



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ТЮМЕНСКИЙ НЕФТЯНОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ООО «ТННЦ»)

Моделирование химического заводнения для условий высоковязкой нефти

Иванцов Николай Николаевич

Тюмень, 18-20.09.2018 г.



Месторождения высоковязкой нефти в Западной Сибири



Запасы высоковязкой нефти в Западной Сибири: **>3.5 млрд. т.**
Большей частью сосредоточены в пластах Покурской свиты (ПК)
Сеноманского горизонта

Особенности пластов ПК Западной Сибири:

- Высоковязкая нефть (100-400 сП)
- Обширная газовая шапка (>80% площади месторождения) и подстилающий водоносный горизонт
- Тонкая нефтяная оторочка (от 6-8 м.)
- Слабосцементированный коллектор
- Сложнопостроенная геология (разломы, разные уровни контактов, высокая расчлененность и анизотропия)
- Многолетнемерзлые породы, риски гидратообразования, разбухающие глины коллектора

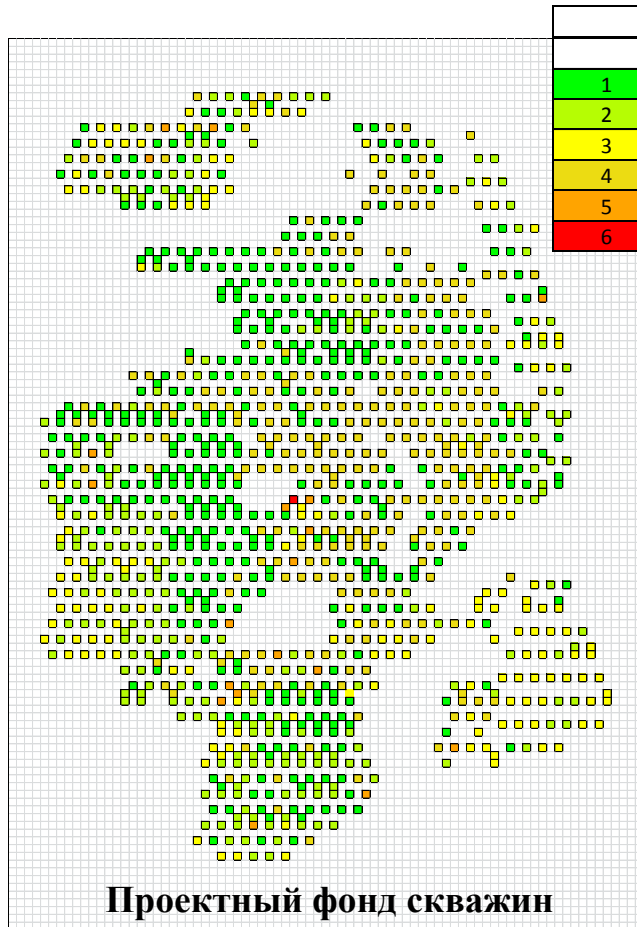
Рассматриваемые методы воздействия:

- закачка горячей воды
- полимерное заводнение
- термополимерное заводнение
- щелочь-ПАВ-полимерное заводнение

Выбор характерных геологических зон



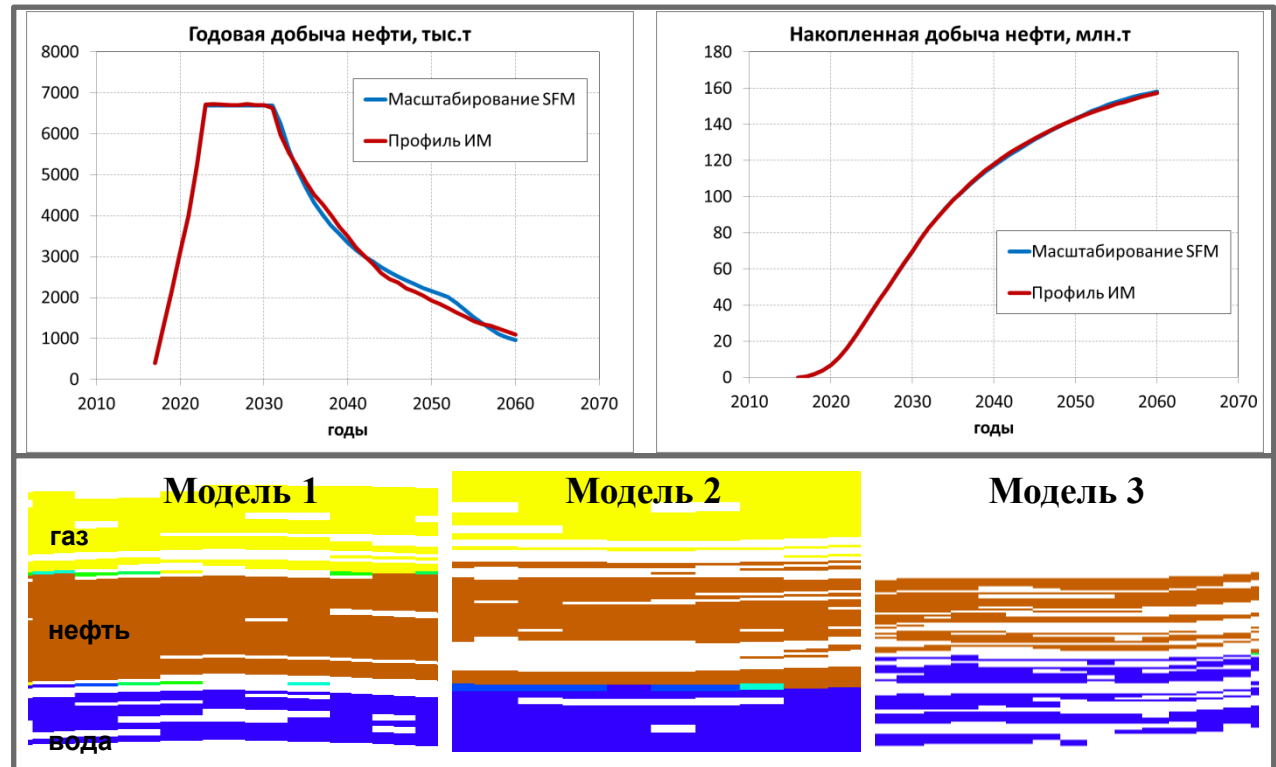
Численные эксперименты выполняются на секторных моделях характерных зон



