ДОКЛАД

Развитие технологий искусственного интеллекта в управлении разработкой нефтяных месторождений

Юрий Лаппо

Искусственный интеллект в нефтегазовой отрасли

ТИНГ Тюменский институт нефти и газа

Цифровизация нефтедобычи | Снижение обводненности | Искусственный интеллект | Оптимизация закачки | Технологическая платформа АТЛАС | Инверсионное заводнение | Управление заводнением | Концепт «ЛОЗА»

Потенциал цифровизации нефтедобычи

Структура запасов нефти*

Структура добычи нефти*

* По данным VYGON Consulting: «Нефтесервисный рынок: фокус на диверсификацию»

Область интересов — «Зрелые» месторождения

Темпы падения добычи нефти по базовому фонду – от 10 до 20%

Снижение эффективности ГТМ на базовом фонде (поддержание базовой добычи)

Высокие риски капиталоемких ГТМ (УБ, БС, ГРП)

Рост эксплуатационных затрат

Рост себестоимости добычи нефти

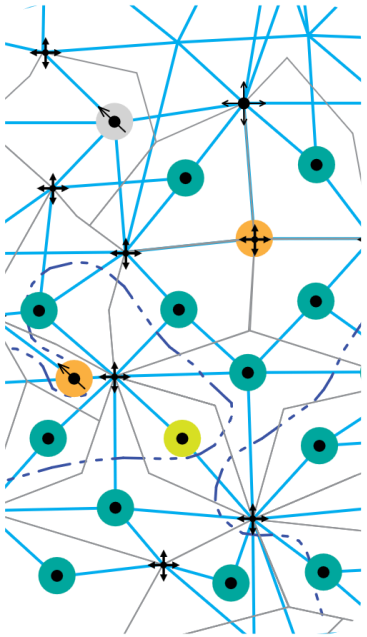
Решения

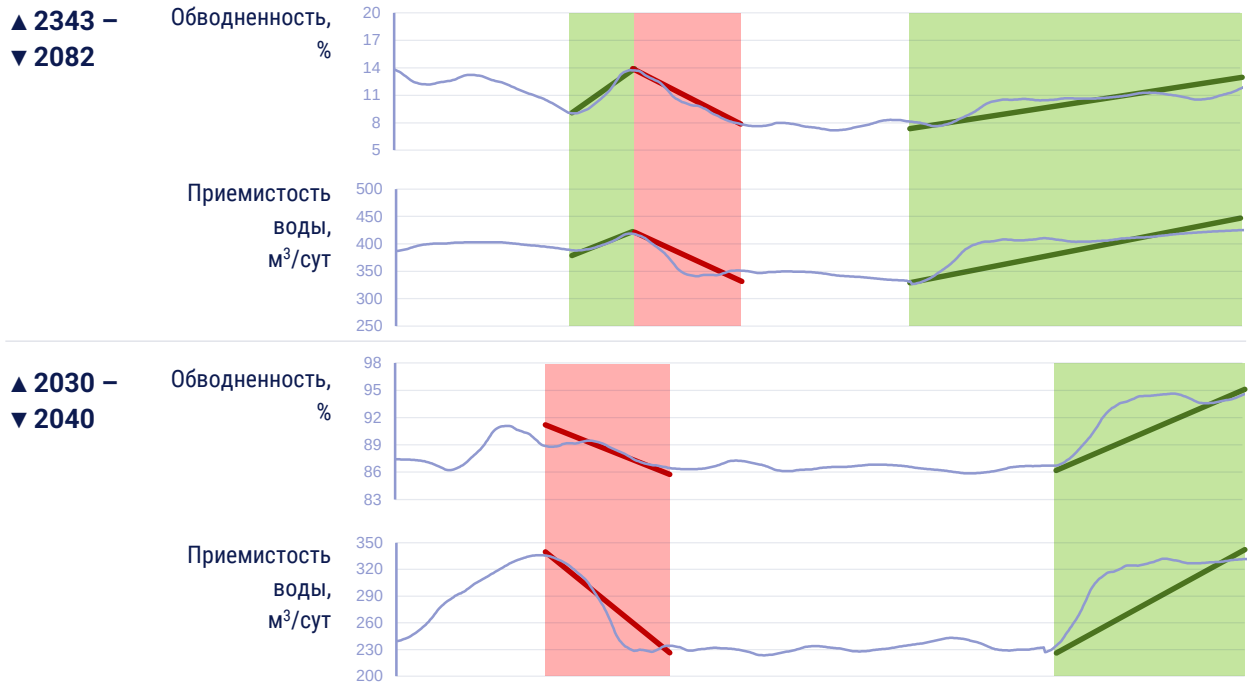
- **Интеллектуальные системы поддержки принятия решений**
- **Системы управления добычей и закачкой**
- **Восполнение ресурсной базы разбуренных и обустроенных месторождений**

