

Проект «ЛОЗА»

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ



ООО «Тюменский институт нефти и газа»

Тюмень 2025

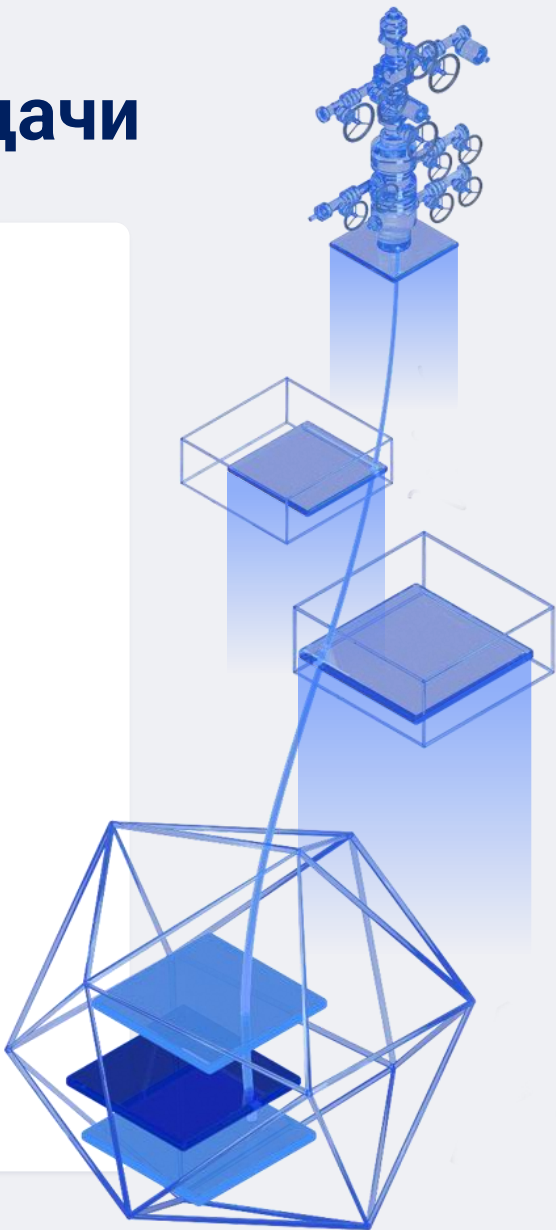
Проблема и постановка задачи

Проблема

Нереализованный потенциал повышения эффективности планирования капиталоемких ГТМ: бурение зарезок боковых стволов, ГРП и т. п.

Постановка задачи

Изменение существующего подхода к построению карт остаточных запасов нефти с учетом **всей полноты геолого-промысловой информации** и возможностей автоматизации построения постоянно-действующих ГГДМ с применением методов **машинного обучения**



Текущая успешность реализации ГТМ*

* - по данным ООО «ТИНГ»

65%
ЗБС/ЗБГС

77%
ГРП

Оценка ожидаемого эффекта

	Прирост успешности
Минимальная оценка	+2 %
Консервативная оценка	+5 %
Позитивная оценка	+10 %

Прирост выручки

+20 тыс. \$/
(год *скв)

+49 тыс. \$/
(год *скв)

+98 тыс. \$/
(год *скв)

Текущие подходы к решению задачи

Статья [1]: **Состязательные свёрточные нейронные сети в качестве эвристической модели процесса двухфазной фильтрации в пористой среде**
[А.В. Умановский](#), *Вычислительная механика сплошных сред.* – 2020, Т. 13, № 2, – с. 231-241