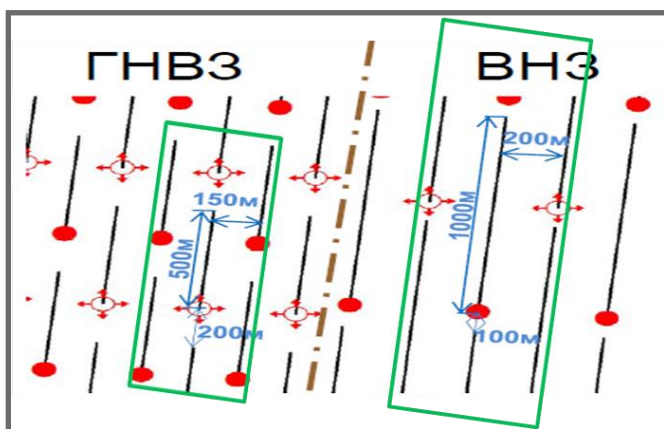
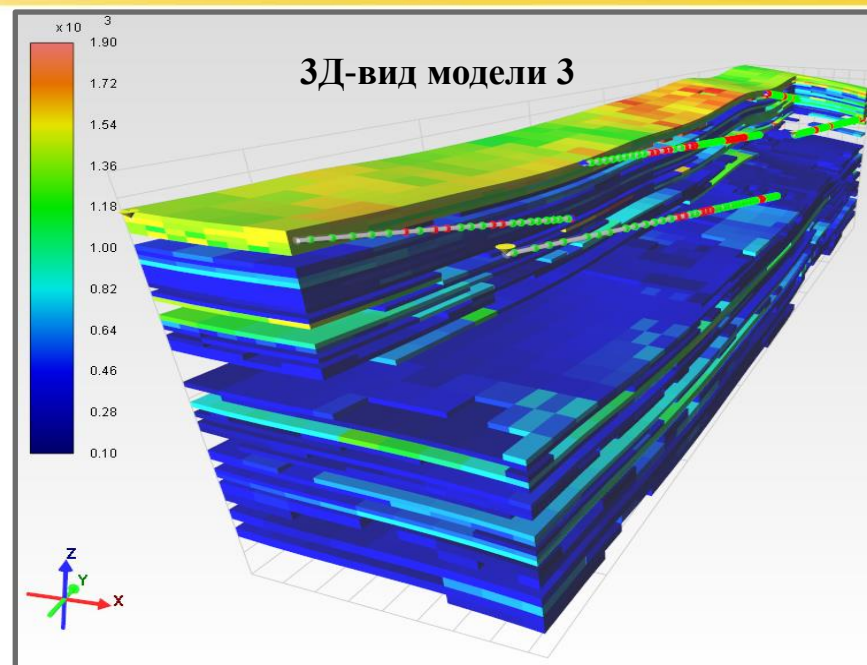
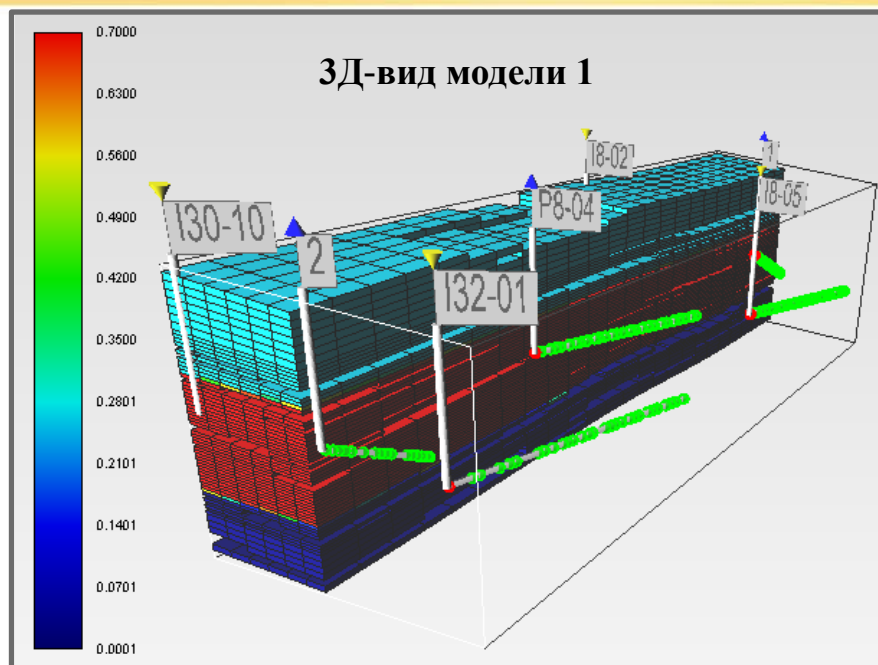
ЛЕГЕНДА		
	Перемычек	ΔН
1	0-2	>35
2	0-2	25-35
3	0-2	<25
4	3-9	>35
5	3-9	25-35
6	3-9	<25

Зоны/Мод	Индекс	Кол-во скв	%%	
1	1, 2	435	39%	контактная
2	4	460	41%	контактная
3	3, 5, 6	235	21%	неконтактная

Расчет на моделях и экстраполяция на полное развитие



Параметры секторных моделей



Моделирование выполнено в симуляторе CMG STARS

Параметры моделей

размер ячеек – 25x50x2 м.

длина скважин 500 (ГВНЗ) и 1000 (ВНЗ) м.

проектная сетка 150 (ГВНЗ) и 200 (ВНЗ) м.

период расчета – 40 лет

ограничения по Рзаб – 55 атм. (добыв.) и 110 атм. (нагнет.)