За счет принятия обоснованного решения, полученного в результате расчета сложившихся зависимостей возможно **существенно повысить эффективность нефтедобычи и снизить объем непроизводительной закачки**

Оценка и масштаб явлений

События изменения уровней добычи нефти могут быть **как закономерно связанными** с событиями изменения закачки, так **и совершенно случайно**. Наличие больших объемов данных, собранных за историю эксплуатации месторождения позволяют определять причинно-следственные связи там, где этого нельзя сделать привычными методами





Эффект снижения обводненности

		Регистрация изменений	
		Случайное	Закономерное (ГТМ)
Фонд скважин, ед.	Действующий добывающий	120	120
	В т.ч. со случаями снижения обводненности	**15 из 120**	**8 из 77**
Снижение обводнености, %	Минимальное	5	5
	Среднее	23	18
	Максимальное	92	52
Продолжительность события, мес.	Минимальное	4	5
	Среднее	8	8
	Максимальное	15	14
Средний прирост дебита нефти, т/сут		**4,6**	**4,8**

Модель ИИ в управлении добычей нефти

Входные данные

Суточные замеры на скважинах: дебит жидкости, приемистость, обводненность, забойное давление

Обработка сигналов, верификация замеров

Добывающие скважины:

- Дебит жидкости
- Обводненность
- Забойное давление

Нагнетательные скважины:

Приемистость воды

Метод трендов
Метод Савицкого-Голея
Вейвлет-сглаживание

Кластеризация элементов заводнения

Учет геометрии сетки скважин

Интервалы перфорации
Трассерные исследования
Координаты
Зоны замещения и разломы

Определение трендов в динамике пар скважин:

- Динамика дебита жидкости
- Динамика приемистости

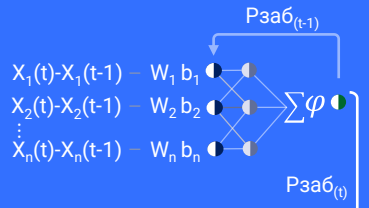
Расчет индекса реагирования и формирование элементов заводнения

Результат этапа: взаимовлияние скважин в элементах заводнения, **кластеризация**

Обучение нейронной сети

Забойное давление

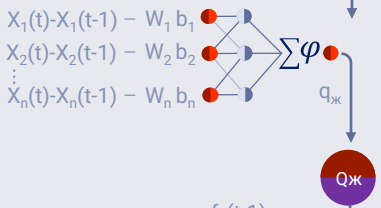
Рекуррентная сеть



Дебит жидкости

Перцептрон с одним скрытым слоем

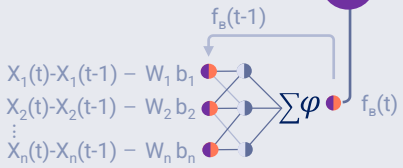
Функция активации – сигмоида



Доля нефти

Рекуррентная сеть

Функция активации – th(x)



Результат этапа: многомерные **функциональные зависимости** показателей эксплуатации добывающих и нагнетательных скважин

Решение оптимизационной задачи

Многомерная оптимизация – **максимизация суммарного дебита нефти** в заданной модели ограничений