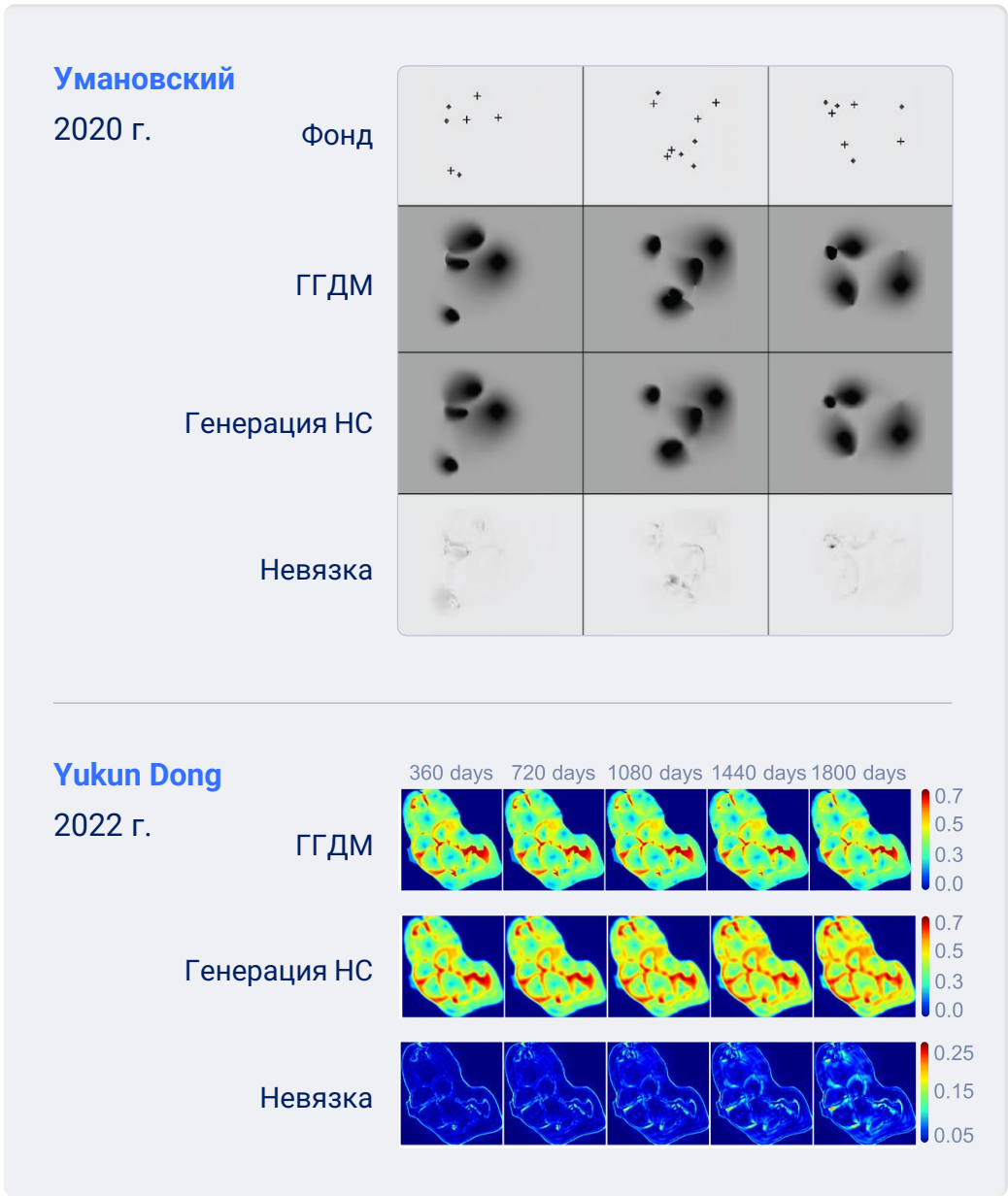
Статья [2]: **Prediction of Oil Saturation during Water and Gas Injection Using Controllable Convolutional Long Short-Term Memory**
[Yukun Dong](#), Fubin Liu, Yu Zhang and Qiong Wu, *Energies* 2022, 15, 5063.

Алгоритм действия

1. Генерация на фильтрационной модели выборки карт текущей нефтенасыщенности
2. Обучение сверточной нейронной сети на воспроизведение сгенерированных карт
3. Вариация исходных данных и генерация карт в новых условиях

Недостатки

1. Результаты расчетов воспроизводят ГГДМ с меньшей точностью
2. Если при формировании обучающей выборки не моделировались особенности разработки (трещины ГРП, разломная тектоника, выделение растворенного газа), то нейронная сеть также не сможет их воспроизвести



Что влияет на локализацию остаточных запасов нефти?



