

Пример использования нейронных сетей и ML-моделей при разработке нефтяных месторождений

Презентация используемых подходов, инструментов и результатов для решения задачи поддержания пластового давления на нефтяном месторождении



Петров Михаил Геннадьевич

Кандидат технических наук,
Директор по прикладным
разработкам и исследованиям в
области искусственного
интеллекта,
«Альма Сервисез Компани»

О себе



План презентации

- Основные понятия разработки месторождений
- Алгоритмическая архитектура управления разработкой «зрелых» месторождений с применением методов машинного обучения
- Определение и выбор объема выборки первичных данных. Восстановление данных
- Коэффициенты динамической связности между скважинами
- Кластеризация целевых объектов разработки
- Разработка архитектуры нейронной сети в качестве прокси модели
- Постановка оптимизационной задачи. Формирование модели ограничений
- Решение оптимизационной задачи
- Результаты апробации на пилотном участке



Задачи от бизнеса



При разработке месторождения уровень закачиваемой воды в пласт через нагнетательные скважины является регулируемым параметром, а добыча нефти через добывающие скважины – наблюдаемым параметром. Исходя из этого бизнес хочет :

- получать максимальную добычу нефти
- повысить коэффициент полезного действия единицы закачиваемой воды в пласт
- не нарушать технологические режимы работы скважин
- определить взаимовлияние добывающих и нагнетательных скважин



Формализацию задач от бизнеса можно выразить следующими постановками:

- решить задачу оптимизации, а именно поиска оптимальных значений нагнетательных скважин, при которых будет достигнут максимальный дебит нефти
- при решении задачи оптимизации учитывать технологические ограничения на скважины
- для решения задачи оптимизации определить функциональную зависимость между добывающими и нагнетательными скважинами
- функциональная зависимость должна отражать взаимовлияние скважин

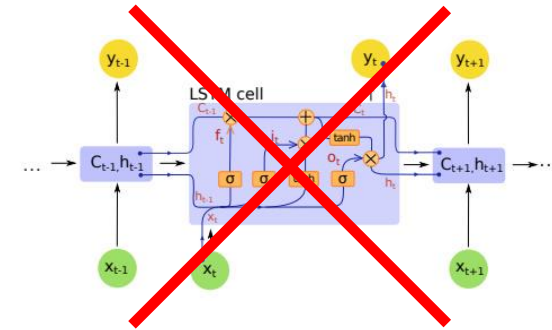
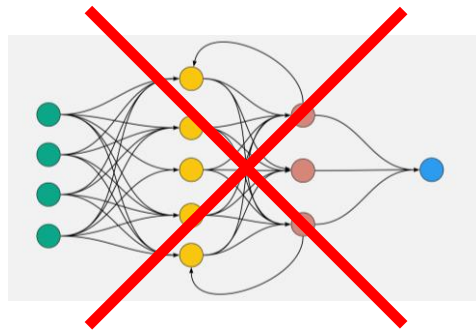
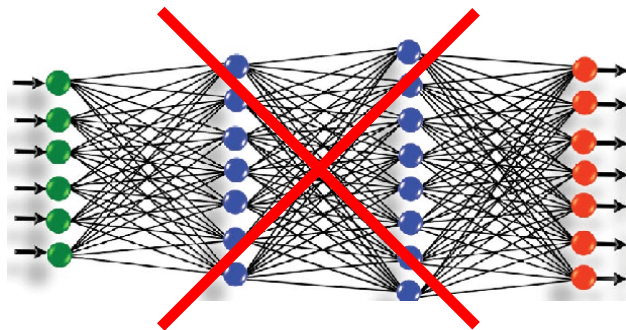
Исходные данные



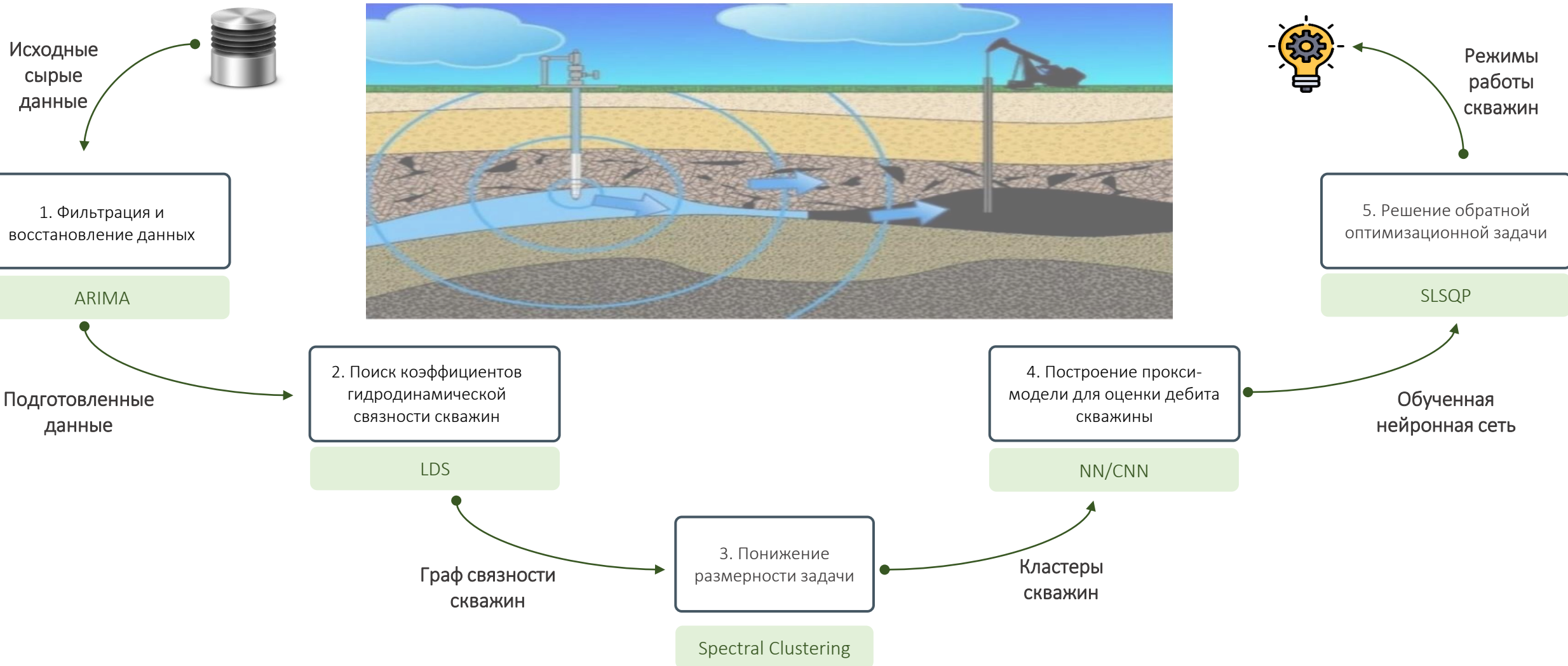
В наличии есть промышленные данные по добывающим и нагнетательным скважинам, при этом:

- Есть «ежедневные» замеры по скважинам, которые представлены лишь за 5 лет и с разной частотностью – от одного раза в день до 4х раз в месяц. Таким образом, для одной скважины в исходной выборке имеется не более 1800 значений замеров.
- Есть «ежемесячные» замеры по скважинам, которые представлены за всю историю работы с частотой данных 1 раз в месяц, т.е. некий средний замер. Таким образом, для одной скважины в исходной выборке имеется не более 400 значений замеров.
- Общее число скважин на месторождение ~1500 при соотношении добывающих к нагнетательным 2:1

При такой глубине выборки решение в лоб и поиск зависимостей «все ото всех» не дало качественных результатов и, как правило, приводило к переобучению моделей.



Алгоритмическая архитектура решения

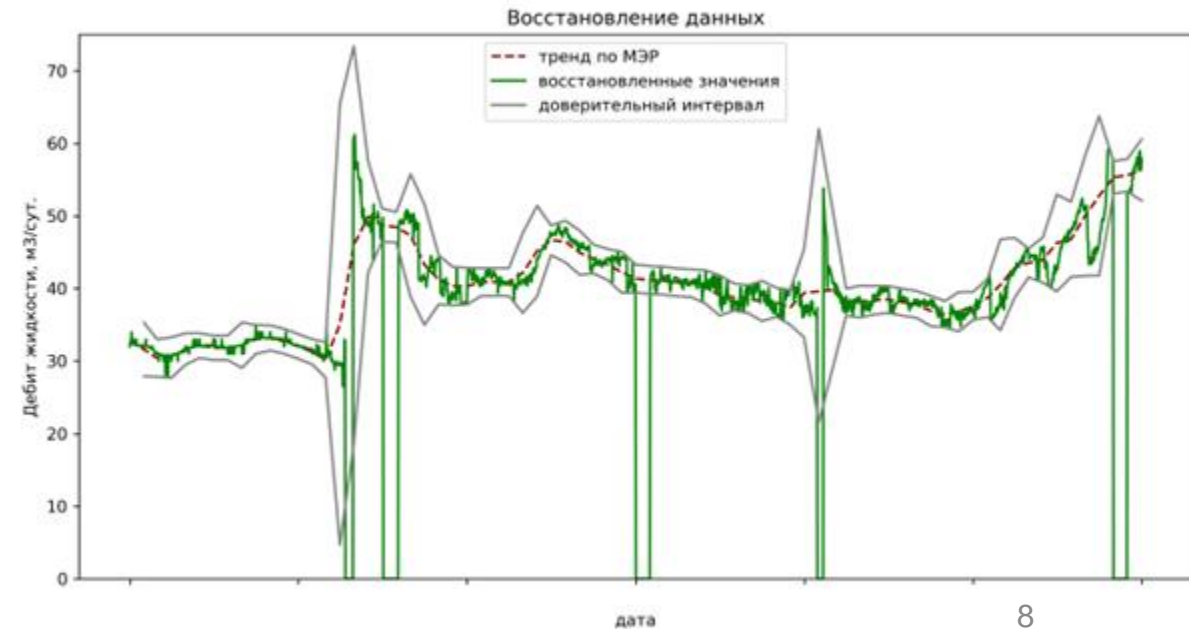
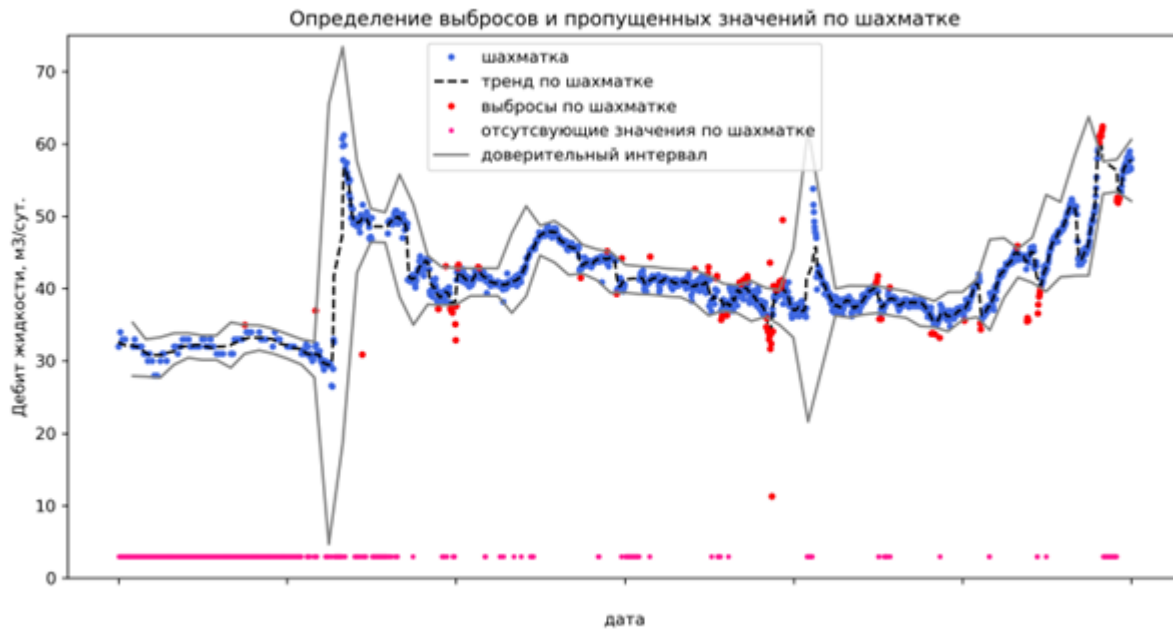