Выходные данные

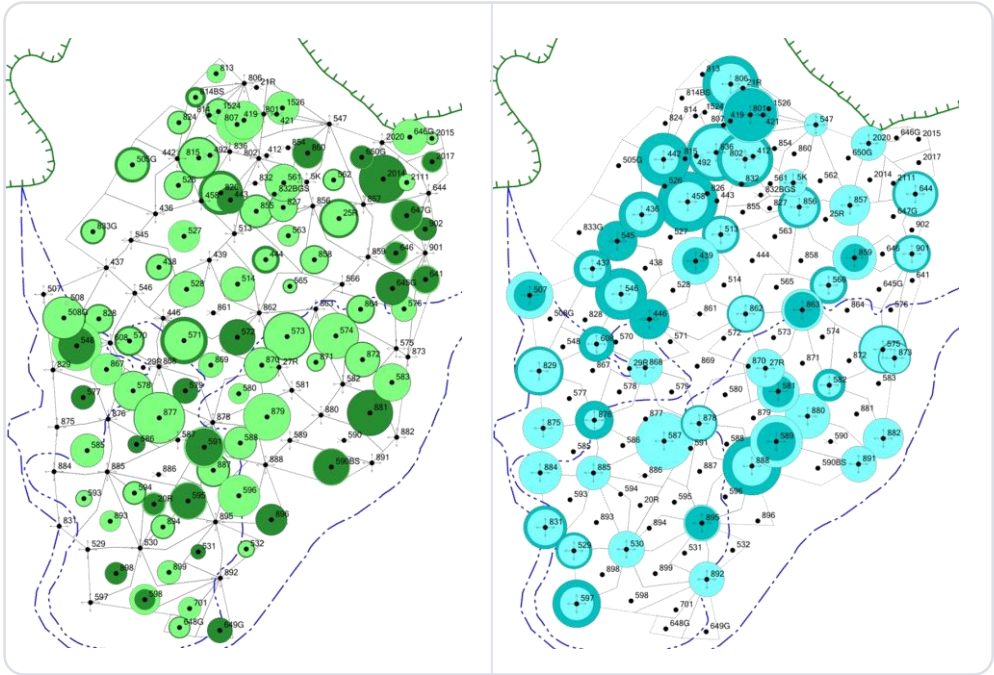
Оптимальные режимы эксплуатации нагнетательных и добывающих скважин, обеспечивающие максимум суммарного дебита нефти

Реализация режимов

Эффект

Снижение	Темпов падения добычи нефти и роста обводнения
	Непроизводительной закачки и попутно-добываемой воды
	Себестоимости добычи
Увеличение	Добычи нефти (формирование дополнительной добычи)
	ЧДД
	Коэффициента извлечения

Решение оптимизационной задачи

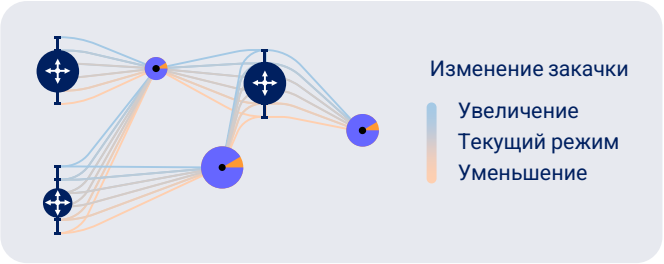


- Увеличение приемистости
- Снижение приемистости
- В режиме
- Запуск скважины
- Увеличение отборов
- Снижение отборов
- В режиме

Оптимальный «дизайн» отборов и закачки в заданной модели ограничений

Максимизация добычи за счет регулирования и перераспределения закачки

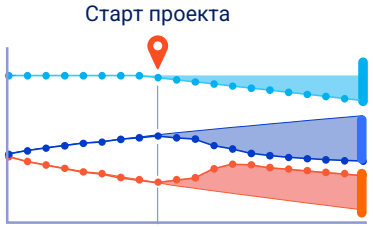
Вариативность распределения добычи нефти



Результат

Добыча

- Добыча нефти, Факт
- Добыча нефти, База
- Добыча воды, Факт
- Добыча воды, База
- Закачка воды, Факт
- Закачка воды, База