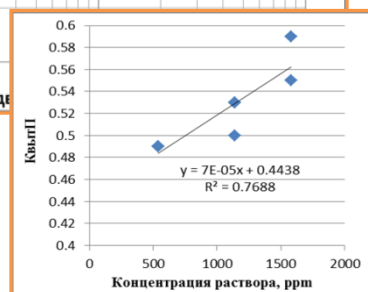
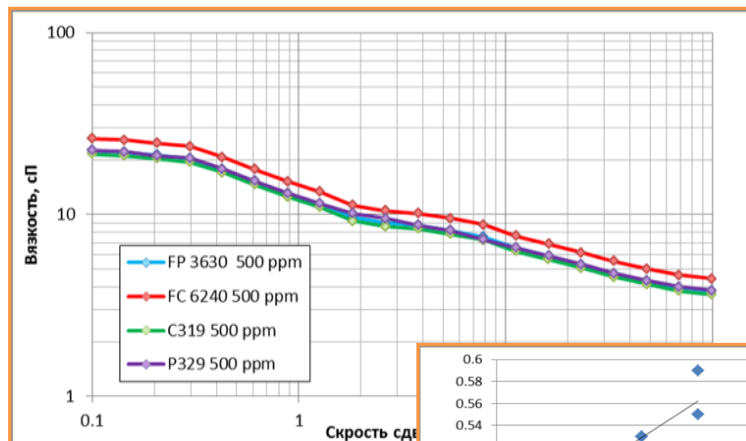
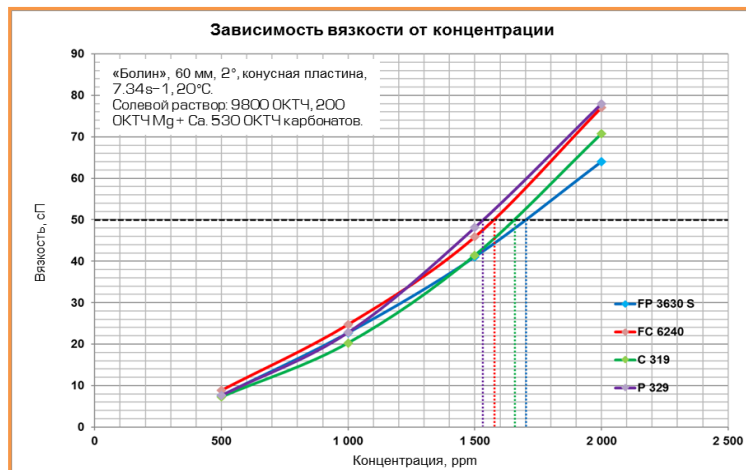


Ключевые особенности полимерного заводнения применительно к Русскому м/р:

1. Повышение коэффициента охвата (Кохв):
 - a) уменьшение образования языков прорыва воды
 - b) улучшение профиля закачки за счет перетока между неоднородными пропластками
 - c) снижение проницаемости в промытых участках, за счет чего повышается эффективность последующего заводнения
 - d) более значительное снижение фазовой проницаемости по воде, чем по нефти
2. Повышение коэффициента вытеснения (Квыт) за счет вязкоупругих свойств высокомолекулярных синтетических полимеров
3. Закачка полимеров может сопровождаться закачкой более сложных систем (например, ASP) с целью дальнейшего повышения Квыт и КИН
4. При закачке полимеров требует внимания геомеханическая стабильность слабосцементированного коллектора пластов ПК
5. Благоприятные условия для термополимерного воздействия (при $T=40-80\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Полимерное заводнение

Ключевые исходные данные



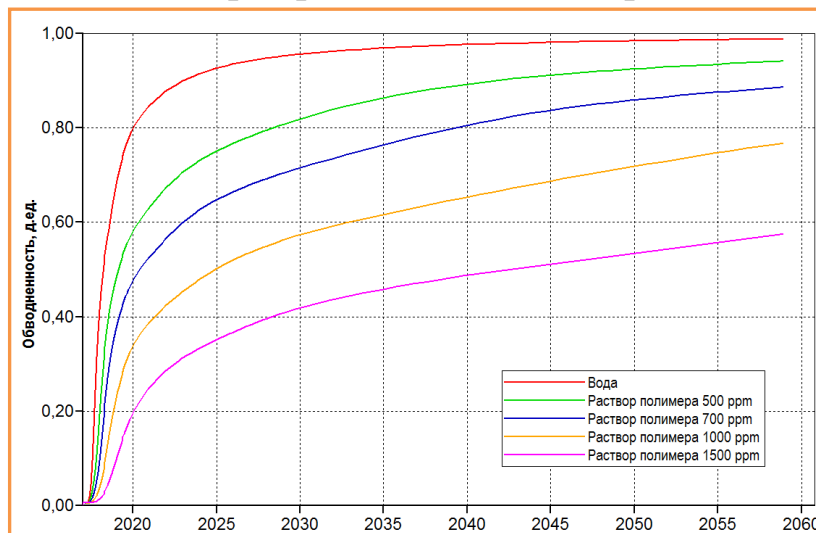
Показатель	FC6240	FP3630S (для справки)
Вязкость (сП) при концентрации 500 ppm	8,8	7,6
1000 ppm	24,7	22,7
1500 ppm	45,9	41,0
Стоимость полимера, евро/кг	3,6	3,5
Соотношение цена /вязкость (при 500 ppm)	0,41	0,46
Статическая адсорбция полимера, мкг/г	38	47
Динамическая адсорбция полимера, мкг/г	11	24
Коэффициент остаточного сопротивления	2,0	1,8

Ключевые параметры для учета при моделировании:

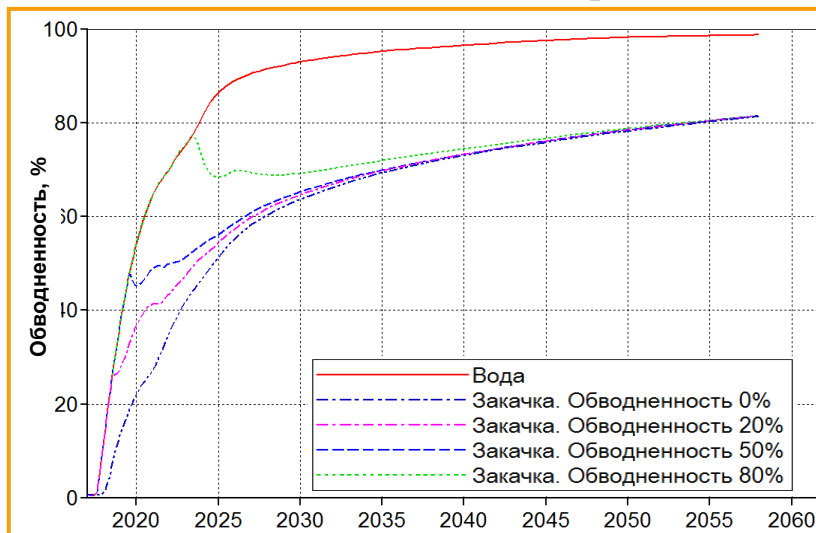
1. Зависимость вязкости от концентрации полимера
2. Влияние на вязкость полимера скорости фильтрации
3. Зависимость Квыт от концентрации полимера
4. Диапазон значений адсорбции и фактора сопротивления



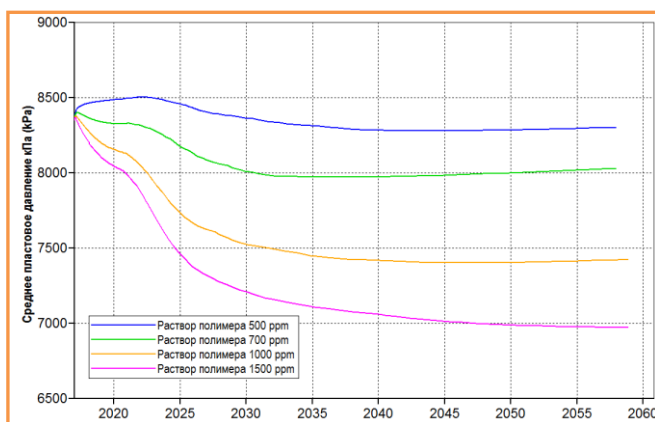
Динамика обводнения при закачке полимеров различной концентрации



Динамика обводнения для разных стадий начала закачки полимеров



Динамика пластового давления



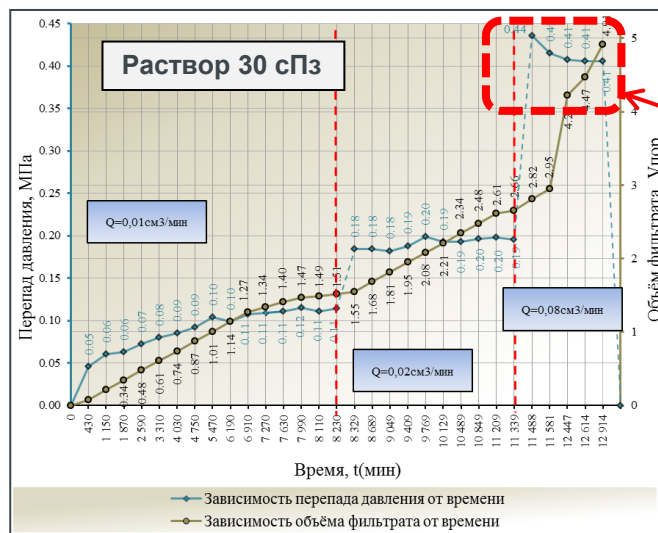
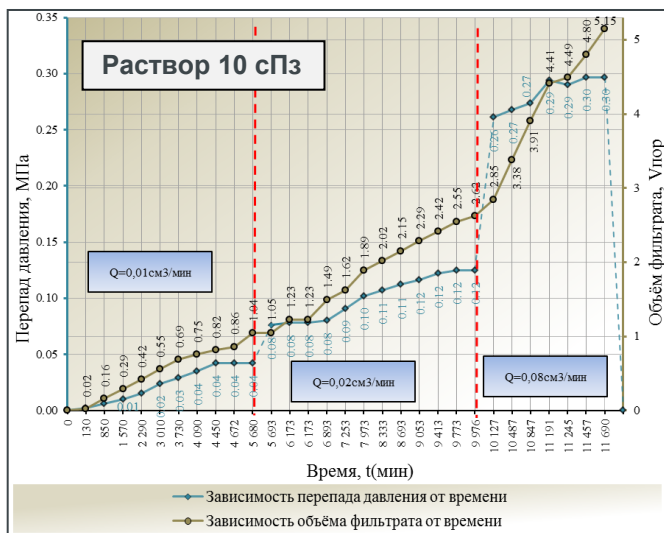
Полимерное заводнение в слабосцементированных коллекторах ВВН:

1. Закачка полимеров приводит к резкому снижению обводненности в сравнении с закачкой воды
2. Закачка полимеров на поздних стадиях обводнения приводит к более быстрому получению доп. добычи нефти, но к меньшему приросту КИН. Вероятны негативные геомеханические эффекты
3. Прирост добычи нефти сдерживается ограничением $P_{заб}=110$ атм. Относительно высокие концентрации приводят к отложенной во времени доп. добыче



Последовательная прокачка раствора полимера различной вязкости при 3-х скоростях фильтрации:

0,01 см³/мин – удаленная зона пласта; 0,02 см³/мин – вблизи скважины; 0,08 см³/мин – прискважинная зона



Геомеханические эффекты при фильтрации полимеров

С учетом свойств коллектора важно оценить влияния скорости фильтрации на геомеханическую стабильность образцов

Видимых изменений образцов и выноса песка в процессе эксперимента не наблюдалось. Возможно, происходит небольшой перенос частиц внутри образцов с изменением структуры порового пространства и ФЕС

Возможные геомеханические эффекты наблюдаются при перепаде давления более 0,4 МПа и расходе 0,08 см³/мин (скорость фильтрации 0,85 м/сут)