Фильтрация и восстановление данных



За выбранный период (не менее 5 лет) на основе ежемесячных и ежедневных данных получен непрерывный ряд для дебита жидкости, дебита нефти и приемистости:

Пример восстановления данных для дебита жидкости



Коэффициенты динамической связности между скважинами

Определение коэффициентов динамической связности между скважинами

$$\dot{q}_i(t) = \sum_{k=1}^n a_{ik} q_k(t - t_{ik} \text{lag}_1) + \sum_{j=1}^m b_{ij} i_j(t - t_{ij} \text{lag}_2),$$

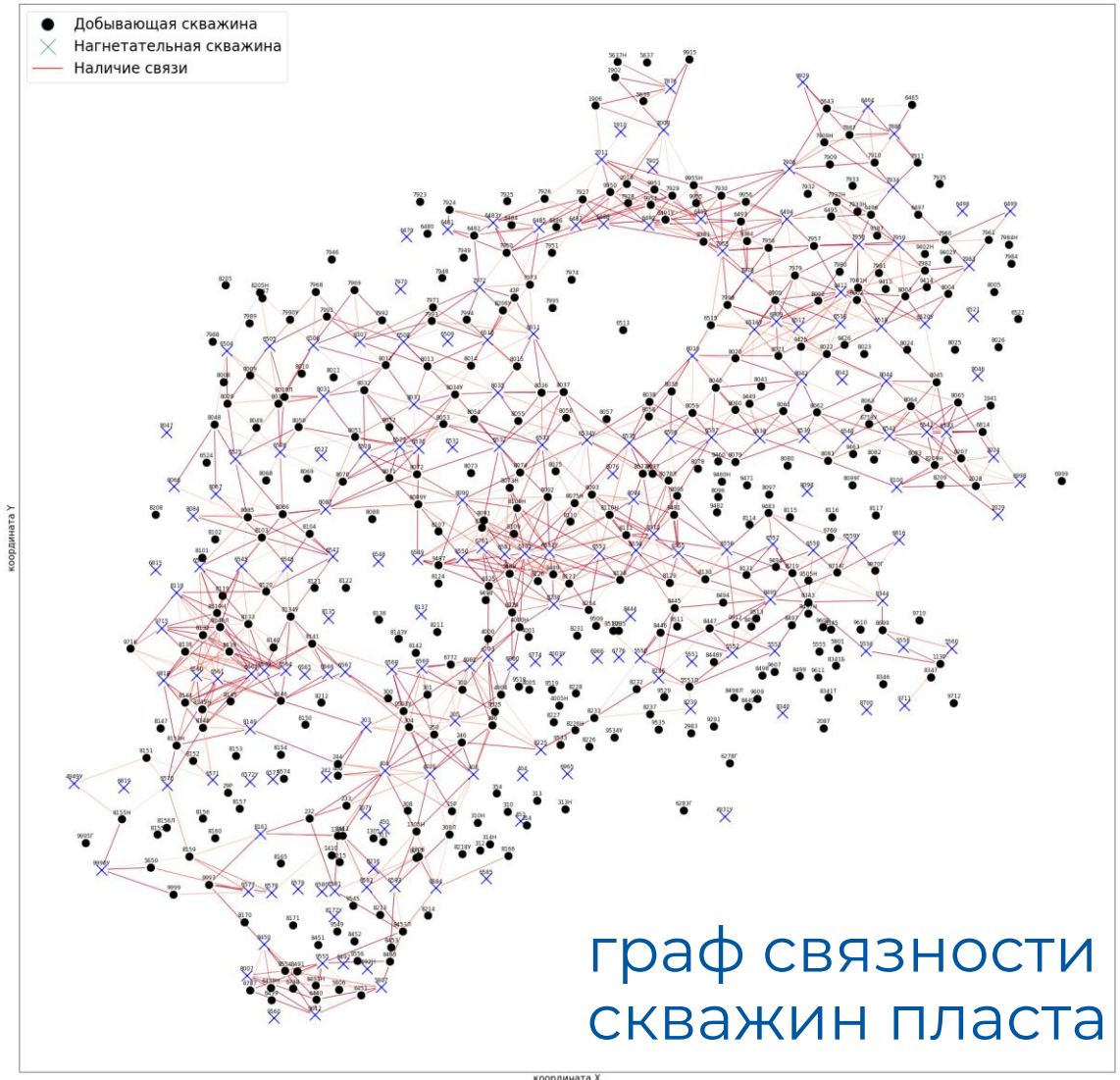
$q_i(t)$ — дебит i -ой добывающей скважины в момент времени t ,