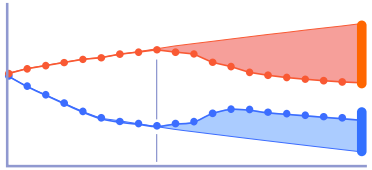
–10 % Снижение непроизводительной закачки

–12 % Снижение объема попутно добываемой воды

+10 % Увеличение суточной добычи нефти

Экономика

- Себестоимость добычи, Факт
- Себестоимость добычи, База
- ЧДД, Факт
- ЧДД, База

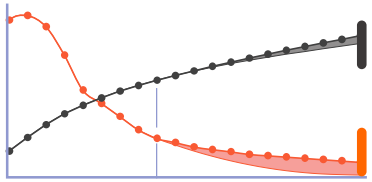


–12 % Снижение себестоимости добычи нефти

+8 % Увеличение чистого дисконтированного дохода

Запасы

- Добыча нефти, Факт
- Добыча нефти, База
- КИН, Факт
- КИН, База



+5 % Прирост КИН

+10 % Увеличение остаточных извлекаемых запасов нефти

История внедрения технологии

Накопленный фонд скважин,

вовлеченный в тиражирование технологии при инжиниринговом сопровождении ТИНГ

Регионы внедрения технологии

Накопленные объекты разработки

Расширение границ применимости технологии

Параметры	Базовые требования 2022 г.	Уточненные требования 2025 г.
Тип залежи	Пластовая, массивная с высокой расчлененностью разреза и экранированной более 70% площади водонефтяной зоны	Пластовая либо массивная
Стадия разработки	Завершающая третья, четвертая стадии	**Вторая**[1], третья, четвертая стадии
Доля ВНЗ	До **90**%	До **100**[19]%
Доля ГНЗ	До **50**%	До **50**%
Тип коллектора	Терригенный	Терригенный, **карбонатный**[4]
Вязкость нефти	До **50** сПз	До **100**[1] сПз
Проницаемость коллектора	От **10** до **1 000** мД	От **10** до **2 000**[1] мД
Средний дебит жидкости	Более **20** т/сут	Более **5**[5] т/сут
Минимальная приемистость	**10** $м^3$/сут	**10** $м^3$/сут
Действующий фонд скважин	Не менее **20** ед.	Не менее **20** ед.

Технология проведения работ по нейросетевой оптимизации режимов закачки воды

Ежеквартальная актуализация

1 Предварительная обработка данных

Фильтрация «сырых» данных:

- Дебит жидкости
- Приемистость воды
- Обводненность
- **Линейное давление**

Верифицированные данные

2 Кластеризация элементов разработки

Формирование кластеров и элементов заводнения

Элемент заводнения – группа скважин, состоящая из реагирующей добывающей скважины и влияющих нагнетательных скважин

** узловые скважины не являются основой элементов заводнения, но входят в элементы заводнения по аналогии с нагнетательными скважинами*

3 Адаптация прокси-модели

Поиск функциональной зависимости:

- Дебит жидкости от приемистости воды
- Обводненность от приемистости воды
- **Линейное давление от добычи жидкости**
- **Дебит жидкости от линейного давления и дебита жидкости узл. точ.**
- **Обводненность от дебита жидкости**

4 Обоснование стратегии оптимизации системы заводнения

Формирование модели ограничений

Технологические ограничения по скважинам и участкам разработки с учетом технической возможности обеспечения оптимальных режимов закачки воды

Технологические ограничения по скважинам и участкам разработки с учетом технической возможности обеспечения оптимальных режимов добычи жидкости и линейного давления

5 Решение оптимизационной задачи

Многомерная оптимизация – **максимизация экономического показателя эффективности разработки (ΔNPV)** воды и **добычи жидкости**

6 Прогнозная аналитика

Ранжирование элементов заводнения по степени влияния

Формирование дорожной карты работ реализации оптимальных режимов

Прогнозные профиля закачки, добычи нефти, жидкости и базовые показатели разработки

7 Оперативный контроль

Мониторинг выполнения дорожной карты работ

Оценка потерь и приобретений в добычи нефти

Формирование цифрового технологического режима работы скважин

Контроль цифровых индикаторов эффективности работ: оптимизированность элементов заводнения, устойчивость оптимизированности