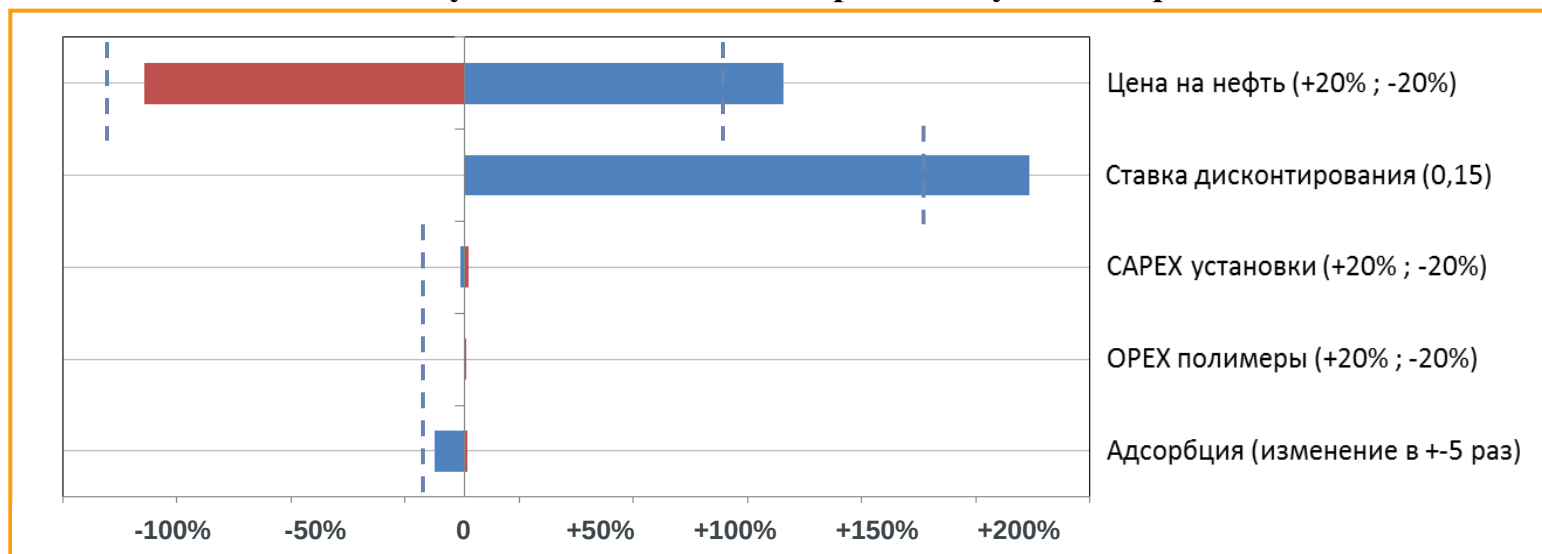


Ключевым ограничением при закачке полимерных растворов на Русском месторождении является необходимость соблюдения допустимых $P_{заб}$ на нагнетательных скважинах (<110 атм.). Данное требование приводит к ограничениям в объемах закачки (сниженной компенсации закачкой), либо к снижению концентрации раствора

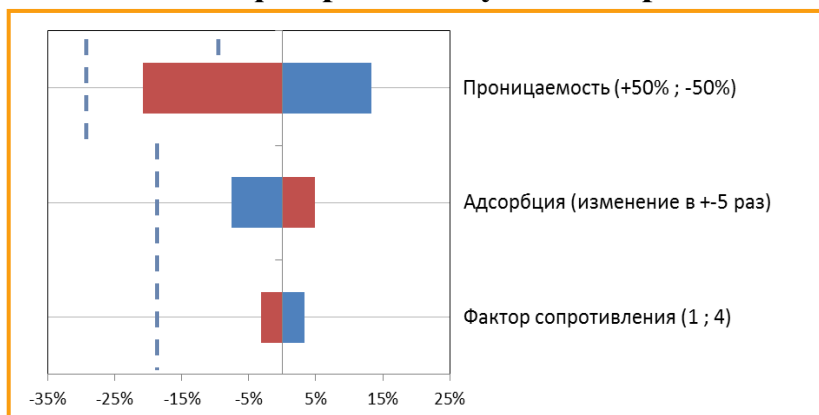
Способ	Преимущества	Недостатки	Решение
Закачка полимера после заводнения	- Прорывы воды формируют каналы фильтрации повышенной гидропроводности, что позволяет обеспечить необходимые объемы закачки - Эффект от закачки полимера проявляется быстрее	- Снижение Кохв и объемов доп. добычи - Риски развития геомеханически выраженных каналов фильтрации - Сложно предсказать скорость обводнения и оптимальное время начала закачки полимера - Повышенные объемы закачки полимера и его неэффективная фильтрация	В целом не рекомендуется. Возможно тестирование на участке ОПР для скважин с $WC < 50\%$
Циклическая закачка полимера и воды			Не подходит для ОПР из-за сложностей в интерпретации результатов
Постоянная закачка полимера целевой концентрации	- Максимальная доп. добыча нефти и повышение КИН - Мировой опыт устанавливает прямую связь между доп. добычей и накопленным объемом закачки полимера	- Добыча нефти в первые годы снижена - Отложенное получение доп. добычи нефти приводит к экономическим потерям из-за дисконтирования - Возможно проявление негативных геомеханических эффектов	Не рекомендуется
Возрастающая концентрация	Постепенный рост концентрации позволяет обеспечить необходимую компенсацию закачкой	Более медленный эффект от закачки полимера, чем в случае с предварительным заводнением	Рекомендуемое решение
Отработка скважин	- Прирост добычи в начале эксплуатации - Решение проблемы компенсации в начальный период закачки полимера	Возможно развитие геомеханически выраженных каналов фильтрации, которые ухудшают Кохв при последующей закачке	



Анализ чувствительности NPV рекомендуемого варианта



Анализ чувствительности накопленной добычи нефти рекомендуемого варианта



Анализ чувствительности:

1. При изменении цен на нефть вариант с закачкой полимера остается лучше варианта с закачкой воды
2. Снижение ставки дисконтирования повышает экономическую эффективность полимерного заводнения, т.к. закачка полимеров характеризуется отложенным во времени получением доп. добычи нефти
3. Изменение стоимости химии или оборудования для полимерного заводнения не существенно сказывается на экономической эффективности проекта