$q_k(t)$ — дебит k добывающей скважины,

$i_j(t)$ — приемистость j нагнетающей скважины,

$t_{ik} \text{lag}$, $t_{ij} \text{lag}$ – время задержки передачи взаимодействия между скважинами, определяемое на основе динамики исторических промысловых данных

Получена матрица связности скважин, которая может быть интерпретирована как взвешенный граф связности, где вершинами являются скважины, а ребрами коэффициенты связности



граф связности скважин пласта

Стратегия понижения размерности при разработке прокси-моделей

объекты разработки

кластеры

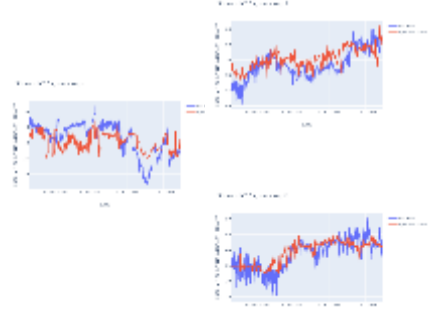
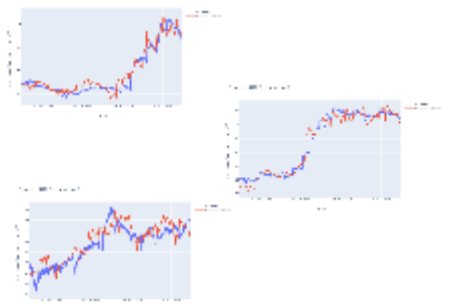
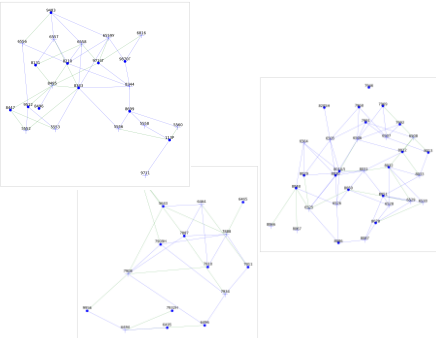
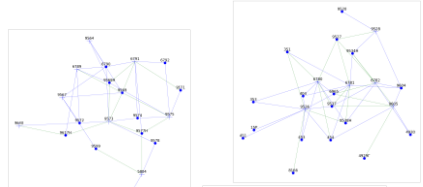
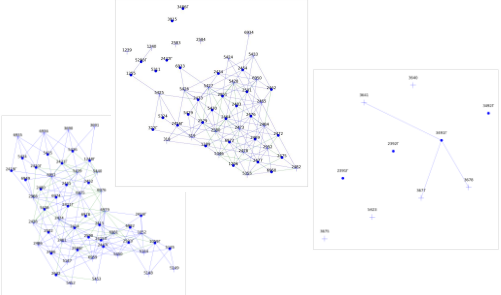
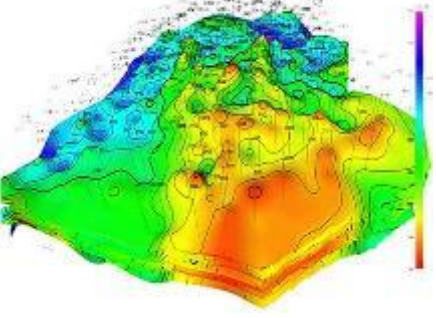
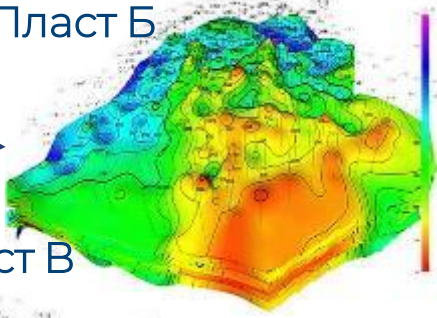
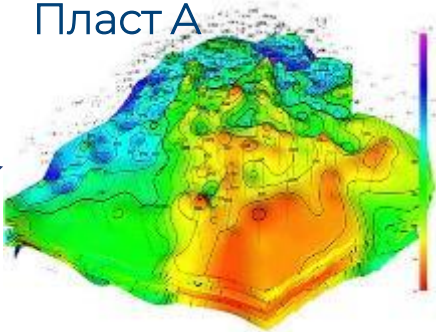
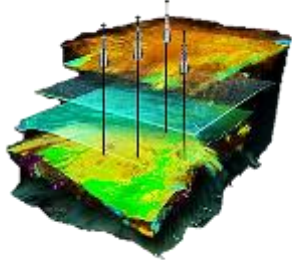
прокси-модели

