Использование дымовых газов в составе водогазовой смеси с целью повышения нефтеотдачи пласта

Старший менеджер
Управления гидродинамического моделирования
месторождений в Европейской части РФ
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»
Рязанова Елена Николаевна

24-25 апреля 2024 года

Текущее состояние разработки объекта

Период	Отбор от НИЗ, %	Обводненность, %	Тек. КИН, д. ед.
на 01.07.2023	93,6	88,5	0,562

Тип коллектора – карбонатный, порово-трещинно-каверновый

Глубина залегания ~ -2500м

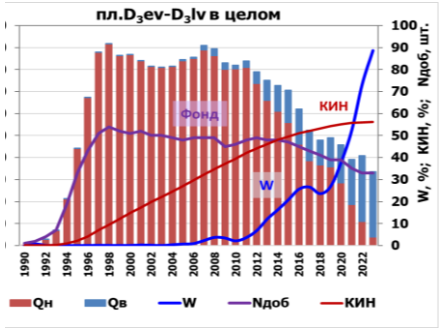
Размеры залежи ~ 1 × 16 км

Толщина $H_{нн\ ср.}$ ~ 150 м

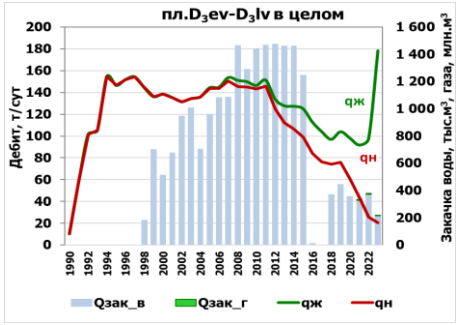
Проницаемость – 0,491 мкм²

Вязкость – 0,9 мПа*с

Динамика годовых показателей

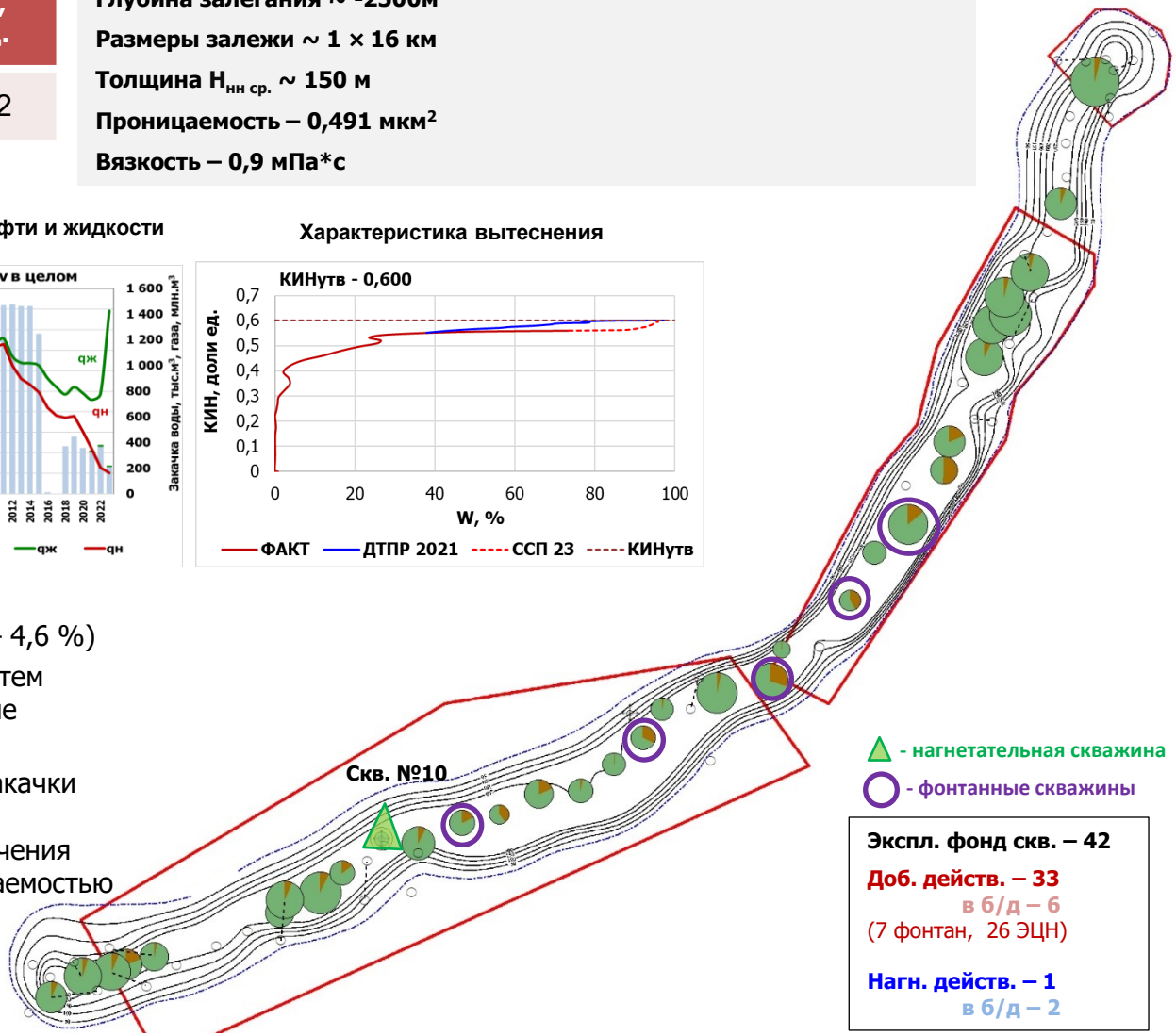


Динамика дебитов нефти и жидкости



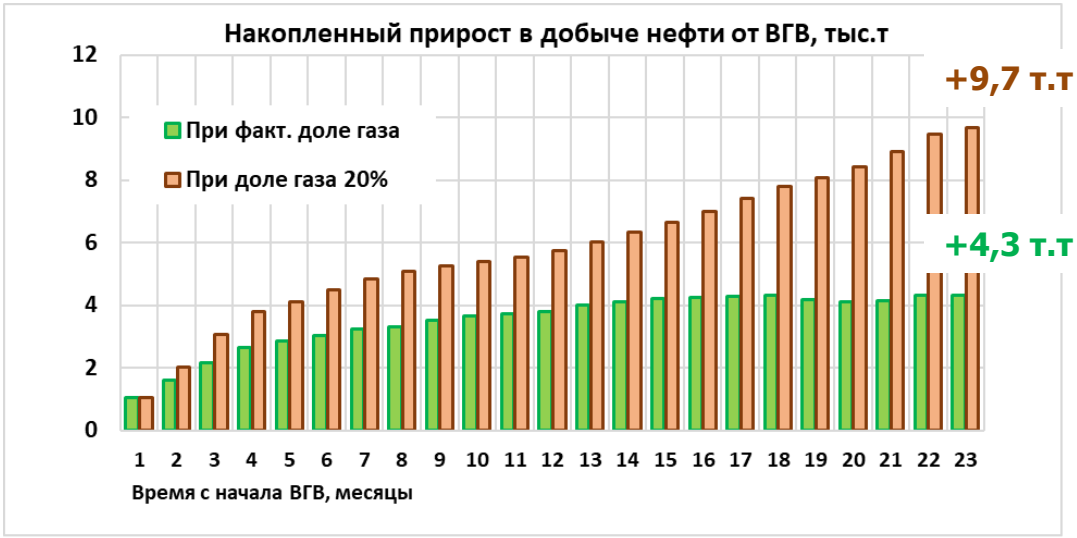
Характеристика вытеснения

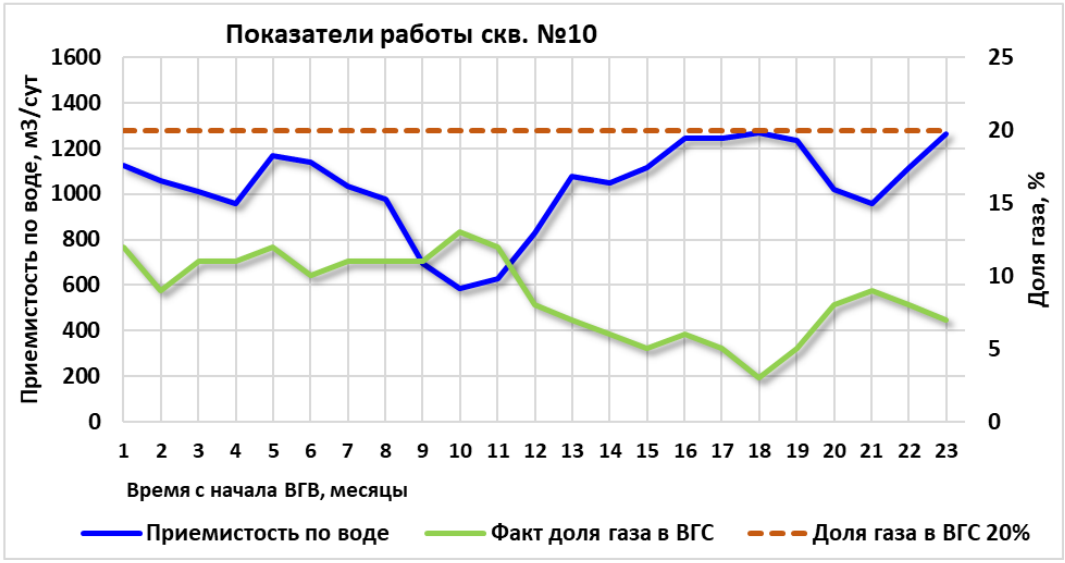
- Введен в разработку в 1990 г.
- Макс. добыча нефти – в 1998 г. (темп отбора от НИЗ – 4,6 %)