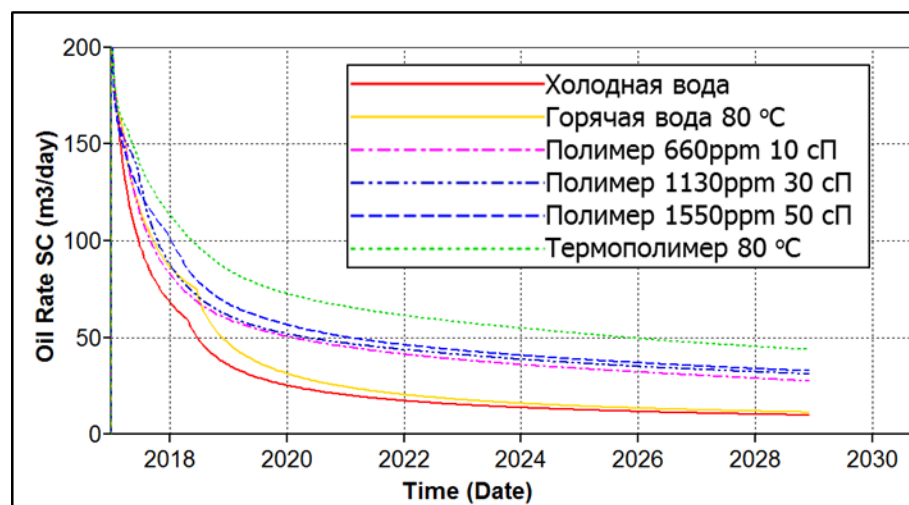


Термополимерное заводнение

Перспективным продолжением работ по полимерному заводнению является термополимерное заводнение

Под «термополимерным» воздействием в данном случае понимается закачка раствора полимера, нагретого не выше 80 °С, что не требует использования дорогих термоустойчивых марок полимера

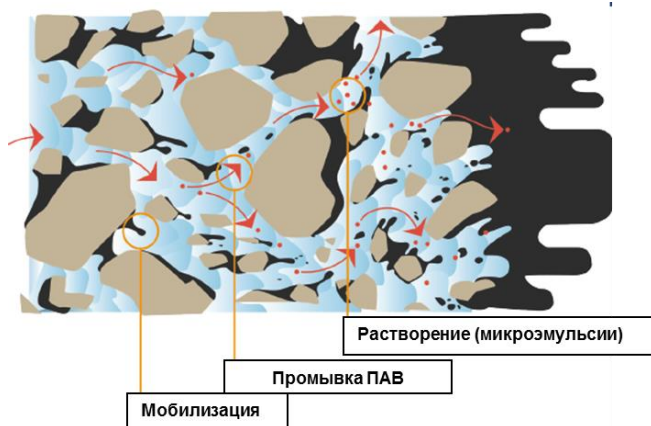
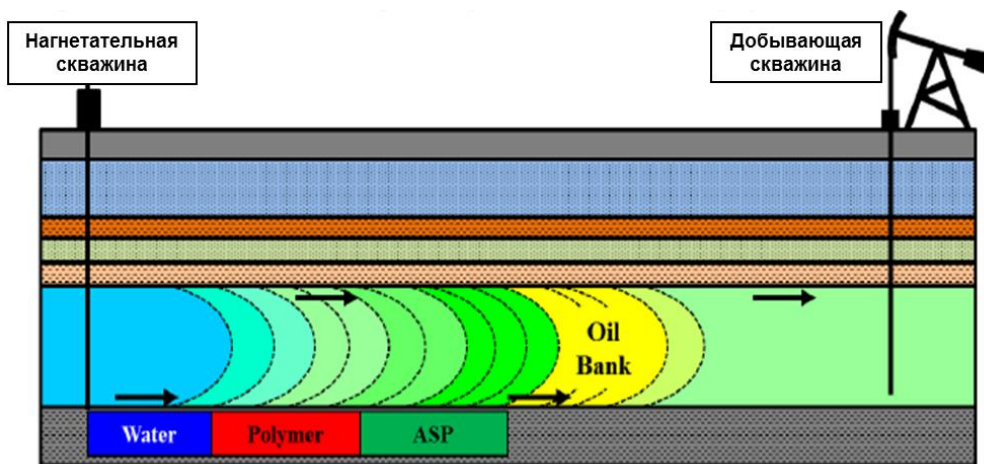
Эффект	Степень положит. влияния
«Стандартные» эффекты, достигаемые при закачке ненагретых полимеров	✓✓✓
Обеспечение требуемого уровня компенсации закачкой	✓✓✓
Повышение теплоотдачи и относительно равномерное распространение тепла	✓✓✓
Повышение коэффициента вытеснения (Квыт)	✓✓✓
Повышение Кохв за счет температуры	✓✓
Профилактика негативных эффектов при закачке ненагретых растворов	✓
Использование относительно недорогих марок полимера	✓✓





Щелочь-ПАВ-полимерное заводнение (ASP)

Закачка полимеров может сопровождаться закачкой более сложных систем (например, ASP) с целью дальнейшего повышения Квыт и КИН



Принципиальная схема технологии ASP заводнения:

- 1 этап. Закачка оторочки ASP композиции с целью повышения эффективности вытеснения нефти.
- 2 этап. Закачка оторочки полимерного раствора, препятствующей размыву закачиваемой водой.
- 3 этап. Закачка воды с целью проталкивания оторочек химических реагентов.