Оптимизированным является элемент заводнения, все нагнетательные скважины которого находится в оптимальном режиме работы

Оптимизированность системы заводнения — процент оптимизированных элементов заводнения

Устойчивость оптимизированности — процент элементов заводнения, которые в относительный временной период были оптимизированы более 70% времени

Технологическая платформа

АТЛАС

Расчетное ядро

Искусственные нейронные сети

Методы машинного обучения

Решения на основе ансамбля технологий

ГЕОЛОГИЯ

- Neuro Tracker
- Подсчет запасов

СОПРОВОЖДЕНИЕ РАЗРАБОТКИ

- Анализ добычи
- ТРИЗ+
- Экспертиза

Базис

Базовый модуль для анализа и визуализации данных

СКВАЖИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- АСУ
- Диспетчер скважин

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Оценка инвестиций

Управление заводнением

Технология повышения эффективности разработки и снижения себестоимости добычи нефти

Алгоритмы

Машинное обучение

- K-Nearest Neighbors
- Naive Bayes classifier
- Random forest
- Gradient boosting
- Logistic regression
- Ансамблирование решений

Нейронные сети

- Multilayer perceptron
- Recurrent neural network

Решение оптимизационных задач

Градиентный спуск
Инерционный градиентный спуск
Имитация отжига

Защищенные авторским правом модели и методики обучения

В составе патентов «Способ оперативного управления заводнением»