- Разработка объекта с ППД с 1998г. осуществлялась путем циклической закачки воды под ВНК в 2 нагнетательные скважины
- с 04.2021г. – осуществляется реализация ВГВ путем закачки ВГС с целью повышения нефтеотдачи за счет перераспределения фильтрационных потоков и увеличения охвата воздействием участков с более низкой проницаемостью
- Находится на 4 стадии разработки



ЛУКОЙЛ

Оценка прироста от ВГВ по расчетам на ГДМ





- Для оценки фактической эффективности ВГВ на ГГДМ выполнен расчет с закачкой воды
- **Прирост в добыче нефти за счет реализации ВГВ относительно варианта с закачкой воды** составил **~ 4,3 тыс.т**
- Отсутствие постоянного прироста в добыче нефти происходит из-за **снижения доли газа в ВГС с 10-12% до 4-7%;**
- Дополнительно **на ГГДМ проведен расчет с постоянной долей газа в ВГС – 20%** (при прочих равных условиях). Цель – оценить эффективность ВГВ на фактический период при больших объемах закачки газа;
- Результаты расчетов показывают, что при доле газа 20% **дополнительный объем добытой нефти мог составить 9,7 тыс.т**

Дымовой газ в составе ВГС

В качестве альтернативы закачке пластового газа принято решение рассмотреть возможность организации закачки дымовых газов в составе ВГС с целью формирования вторичных газовых шапок в повышенных частях рифа для довытеснения остаточных запасов нефти к добывающим скважинам.

Плюсы:

- ✓ Наличие необходимого объема дымового газа
- ✓ Декарбонизация
- ✓ Монетизация пластового газа

Нюансы:

- Недостижимость давления смесимости азота (90% ДГ) с нефтью для условий залегания пласта (32-35 МПа при Рпл=28). Предполагается частичная смесимость азота с нефтью в призабойной зоне, далее газ будет сегрегировать в верхнюю часть пласта.
- Необходимость внесения корректировок в схему обустройства месторождения

Вода оставлена в смеси по двум причинам:

- Необходимость ППД
- Как вспомогательная фаза для доставки газа в пласт

Принципиальная схема использования дымовых газов

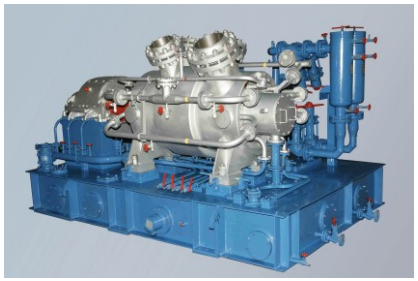
Путевой подогреватель на сборном пункте

Дымовые газы

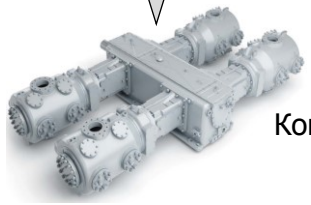
Комплексная система подготовки дымового газа