месторождение

Пласт А

Пласт Б

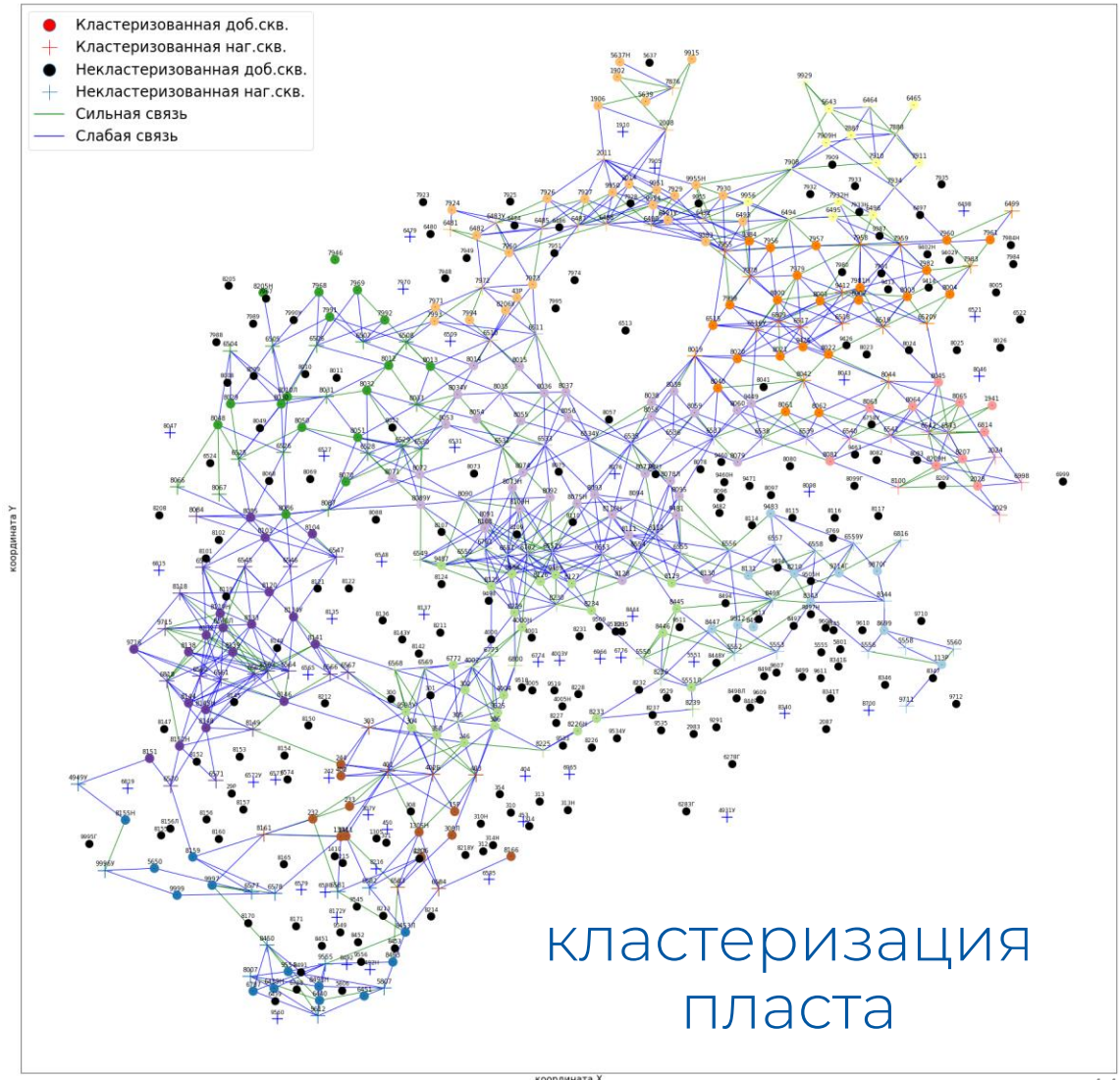
Пласт В



Кластеризация целевых объектов разработки

Матрица коэффициентов связности может быть представлена как связный взвешенный граф, где вершиной является скважина, а ребром – коэффициент динамической связности между двумя скважинами. В этом случае задачу разбиения графа на компоненты связности можно представить как задачу кластеризации, тогда кластера будет являться компонентами связности.

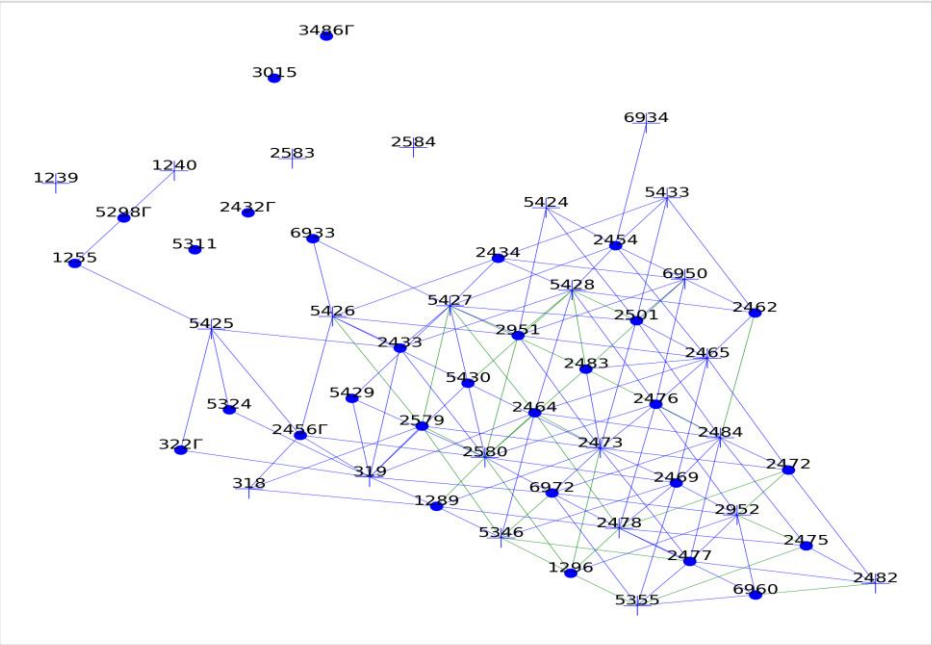
Для кластеризации использовался метод спектральной кластеризации.