Технологические факторы

Динамика работы скважин с начала разработки

Проведение ГТМ изменяющих связность пласта и процесс вытеснения (ГРП, радиальное бурение, ФХМУН)

Искусственная трещиноватость в нагнетательном фонде

Геологические факторы

Распределение коллектора и его свойств в удаленной зоне

Активность законтурной области

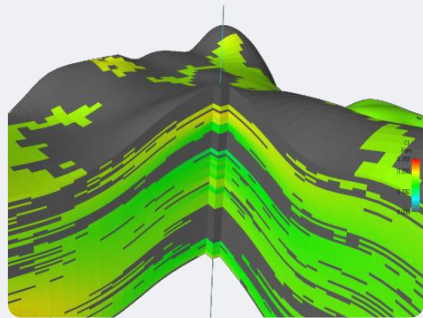
Подходы к интерпретации ГИС

Концепция «ЛОЗА»

1

Разработка «Когнитивного геолога»

- 1.1 Определение доминирующих сейсмических атрибутов с учетом ГДИ
- 1.2 Уточнение проницаемости и литологии на основании анализа керна, ЯМК и амплитудно-частотного анализа



2

Разработка «Когнитивного гидродинамика»

Задачи:

- 2.1 Определение эффективных объемов закачки воды и отборов жидкости
- 2.2 Определение оптимальных параметров адаптации ГДМ
- 2.3 Анализа промысловой информации для определения метода адаптации
- 2.4 Дообучение нейронной сети в процессе адаптации

Результат:

Автоматизация процесса адаптации ГДМ с учетом всей полноты промысловой информации

3

Фильтрационное моделирование

Задачи:

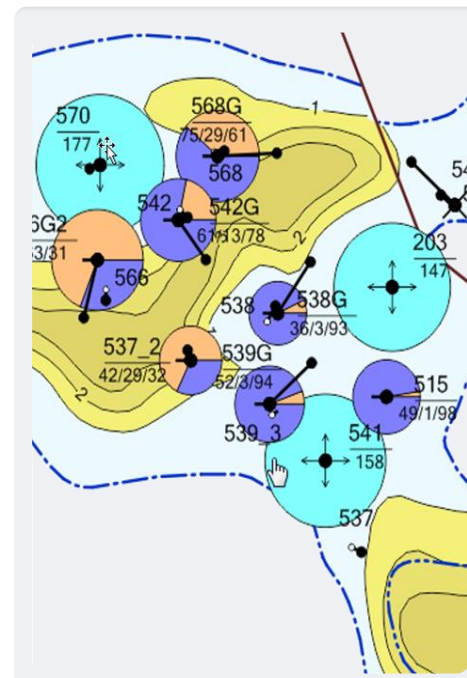
- 3.1 Инициализация модели
Автоматическое определение зональной неоднородности
- 3.2 Адаптация модели
с помощью
«Когнитивного
гидродинамика»
- 3.3 Валидация модели

Результат:

Валидированная модель, пригодная для планирования бурения и проведения ГРП

4

Определение плотности остаточных запасов нефти



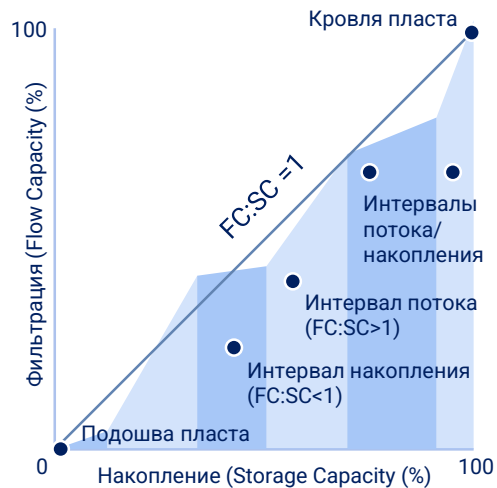
Уточнение свойств пласта по разрезу

Алгоритм

1

Определение проницаемости и литологии по ГИС с использованием широкополосной акустики (волны Ламэ-Стоунли)