Подготовленный дымовой газ

Компрессор



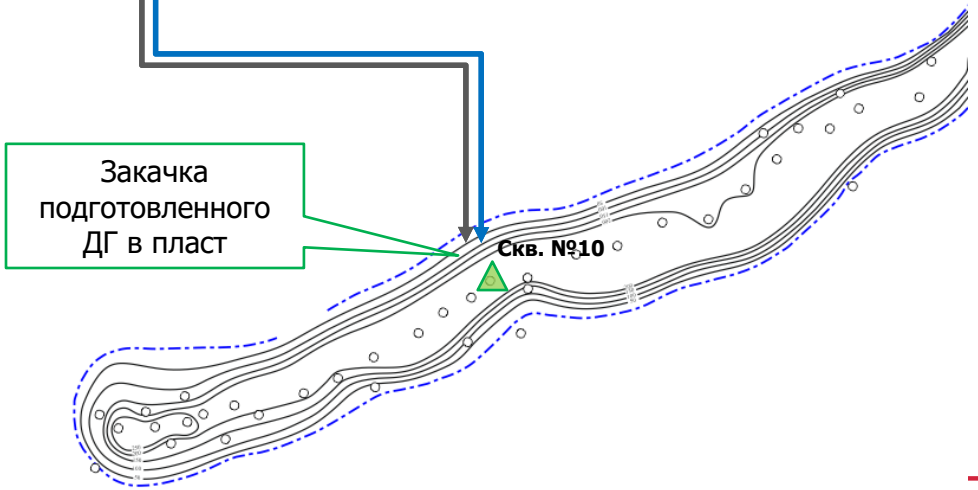
Газопровод



Компрессор

Результаты полевых исследований по определению состава ДГ

Наименование компонента (показателя)	Результаты испытаний, % об
Азот (N2)	**89**
Кислород (O2)	**6,5**
Углерода диоксид (CO2)	**2,9**
Метан (CH4)	0,0000137133333
Бутан (C4H10)	<0,0000512
Вода	1,516666667
Азота диоксид (NO2)	0,0000000031530
Дигидросульфид (H2S)	0,0000000005097333
Углерода оксид (CO)	0,00008316667
Серы диоксид (SO2)	<0,000000000015
Серная кислота (в том числе SO3)	<0,000000000124
Азота оксид (NO)	<0,00000000024
Бензол (C6H6)	<0,000000000186

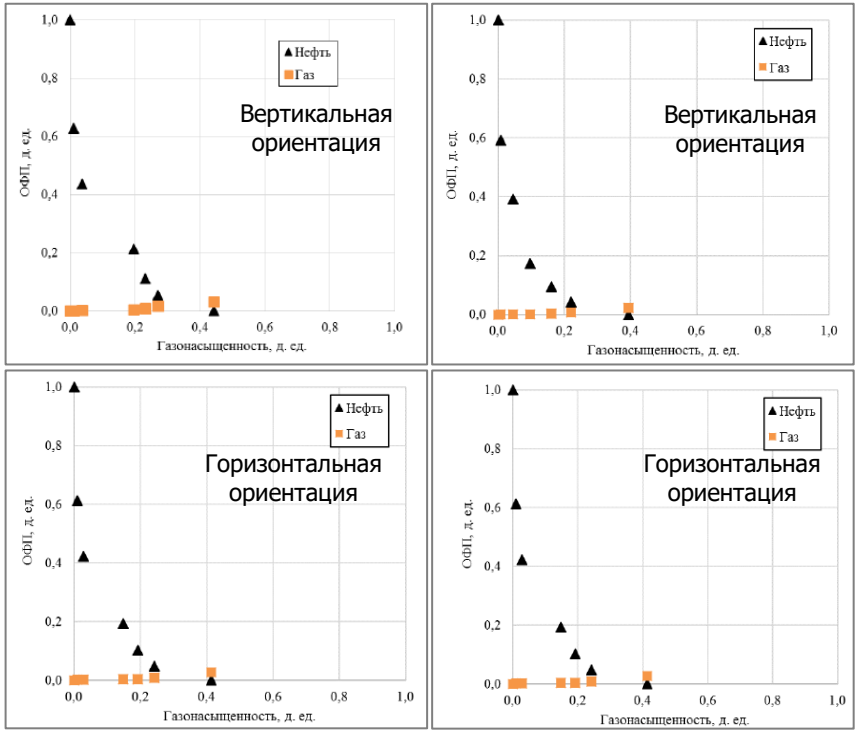


ЛУКОЙЛ

Эксперименты ОФП и Квыт

Определение относительных фазовых проницаемостей (ОФП) в системе рекомбинированная нефть – модель дымового газа для случаев фильтрации газа параллельно и перпендикулярно напластованию:

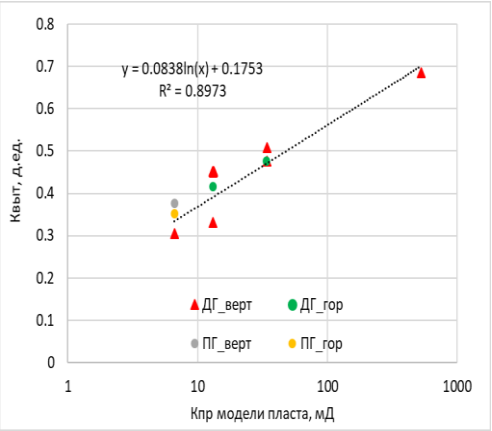
Кпр = 34 мД **Кпр = 13 мД**



Определение коэффициента вытеснения (Квыт) нефти из составных моделей пласта с целью определения Квыт дымовыми и природным газами при горизонтальном и вертикальном (вытеснение «газовой шапкой») расположении модели пласта

Вытесняющий агент	Ориентация образца	Кпр, мД	Квыт
ПГ	Вертикальная	6,6	0,376
ДГ		6,6	0,306
ДГ		13	0,332
ДГ		13	0,451 *(ОФП)*
ДГ		34	0,509 *(ОФП)*
ДГ		34	0,476
ДГ		524	0,684
ПГ	Горизонтальная	6,6	0,352
ДГ		13	0,414 *(ОФП)*
ДГ		34	0,475 *(ОФП)*

ПГ – пластовый газ
ДГ – дымовой газ



- Зависимость Квыт(Кпр) построена на основе значений проницаемостей и коэффициентов вытеснения, полученных на **вертикально** ориентированной модели пласта.
- *Для сопоставления на график нанесены значения Квыт нефти дымовыми газами при горизонтально ориентированной модели и Квыт нефти пластовым газом*

ЛУКОЙЛ

Применимость экспериментов по определению Квыт дымовыми газами для расчетов на ГДМ

Эксперимент

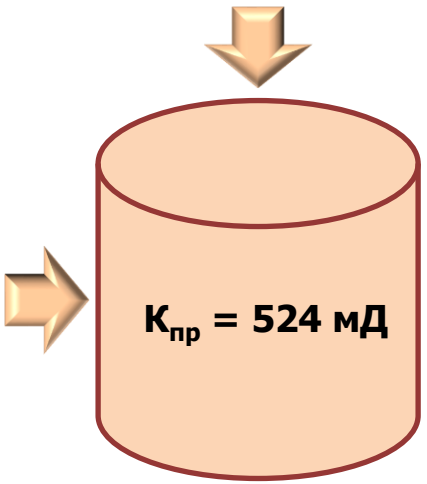
Вертикальное вытеснение на составной модели

Квыт = 0,684

Горизонтальное вытеснение

Квыт не определялся

Есть определение ОФП



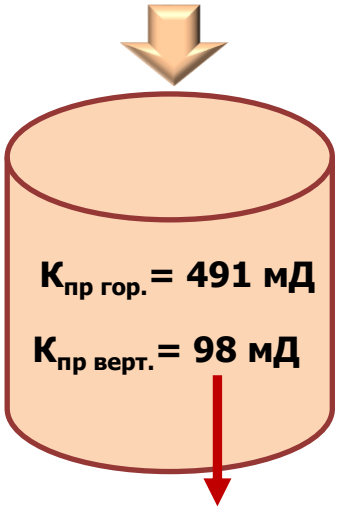
Принято в ГДМ

Вертикальное вытеснение

Квыт = 0,560

Для определения Квыт использована зависимость Квыт(Кпр) на *вертикально* ориентированной модели пласта *с учетом средней разницы* между Квыт определенными *по ОФП при горизонтальном вытеснении*

$К_{пр\ верт}$ = 98 мД



Горизонтальное вытеснение

Квыт = 0,643

принят по экспериментальной зависимости для

Кпр гор. = 491 мД

С учетом анизотропии горизонтальная проницаемость **~ в 5 раз выше** вертикальной