Результаты кластеризации по целевым объектам

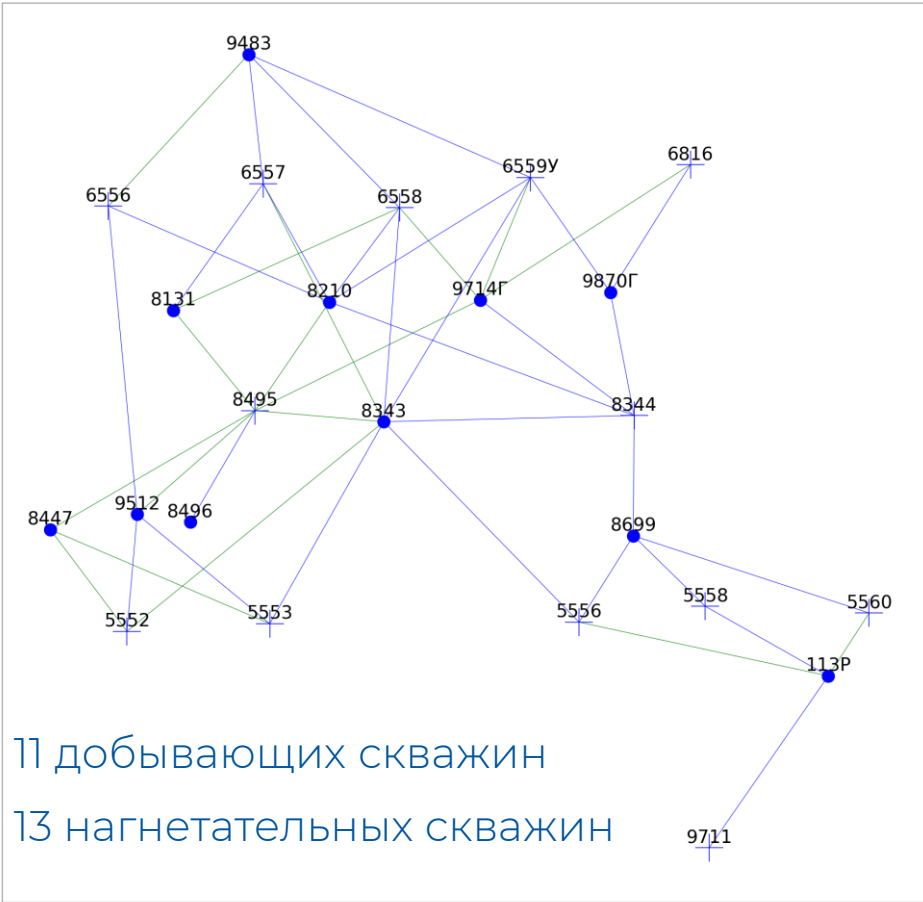
Примеры кластеризации

Пласт А. Кластер 1



30 добывающих скважин
22 нагнетательных скважины

Пласт Б. Кластер 1



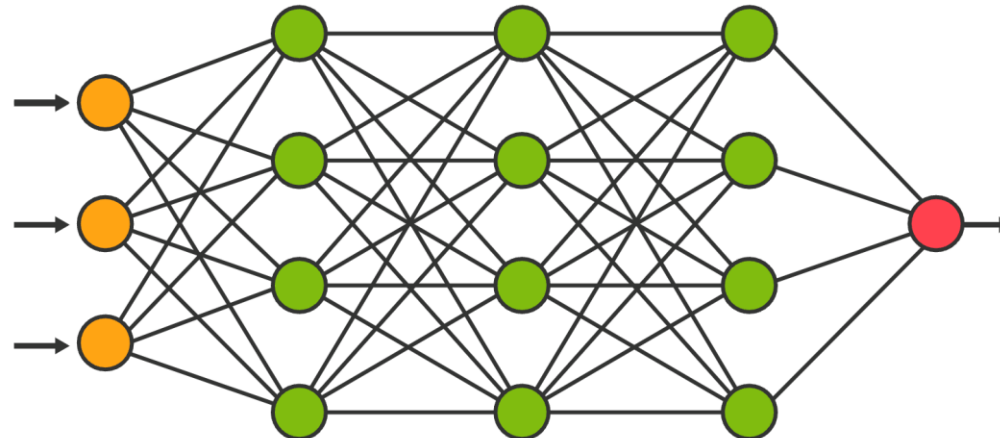
11 добывающих скважин
13 нагнетательных скважин

Выбор типа нейронной сети

Разработана архитектура полносвязной нейронной сети для выделенных кластеров представляет собой:

- 1 входной слой - количество нейронов равно количеству нагнетательных скважин в кластере
- 3 скрытых слоя - 14, 21 и 21 нейрона по слоям соответственно
- 1 выходной слой - один нейрон, характеризующий среднюю добычу по кластеру.
- функция активации - ReLU

Разработанная нейронная сеть характеризует зависимость среднего дебита нефти кластера от режимов работы нагнетательных скважин.