Обычно технология применяется как третичный метод после заводнения. Возможна реализация с начала разработки

Основные компоненты ASP композиции:

Щелочь – снижение адсорбции дорогостоящих ПАВ, повышение Квыт

ПАВ – снижение межфазного натяжения на границе с нефтью, повышение Квыт

Полимер – повышение Кохв за счет увеличения вязкости вытесняющего агента и выравнивания фронта вытеснения

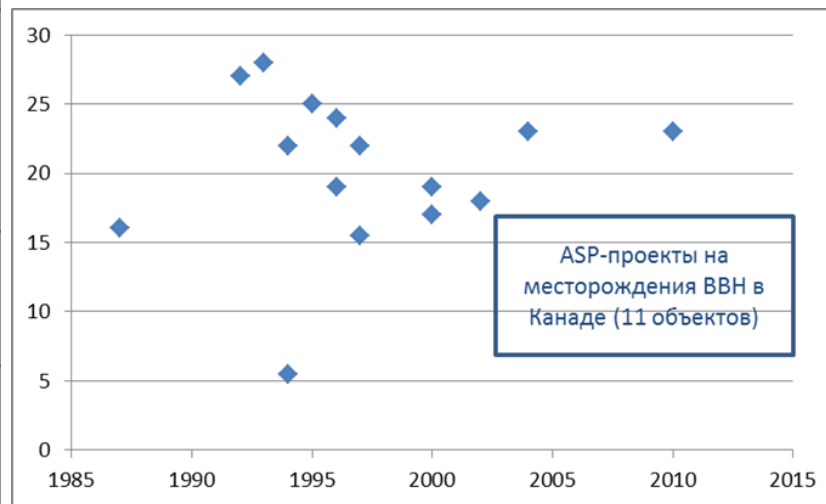
ASP заводнение

Предпосылки ASP на Русском месторождении



Параметры эффективного ASP-проекта	Показатель для Русского	Влияние
Высокое общее кислотное число нефти (способствует генерации натуральных ПАВ при реакции с щелочью)	ОКЧ=1,23 мг. КОН/г.	Позитивное
Низкая температура пласта (<30 °C), высокая проницаемость (>500 мД)	T=16-20 °C, k>500 мД	Позитивное
Низкая соленость пластовой и закачиваемой воды (обеспечение стабильности и целевой вязкости полимера)	Общая минерализация ~9800 мг/л, кальция + магния 190 мг/л	Требуется умягчение воды (удаление двухвалентных катионов)
Корректно подобранные ПАВ, концентрации ПАВ и щелочи	Единичные эксп. без детального подбора рецептур	Требуется лабораторные исследования
Достаточная приемистость	Есть ограничение по Рзаб=110 атм.	Требуется ОПР по полимерному заводнению
Низкое содержание глин (увеличивают адсорбцию ПАВ)	Коллектор неоднородный, с большим числом пропластков	Требуется анализ влияния глин

Прирост КИН абс. при ASP в сравнении с закачкой воды (мировой опыт)



Предпосылки ASP для Русского:

1. Свойства пласта и состав нефти в целом соответствуют критериям технологически успешного ASP-проекта
2. Требуется детальный подбор рецептуры ASP, т.к. вероятно негативное влияние глин и двухвалентных ионов воды
3. Требуется подтверждение в ОПР достаточной приемистости при закачке вязких агентов (полимеров)

ASP заводнение

Исходные данные для моделирования



surf, %w	alc, %w	σ , dyn/sm	Nc
0	0	15	1E-07
0	1	0.15	
0.01	0	0.15	
0.01	1	0.015	0.0001
0.15	0	0.015	
0.15	1	0.0015	0.001
0.5	0	0.0015	
0.5	1	0.00015	0.01
1	0	0.0001500	
1	1	0.0000060	0.25

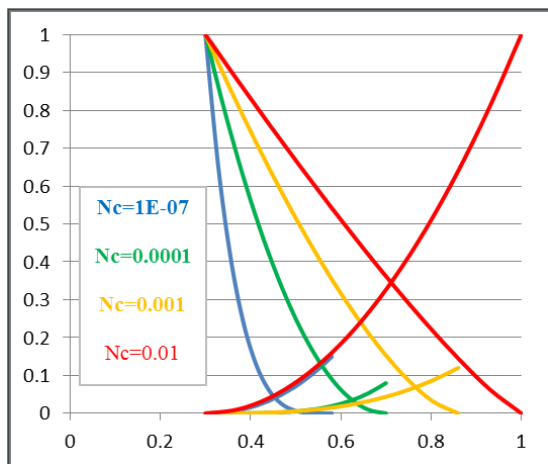
Ключевые параметры для учета при моделировании:

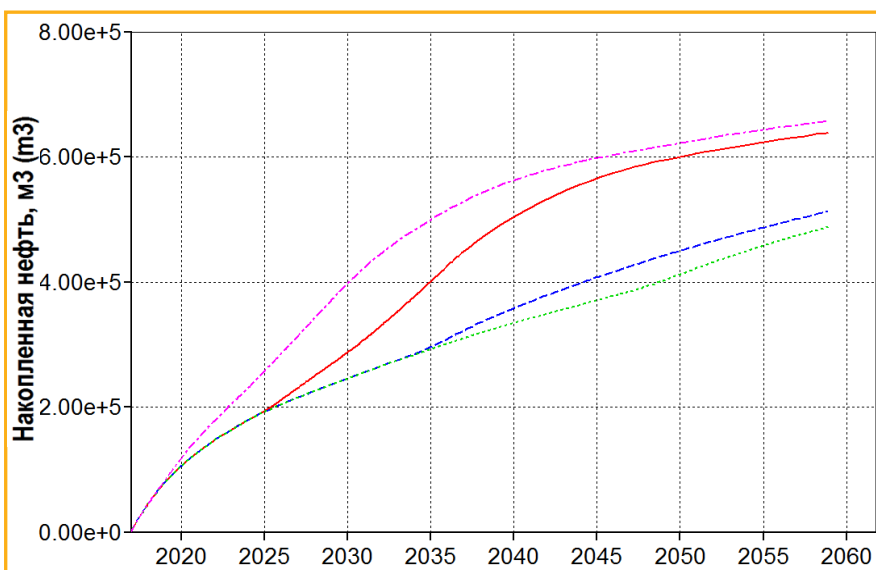
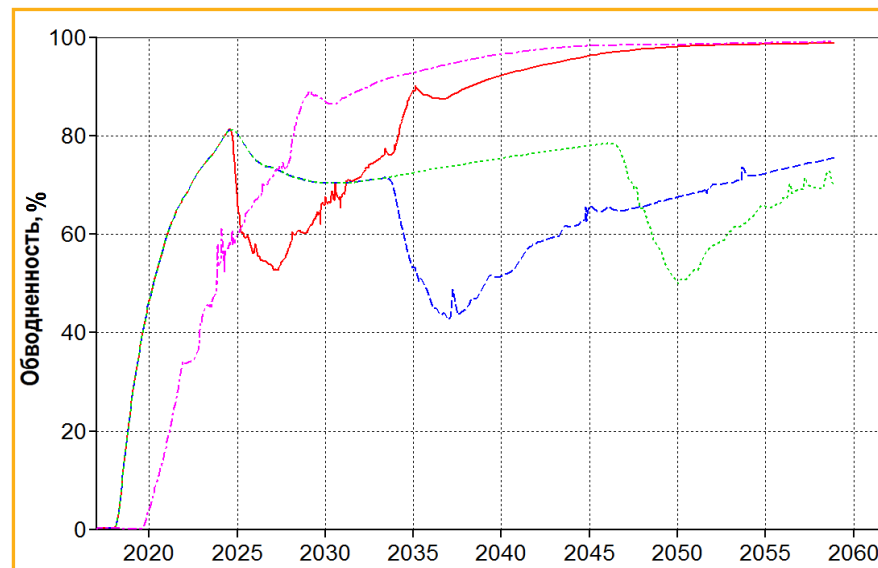
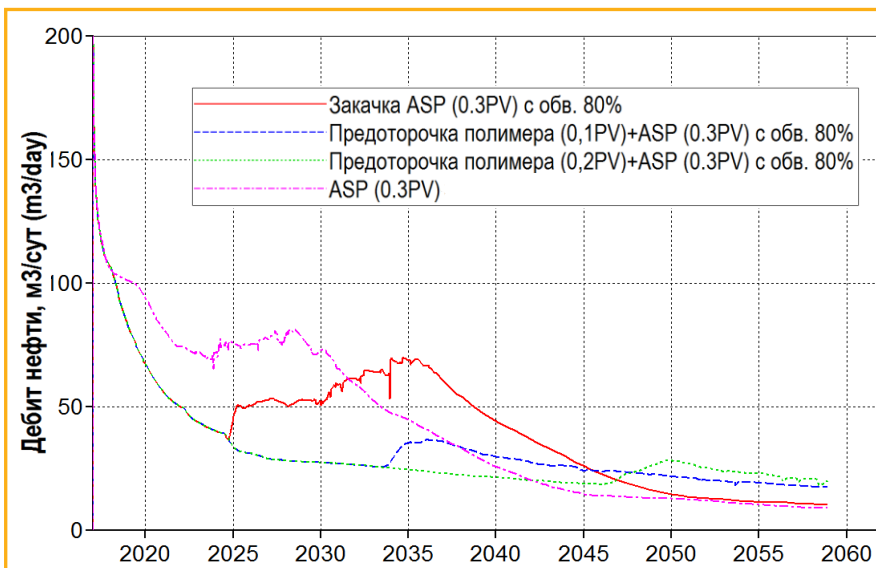
- полимеры -

1. Зависимость вязкости от концентрации полимера
2. Влияние на вязкость полимера скорости фильтрации
3. Зависимость $K_{\text{выт}}$ от концентрации полимера
4. Диапазон значений адсорбции и фактора сопротивления

- раствор ASP (мировой опыт) -

5. Поверхностное натяжение (σ) и капиллярное число (Nc) от концентраций ПАВ и щелочи
6. Зависимость ОФП от Nc
7. Адсорбция полимера в присутствии ПАВ+щелочь.
Адсорбция ПАВ в присутствии щелочи





Стадия начала закачки ASP-раствора:

1. Закачка ASP с начала эксплуатации элемента приводит к наибольшей накопленной добыче нефти
2. Закачка ASP на любой стадии приводит к значительному повышению дебита нефти в сравнении с закачкой воды, а также к снижению или более медленному развитию обводненности
3. Пред-оторочка полимера перед закачкой ASP отрицательно влияет на эффективность ASP ввиду снижения гидропроводности между скважинами в процессе выравнивания фронта вытеснения



Применяемые и перспективные технологии разработки



№	Технология	КИН на примере Русского	Прирост Кохв		Прирост Квыт	Тиражирование (% запасов Русского)
			по разрезу	по площади		
0	Стандартное заводнение, в том числе горячей водой	15%	база для сравнения			100%
1	МЗС	+2%	✓✓✓	✓		40%
2	МГРП в ГС		✓✓✓			30%
3а	Полимерное заводнение	+6%	✓	✓✓		90%
3б	Учет геомеханики (режимы работы скв.)					
4	Термополимерное заводнение	+9%	✓	✓✓✓	✓	90%
5	ASP / ПАВ-полимерное заводнение	+15%	✓	✓✓	✓✓✓	90%
6	Разработка тонких подгазовых оторочек	+1% на Русском +7% на др.		✓✓✓		Ван-Еганское С-Комсомольское 3-Мессояхское
	В целом	23-33%				



ВЫВОДЫ

1. Моделирование химического воздействия для МВВН требует применения детальных секторных моделей, в которых адекватно учитываются все ключевые физические процессы
2. Сформирован набор данных для моделирования полимерного заводнения. В отсутствие собственных исследований предложена схема подготовки исходных данных для моделирования ASP
3. Закачка полимерных растворов приводит к снижению обводненности и приросту добычи нефти. Прирост добычи сдерживается ограничением по забойному давлению – применение целевых концентраций приводит к отложенной во времени доп. добыче и снижению рентабельности, при этом фиксируется падение пластового давления из-за низкой компенсации закачкой. Предложена оптимальная схема реализации полимерного заводнения в данных условиях
4. ASP заводнение показало технологическую эффективность для Русского месторождения, прирост добычи нефти +43%/+30% в сравнении с закачкой воды/полимера. Однако в текущих экономических предпосылках метод нерентабелен



Контактная информация

г. Тюмень, ул. Осипенко, д. 79/1

тел. (3452) 52-90-90

e-mail: tnnc@rosneft.ru

Спасибо за внимание!