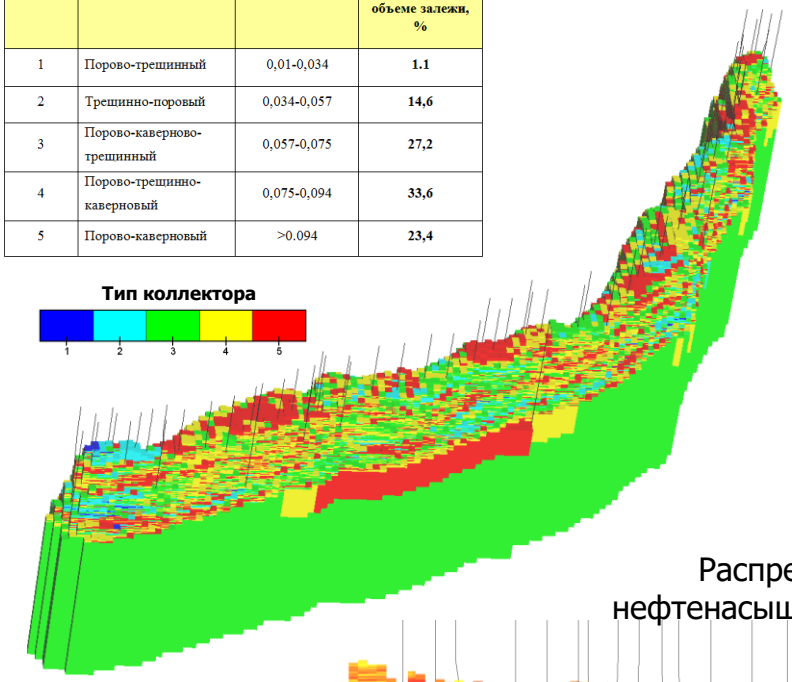
	Кпр, мД	Квыт вертик.	Квыт гориз.	Соотношение Квыт
ОФП	13	0.451	0.414	0.92
ОФП	34	0.509	0.475	0.93

ГДМ объекта

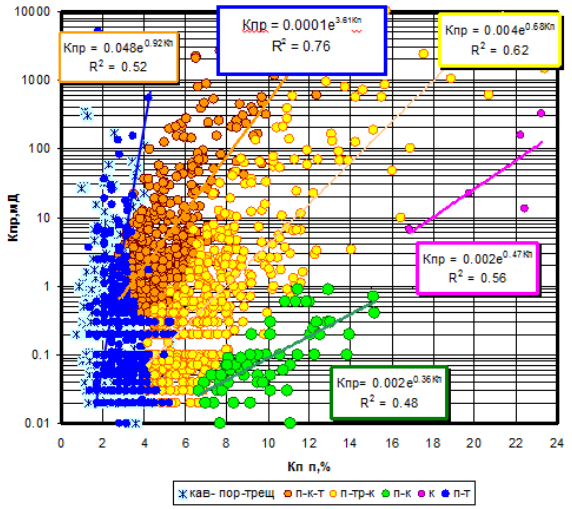
Залежь имеет достаточно сложное строение с точки зрения распределения пустотного пространства

Распределение литотипов в ГДМ

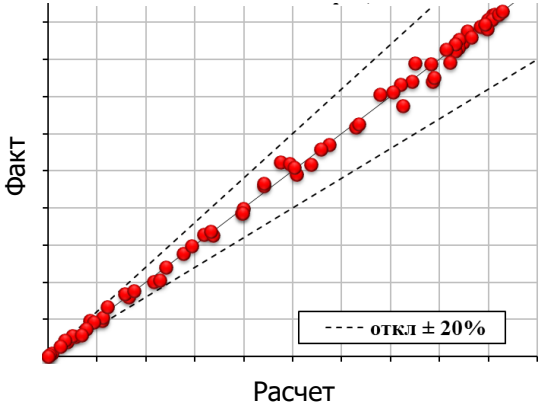
Номер литотипа в модели	Тип литотипа	Интервал пористости, д.ед.	Процентное содержание в эффективном объеме залежи, %
1	Порово-трещинный	0,01-0,034	**1.1**
2	Трещинно-поровый	0,034-0,057	**14,6**
3	Порово-каверново-трещинный	0,057-0,075	**27,2**
4	Порово-трещинно-кавернозный	0,075-0,094	**33,6**
5	Порово-кавернозный	>0.094	**23,4**



