования и формирование базы данных для геомеханического моделирования и создания тектонической модели,
- использование сейсмических атрибутов (Ant Tracking, Curvature), для определения плотности распределения трещин в межскважинном пространстве,
- поиск геологических аналогов: обнажений, месторождений со схожими характеристиками, данные которых могут использоваться для восполнения пробелов, например, в распределении длин трещин,
- получение данные апертуры трещин,
- калибровка данных дискретной сети трещин с данными ГДИС и историей разработки