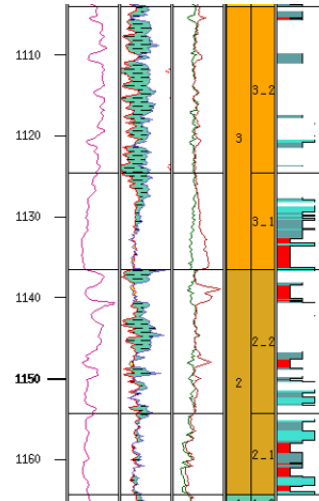
Стратиграфический график Лоренца



2

Разделение продуктивного пласта на интервалы фильтрации (flow units) и интервалы накопления (storage units)

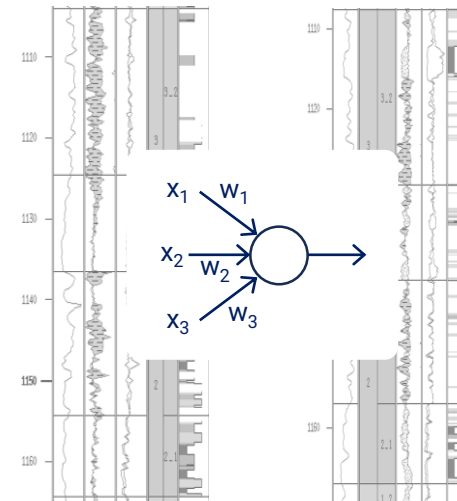
Фации потока и накопления



3

Распространение результатов интерпретации на скважины без ЯМК через нейронные сети с использованием данных стандартных ГИС, РИГИС и ПГИ

Распространение на другие скважины

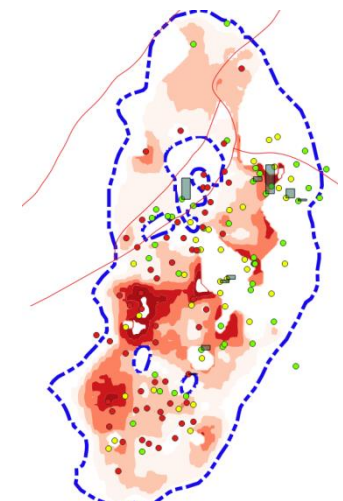


Результат

4

Уточнение количественной оценки проницаемости и распределения коллектора по разрезу пласта

Карта толщин накопления



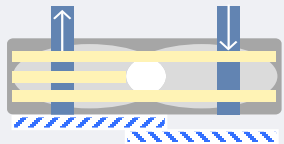
Снижение неопределенности фильтрационных характеристик межскважинного пространства

Гидродинамические исследования скважин



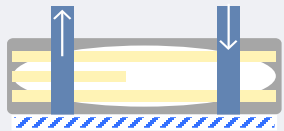
КВД / КПД

Радиус исследования
~ 45 м



Индикаторные диаграммы

Радиус исследования
~ 200-250 м

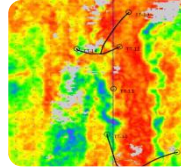


Гидропрослушивание

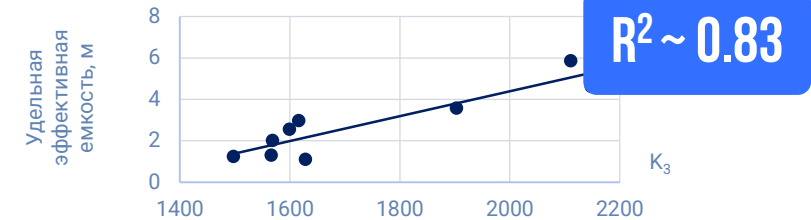
Радиус исследования соответствует
расстоянию между скважинами
~ 250-1000 м