Рекомендованы к применению по решению ЭТС ГКЗ

Совершенствование структуры расчетного ядра

Улучшение имеющихся решений

Повышение скорости
Улучшение качества

Инверсионное заводнение

Синергия управления заводнением и методов циклического воздействия

Забойные давления

Недопущение снижения забойного давления

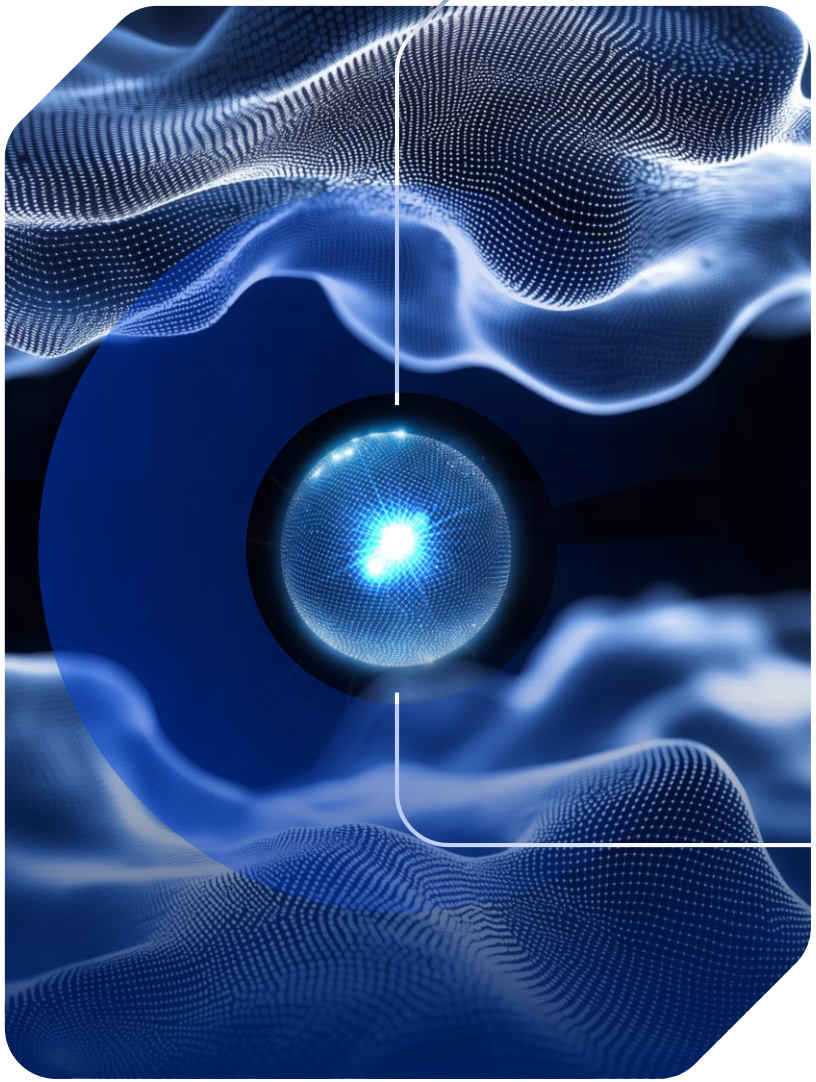
Перспективные направления разработки

Интеграция проекта «ЛОЗА» в расчет и др.

Совершенствование структуры расчетного ядра

Улучшение имеющихся решений

Улучшено качество расчета нейросетевых алгоритмов. Произведена модификация с целью точного выполнения решений с учетом множественных моделей ограничений.



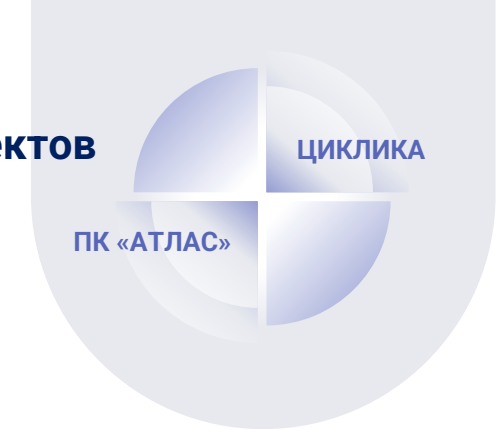
Повышение скорости

Улучшение качества

Совершенствование структуры расчетного ядра

Инверсионное заводнение

Синергия эффектов

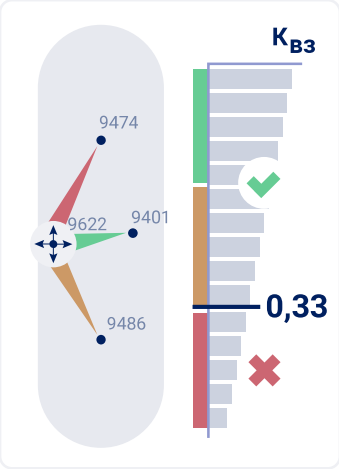


1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6

Ранжирование нагнетательных скважин

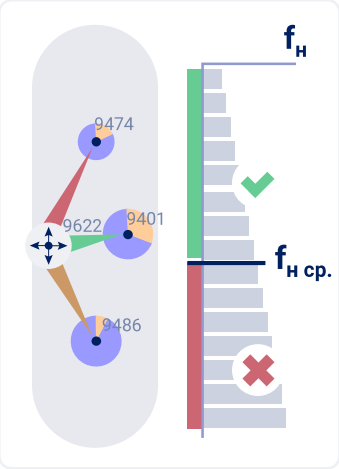
по коэффициенту взаимовлияния

Расчет **коэффициента взаимовлияния**, исключение скважин с низким коэффициентом взаимовлияния



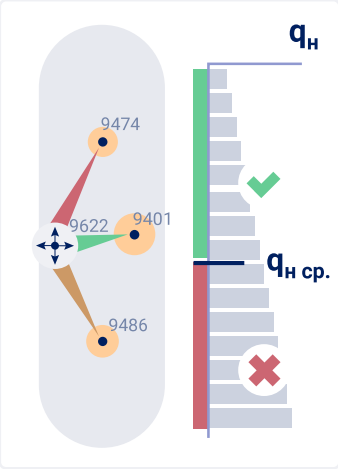
по доле нефти

Расчет средней **доли нефти** обращенного элемента заводнения , исключение скважин для которых в обращенных элементах заводнения **доля нефти** больше средней в целом объекту