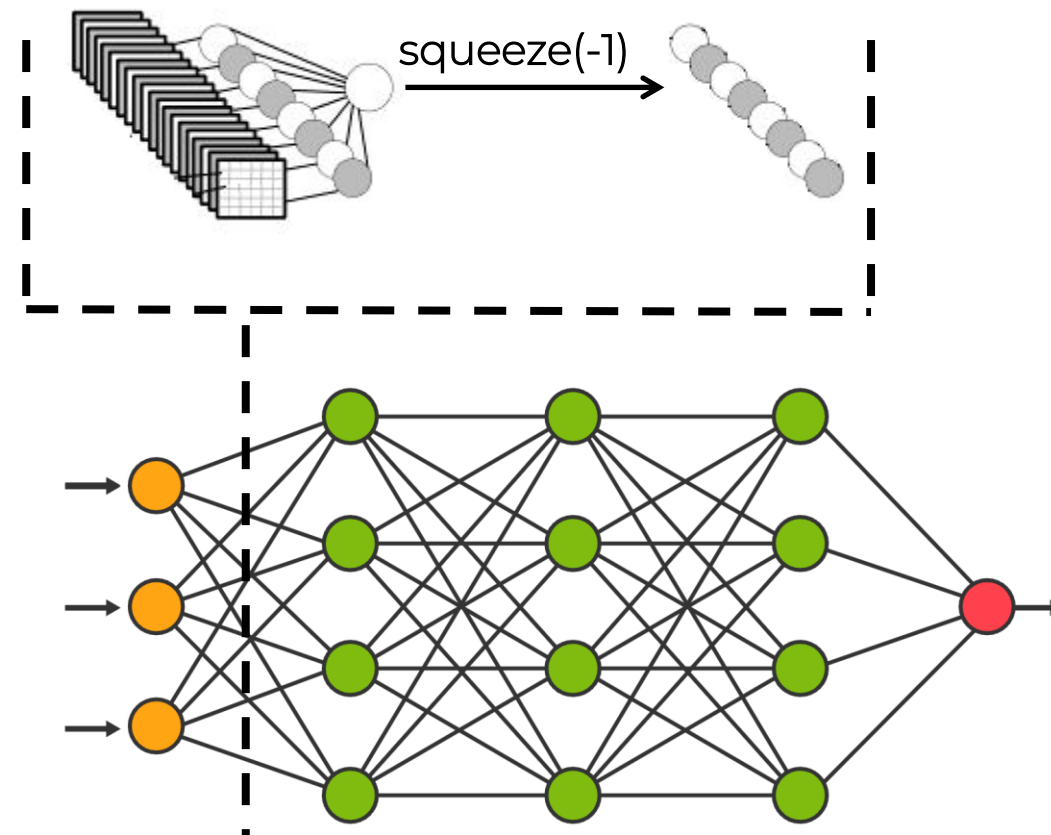


Построение прокси моделей

Обучение нейронной сети

Стратегия обучения нейронной сети:

1. Подготовленная выборка была разбита на тензоры, где один слой – это 7 дней работы всех нагнетательных скважин кластера.
2. Каждый следующий слой матрицы сдвигается относительно предыдущего на день
3. Принцип работы нейронной сети заключается в предсказании значения среднего дебита нефти кластера на 8 день. И так для каждого слоя исходной выборки.
4. Исходная выборка разбита на обучающую и тестовую выборки по соотношению 80/20