Учет ГДИ и 3D-сейсморазведки при формировании ГМ

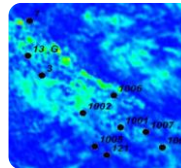
Сейсмический
атрибут K_3



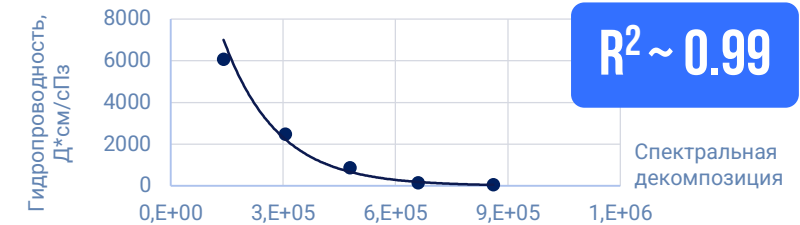
Корреляция
«Удельная эффективная емкость – K_3 »



Спектральная
декомпозиция

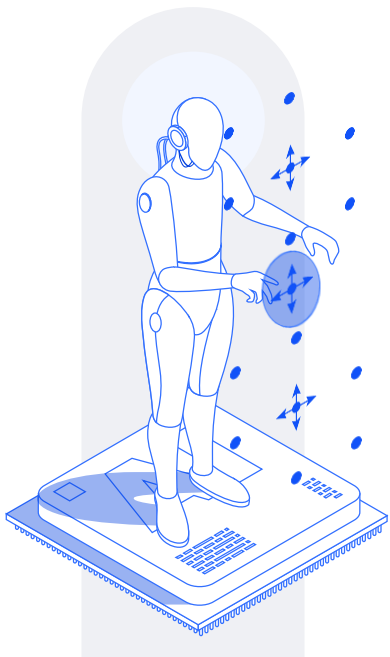


Корреляция «Гидропроводность –
спектральная декомпозиция»



Корреляция между гидропроводностью, результатами фациального анализа и данными сейсморазведки позволяет выделить **наиболее достоверный сейсмический параметр**, описывающий фильтрационные особенности межскважинного пространства с учетом спектрально-временных атрибутов

Структура «Когнитивного гидродинамика»



Применение глубоких нейронных сетей с подкреплением

Структура нейронной сети

Пространство состояний
Среда, в которой выполняются действия



Пространство управления
Множество вариантов действий, которые можно выполнить со средой на каждом шаге

Функция переходов
Функция, определяющая с какой вероятности после определённого действия среда перейдет в новое состояние

Функция награды
Дает «награду» за действие, приводящее среду в требуемое состояние

Сферы применения нейронных сетей с подкреплением:
игровые боты, беспилотное управление, рекомендательные системы

Концепт «ЛОЗА»

Изменения совокупности параметров: вид функции ОФП, распределение проницаемости по латерали и вертикали, граница распространения PVT-свойств флюидов, характеристика законтурной области, начальное насыщение пласта и направление трещин авто-ГРП т.д.

Нейронная сеть с подкреплением

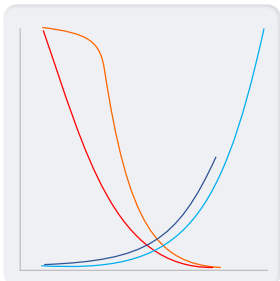
Награда привязана к качеству адаптации ГГДМ



Масштабы «пространства управления»