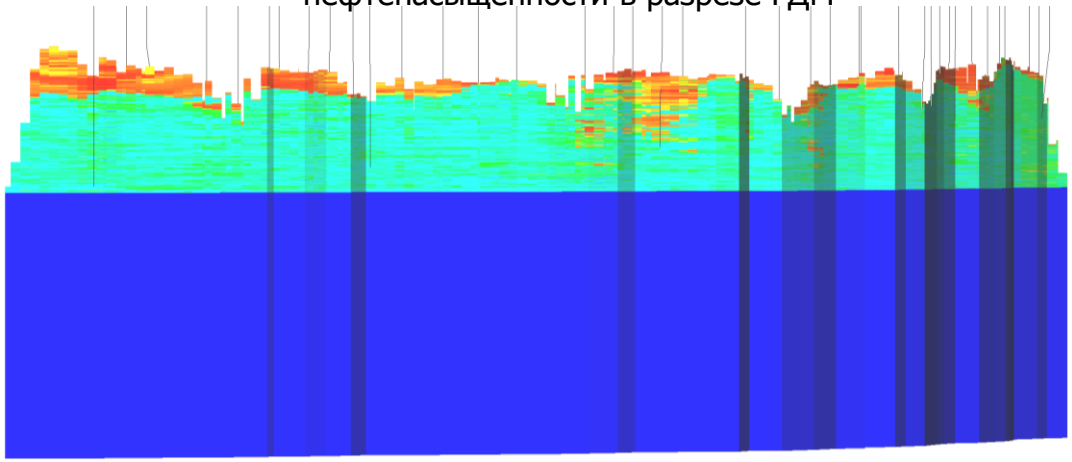
Корреляционные зависимости Кпр(Кп) в зависимости от типа коллектора

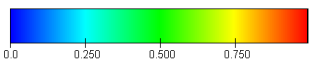


Кросс-плот по добыче нефти

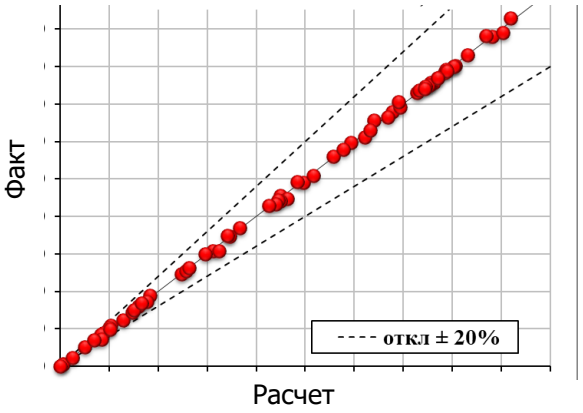


Распределение текущей нефтенасыщенности в разрезе ГДМ





Кросс-плот по добыче жидкости



ЛУКОЙЛ

Особенности гидродинамической модели

1. Модель Тодда-Лонгстаффа

Гидродинамическое моделирование закачки ДГ в составе ВГС выполнялось с применением четырехфазной модели смешивающегося вытеснения Тодда – Лонгстаффа (Todd-Longstaff Solvent Model).

В модели вводится эмпирический параметр ω, значение которого лежит между 0 и 1. Значение ω = 1 описывает случай полной смесимости, ω = 0 описывает случай несмешивающегося вытеснения, промежуточные значения ω описывают случаи частичной смесимости нефти и газа.

Поскольку предполагается частичное смешение нефти с дымовыми газами, то в текущих расчетах принят ω = 0.5.

Модель Тодда-Лонгстаффа является более простой альтернативой композиционной модели для вытеснения нефти газом с учётом полного или частичного смешивания