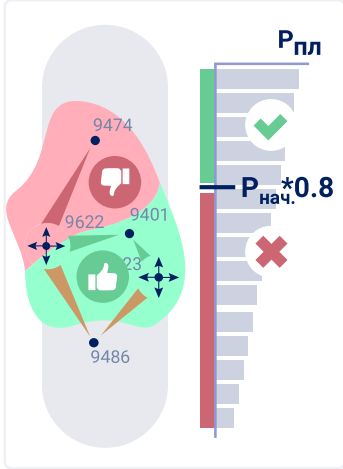
по дебиту нефти

Расчет среднего **дебита нефти** обращенного элемента заводнения , исключение скважин для которых в обращенных элементах заводнения **дебит нефти** больше среднего в целом объекту



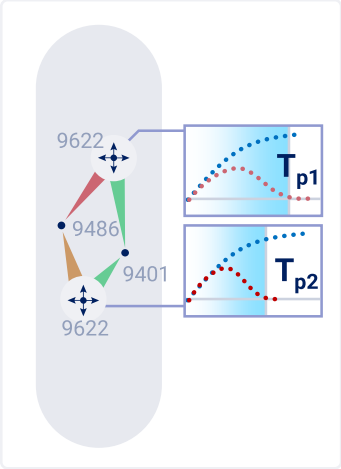
по энергетическому потенциалу

Исключение скважин с **критически сниженным пластовым давлением**



Вычисление продолжительности полуцикла

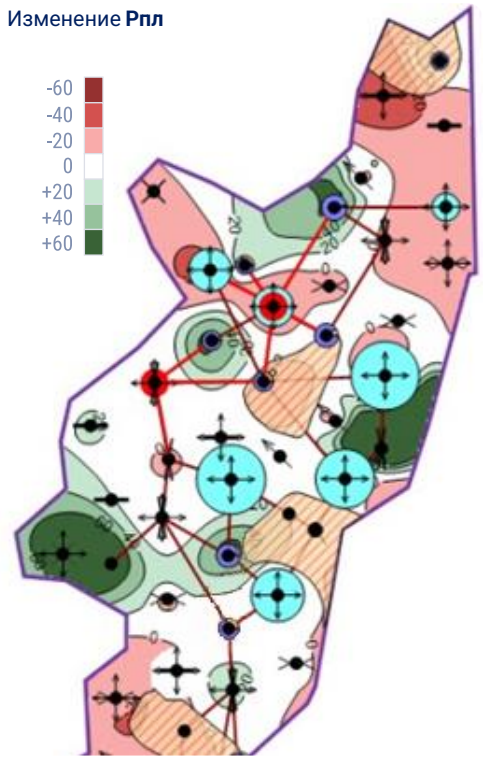
Определение **периода остановки** скважин определяется в процессе контроля технологических показателей после завершения периода реагирования по участку (Тр)

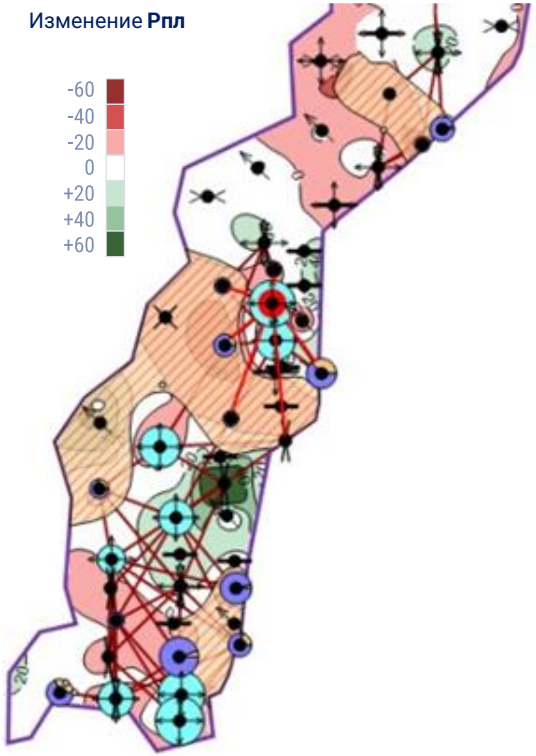


Формирование цифрового технологического режима

Совершенствование структуры расчетного ядра

Забойные давления





Энергетический фактор зачастую является сдерживающим при выполнении расчетов оптимальных режимов закачки