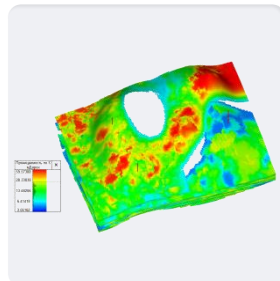
Сверху приведены параметры вариации

Снизу - реагирующие параметры в ГДМ



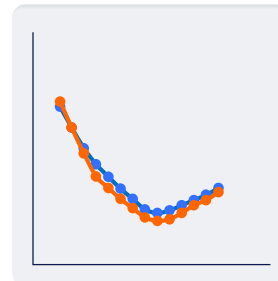
Кривые ОФП

Динамика обводнения скважин, $P_{заб}$, $P_{пл}$



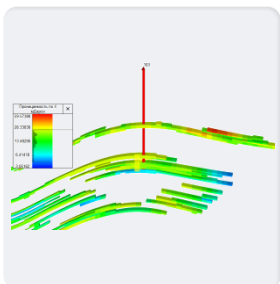
Распределение $k_{пр}$ по латерали

Распределение закачки от нагнетательных скважин



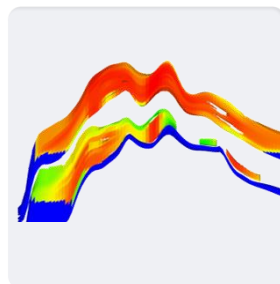
Зависимость вязкости нефти от давления

$P_{заб}$, $P_{пл}$



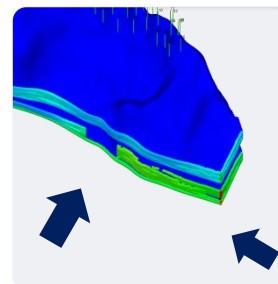
Распределение $k_{пр}$ по разрезу

Профили притока/приемистости



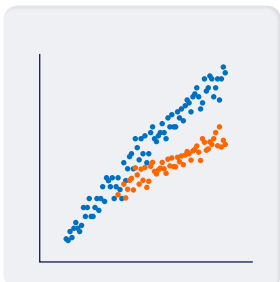
Распределение $k_{нн}$ по разрезу

Текущее распределение насыщенности по разрезу



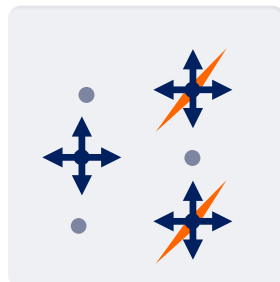
Активность водоносного горизонта

$P_{заб}$, $P_{пл}$, динамика обводнения скважин, $q_{ж}$



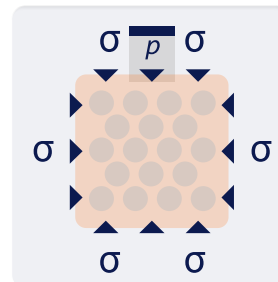
Зависимость проницаемости от пористости

$q_{ж}$, $P_{заб}$, $P_{пл}$



Техногенная и естественная трещиноватость пласта

$P_{заб}$, $P_{пл}$, динамика обводнения скважин



Сжимаемость породы и флюидов

$P_{заб}$, $P_{пл}$

Анализ и дополнение промышленной информации методами ИИ

ПРОБЛЕМА

Данные могут быть недостоверны

Исторические данные по забойному и пластовому давлению
Карты изобар
Накопленная историческая добыча нефти/жидкости, закачки воды

Данные могут быть неизвестны

Процент «эффективной» закачки
Объем воды, добытой из проектных интервалов
Объем внедрившейся воды в пласт

Количество данных для обучения ИИ может быть недостаточно

Количество точек замеров забойного давления в идеале должно совпадать с количеством точек и датами замеров дебита жидкости, в реальности этого не происходит

РЕШЕНИЕ

Комбинация алгоритмов ИИ методами материального баланса и прокси-моделирования для верификации и дополнения данных

ПРИМЕР

Дополнение и верификация данных забойного давления



Входные данные ТМС по $P_{заб}$

- Анализ элемента заводнения
- Построение первичной модели матбаланса
- Нахождение оптимального решения методами ИИ
- Проверка параметров на обратной модели мат-баланса (валидация)
- Заполнение пропусков в исходной динамике $P_{заб}$ расчетными значениями
- Физическое сглаживание динамики забойного давления
- Расчет ошибки аппроксимации