2. Направленные относительные фазовые проницаемости

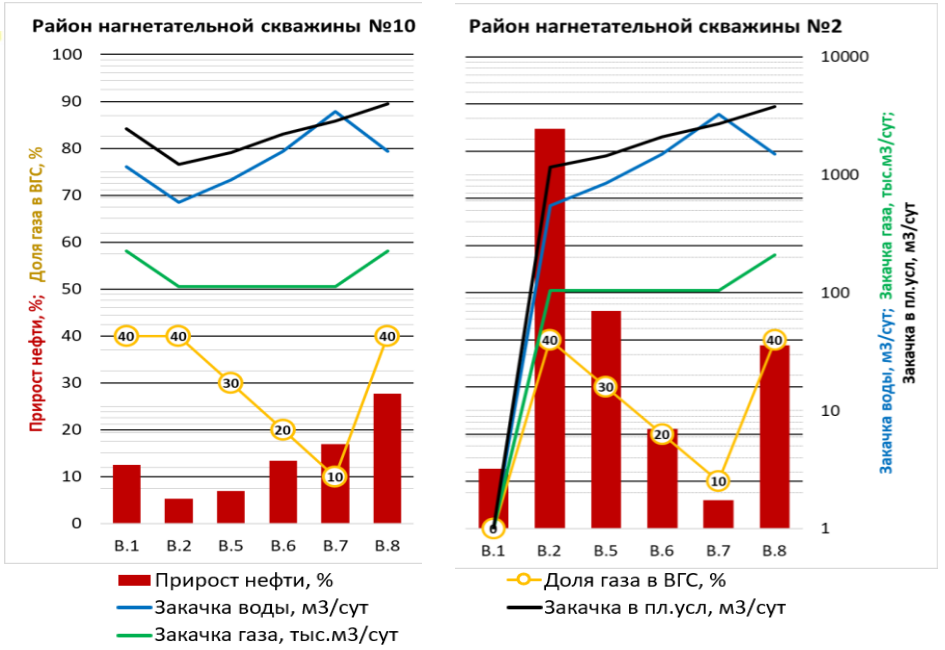
Позволяют использовать отдельные таблицы для задания относительных фазовых проницаемостей, а, соответственно, и Квыт, в направлениях x, y и z

Оценка эффективности закачки дымовых газов в составе ВГС

- Для оценки эффективности закачки дымовых газов на ГДМ выполнена серия расчетов с разными объемами закачки воды и газа
- Для распределения закачки ДГ по площади объекта выбран дополнительный очаг нагнетания, помимо действующей нагнет. скважины

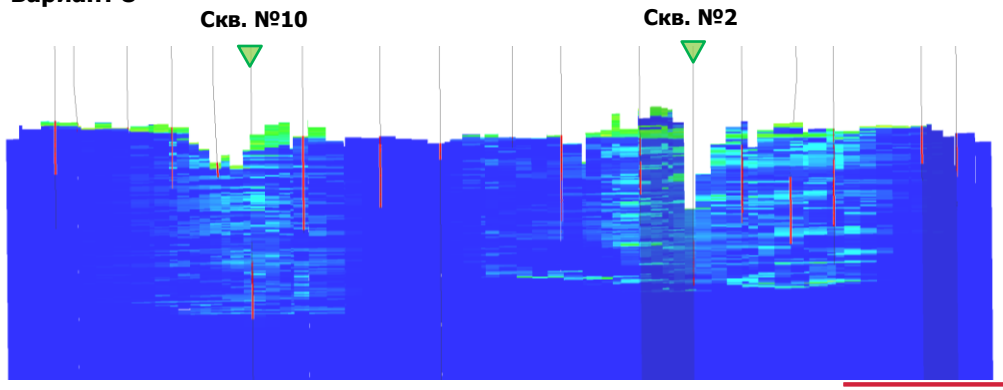
Результаты расчетов:

- В обоих районах закачки прослеживается прирост доп. добычи нефти и от увеличения закачки воды, и от увеличения доли газа в ВГС (варианты 6 и 8)
- В районе нагн. скважины №2 необходимы доп. расчеты по определению оптимального объема закачки воды



**Прирост нефти приведен относительно расчетной добычи нефти при текущем режиме закачки пластового газа в составе ВГС в скв. №10*

Распределение закачанного дымового газа на конец прогнозного периода
Вариант 8



Выводы

- Эффективность сопоставимых объемов закачки дымовых газов в составе ВГС ниже по сравнению с пластовым газом из-за отсутствия полной смесимости

- Необходим больший объем дымовых газов для получения дополнительной добычи нефти в объеме, сопоставимом с доп.добычей нефти от закачки ВГС с пластовыми газами

- Достаточный объем дымовых газов есть в наличии на путевом подогревателе сборного пункта

- При улавливании дымовых газов значительно снижается вредное воздействие на природу

- В условиях отсутствия достаточного объема пластового газа для реализации смешивающегося вытеснения дымовые газы могут быть достойной альтернативой пластовому газу в составе ВГС

ЛУКОЙЛ

Всегда в движении!