С целью локального учета энергетической ситуации по элементам заводнения забойное давление внедрено в структуру расчетного ядра

Основная проблема учета забойного давления – его малая замеряемость. Для восстановления значений **разработана специальная методика**

Совершенствование структуры расчетного ядра

43%

Повышение качества адаптации

Адаптированных элементов до модификаций – 34 (60%)

Адаптированных элементов после модификаций – 48 (84%)

61%

Сокращение времени проведения расчетов

Время выполнения расчетов до – 3 часа

Время выполнения расчетов после модификаций – 1 час

162%

Дополнительная добыча нефти от запланированного показателя при интеграции инверсионного заводнения

Ожидаемая дополнительная добыча – 1 201 тонна

Полученный эффект – 1 946 тонн

Совершенствование структуры расчетного ядра

Перспективные направления разработки

Перспективы модернизации расчетного ядра ПК «АТЛАС» и совершенствование технологии на 2025-2026 гг

Сейчас в активной разработке

- Управление режимами работы добывающих скважин
- Совершенствование алгоритмов формирования элементов заводнения
- Автоматическая интеграция новых очагов в решение оптимизационной задачи

Новые направления автоматизации процессов разработки

- Локализация Остаточных Извлекаемых Запасов (ЛОЗА)
- ИПП ГТМ
- Управление разработкой газовых месторождений

Перспективы синергии технологий «Управление заводнением» и «ЛОЗА»

АТЛАС

1 Предварительная обработка данных

Фильтрация «сырых» данных: замеры qж, fв, qз, «шахматки»

Верификация данных

2 Кластеризация элементов заводнения

Определение групп реагирующих добывающей и влияющих нагнетательных скважин

3 Адаптация прокси-модели

Функциональные зависимости показателей эксплуатации добывающих и нагнетательных скважин

4 Модель ограничений

Дифференциальная модель ограничений

Интегральная модель ограничений

- Совершенствование системы заводнения
- Сценарии глобальной оптимизации

5 Решение оптимизационной задачи

Многомерная оптимизация – максимизация суммарного дебита нефти в заданной модели ограничений

6 Прогнозная аналитика

Формирование дорожной карты работ

Расчет прогнозных профилей добычи и закачки

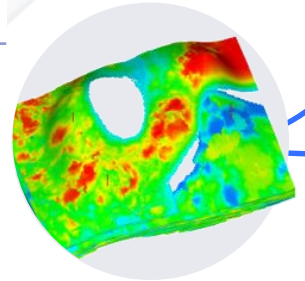
Ранжирование участков работ по плотности подвижных запасов нефти

ЛОЗА

Элементы заводнения

Коэффициенты взаимовлияния

Временные лаги



Подбор кандидатов для совершенствования системы заводнения

Карта текущих подвижных запасов нефти

Нейросетевое формирование ГГДМ с валидированной прогнозной способностью

Результаты внедрения технологий

15 000+
скважин

70+
объектов разработки

30+
месторождений

2 МЛН. РУБ НА СКВАЖИНУ
Прирост чистого дисконтированного дохода

НАО
Республика Коми
Пермский край
Удмуртская Республика
Республика Башкортостан
ЯНАО, ХМАО
Новосибирская область
Мангистауская область, Казахстан

Дополнительная добыча нефти
от +1% до +30%
+1.6 МЛН Т.

Прирост коэффициента извлечения нефти
от +1% до +13%
+5%

Сокращение попутно добываемой воды
от -2% до -27%
-12%

Сокращение себестоимости добычи нефти
от -2% до -35%
-12%

Спасибо за внимание!

Юрий Лаппо

Развитие технологий искусственного интеллекта в управлении разработкой нефтяных месторождений

Искусственный интеллект в нефтегазовой отрасли

ТИНГ Тюменский институт нефти и газа

Цифровизация нефтедобычи | Снижение обводненности | Искусственный интеллект | Оптимизация закачки | Технологическая платформа АТЛАС | Инверсионное заводнение | Управление заводнением | Концепт «ЛОЗА»