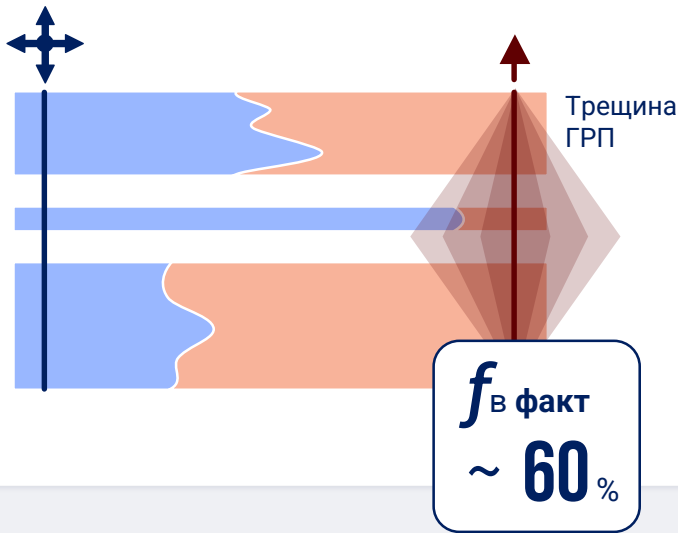
Загрузка данных в ГДМ

Учет особенностей геологического строения

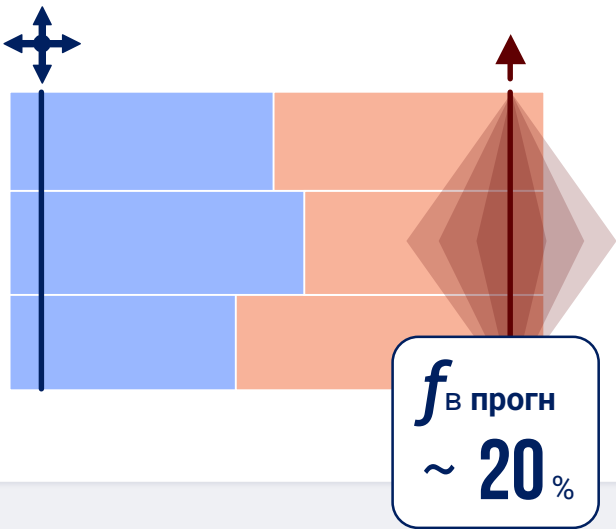
Проблема: Сеточная область ГГДМ не воспроизводит локальные особенности строения коллектора, в частности высокопроницаемые несвязные пропластки

Реальная картина

- - водонасыщенный интервал
- - нефтенасыщенный интервал



Грубое осреднение сеточной области



Корректное формирование сеточной области

ГСР по проницаемости



Адаптация ГДМ с учетом всей полноты промысловой информации и результатов расчетов ПМ «УРЗМ»

Стандартный набор исходной информации

Данные для построения геологической основы

Результаты сейсмических исследований
ГИС, результаты интерпретации ГИС
Стандартные исследования керна
Траектории скважин
Результаты испытания скважин

Данные для построения фильтрационной модели

Промысловые показатели
Добыча нефти, воды, газа, закачка воды

Результаты ГДИ
Замеры Рпл, Рзаб, исследования КВД/КВУ, КВД, ИД и т.д.

Сведения о выполненных ГТМ
ГРП, ОПЗ, приобщения, изоляции, дострелы, реперфорации

Специальные исследования керна

Исходная информация, учитываемая в концепции «ЛОЗА»

Информация

Учет в ГГДМ

Трассерные исследования
и гидропрослушивание



Модификация распределения
проницаемости по латерали

ПГИ на определение профилей
притока/приемистости



Модификация распределения
проницаемости по разрезу

ПГИ на определение текущего
насыщения пласта



Модификация распределения
начальной нефтенасыщенности,
активности законтурной области
за счет контроля ВНК

Результаты определения
технического состояния
скважин



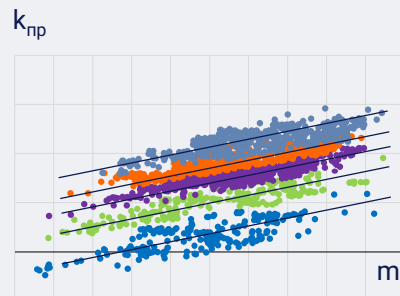
Обоснованный подход
к воспроизведению резких прорывов
воды на скважинах

Новые подходы к фильтрационному моделированию

1

Инициализация

Автоматическое выделение зональной неоднородности свойств пласта



ТИП 1 $K_{пр} = 50.739 e^{14.89Kп}$
 $R^2=0.64$
ТИП 2 $K_{пр} = 14.018 e^{17.32Kп}$
 $R^2=0.89$
ТИП 3 $K_{пр} = 4.2808 e^{19.80Kп}$
 $R^2=0.93$
ТИП 4 $K_{пр} = 1.6777 e^{19.82Kп}$
 $R^2=0.90$
ТИП 5 $K_{пр} = 0.5296 e^{18.12Kп}$
 $R^2=0.75$



Преимущества

Более точное воспроизведение свойств керна при переносе на сеточную область ГГДМ

Повышение качества прогноза по скважинам находящимся внутри зон с едиными свойствами

2

Адаптация

Применение априорных знаний при выборе подхода к адаптации скважин

Естественная динамика фв



Резкий рост фв в результате ЗКЦ



Преимущества

Выбор подхода к адаптации каждой скважины исходя из динамики технологических показателей разработки и текущего технического состояния

Техническое состояние скважин не оказывает влияние на поведение кривых ОФП

Новые подходы к фильтрационному моделированию

Валидация решения

Стандартный подход



Недостатки:

- Субъективный подход при выборе методов адаптации ГГДМ
- Невозможность одновременного варьирования группы параметров ГГДМ
- Значительное время на проведение работ
- Отсутствие валидации результатов

Концепция «ЛОЗА»



Преимущества:

- Обоснованный подход к выбору методов адаптации ГГДМ
- Комплексное варьирование параметров ГГДМ
- Автоматизация процесса адаптации и валидации ГГДМ
- Повышение качества прогноза эффективности капиталоёмких ГТМ

Функционал и ожидаемые результаты

Функционал программного модуля

- 1

Выделение интервалов фильтрации и накопления по разрезу для фильтрационных характеристик пласта в призабойной зоне
- 2

Использование корреляции между данными ГДИС, сейсмическими атрибутами и спектрально-временными атрибутами для уточнения распределения коллектора и тензора проницаемости в межскважинном пространстве
- 3

Подготовка исходных выборок для ГДМ и нейронной сети с подкреплением: обучающая и валидационная выборка
- 4

Обучение нейронной сети на гидродинамических и двумерных моделях фильтрации для установления оптимальных показателей адаптации ГДМ
- 5

Автоматическая адаптация ГДМ с учетом промысловых исследований скважин и рекомендации нейронной сети с учетом:
 - автоматического выделения зон зональной неоднородности свойств пласта
 - применения априорных знаний при выборе подхода к адаптации скважин
- 6

Валидация расчетов на ГГДМ с учетом исторических показателей
- 7

Локализация остаточных запасов нефти на адаптированной ГДМ с оценкой вероятности достижения результата

Ожидаемые результаты

- Эффективное использование ресурсной базы зрелых месторождений за счет повышения успешности проведения ГТМ
- Повышение качества геолого-гидродинамических моделей и всех сопутствующих расчетов:
 - Планирование ЗБС/ЗБГС;
 - Расчет эффективности ГТМ — переводы на другие объекты, проведение ГРП, ОПЗ, ПВР и т. д.
- Снижение трудозатрат на доадаптацию постоянно-действующих ГГДМ и подготовку проектно-технологической документации за счет автоматизации этапа по адаптации ГГДМ

Экономический эффект

	Веер прироста успешности капиталоёмких ГТМ	Удельный прирост выручки	
Минимальная оценка	+2 %	+20	тыс. \$/ (год *скв)
Консервативная оценка	+5 %	+49	тыс. \$/ (год *скв)
Позитивная оценка	+10 %	+98	тыс. \$/ (год *скв)

Спасибо за внимание



ООО «Тюменский институт
нефти и газа»

togi.ru ➞



Тюмень, Герцена, 64
+7 (3452) 68-51-25
ting@togi.ru