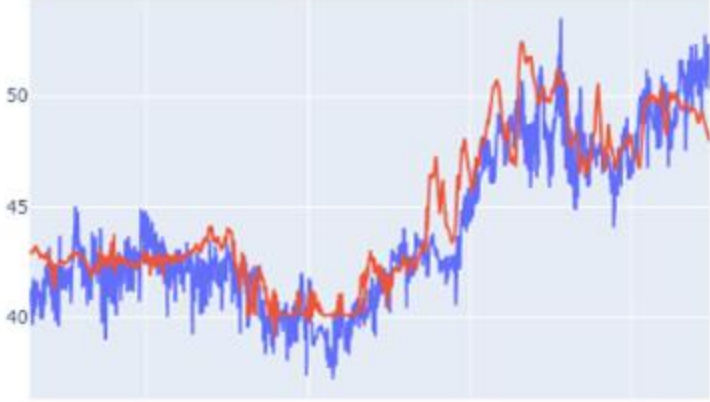
Построение прокси моделей

Примеры результатов обучения прокси-моделей

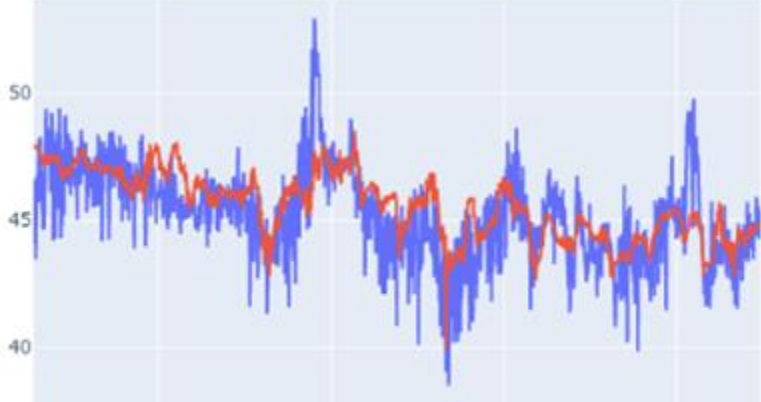
Кластер 1 пласта А



Кластер 7 пласта Б



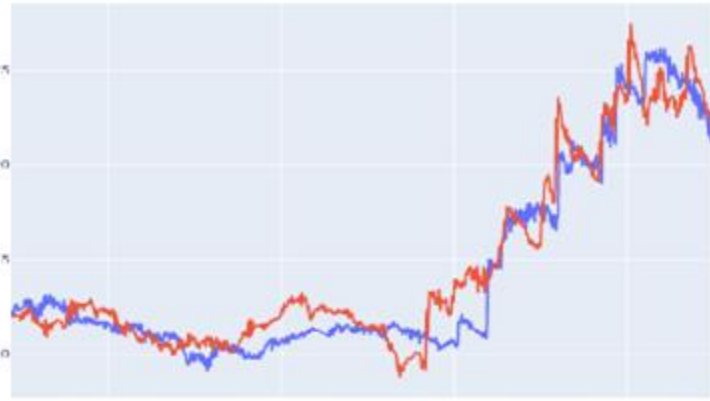
Кластер 8 пласта Б



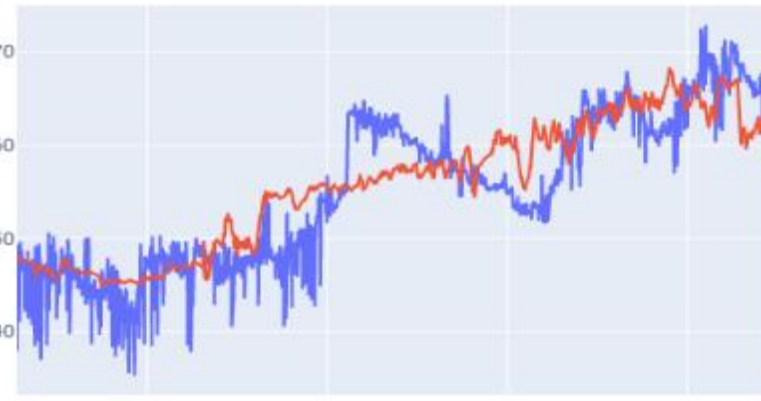
Кластер 5 пласта А



Кластер 1 пласта А



Кластер 7 пласта В



Решение оптимизационной задачи

Постановка задачи

Оптимизационная задача максимизации дебита нефти от режимов приемистости нагнетательных скважин формулируется следующим образом:

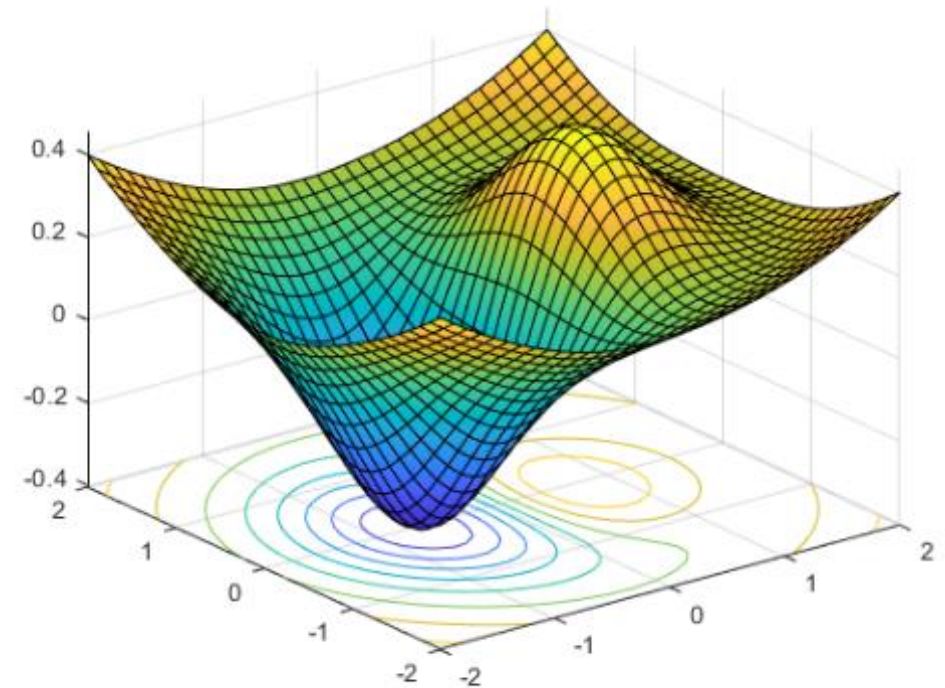
$$\begin{aligned} & \mathbf{q}(\mathbf{i}(t)) \rightarrow \max \\ & lb_i \leq i \leq ub_i, i = 1, \dots, N \\ & I_{gr_min} \leq \sum I_i \leq I_{gr_max} \end{aligned}$$

где $\mathbf{q}(t)$ — поток добывающих скважин по кластеру,

$\mathbf{i}(t) = (i_1(t), \dots, i_N(t))$ — вектор потока нагнетательных скважин

$[lb_i, ub_i]$ — множества нижних и верхних индивидуальных границ для области определения функции

$[I_{gr_min}, I_{gr_max}]$ — нижняя и верхняя групповые границы для области определения функции



Решение оптимизационной задачи

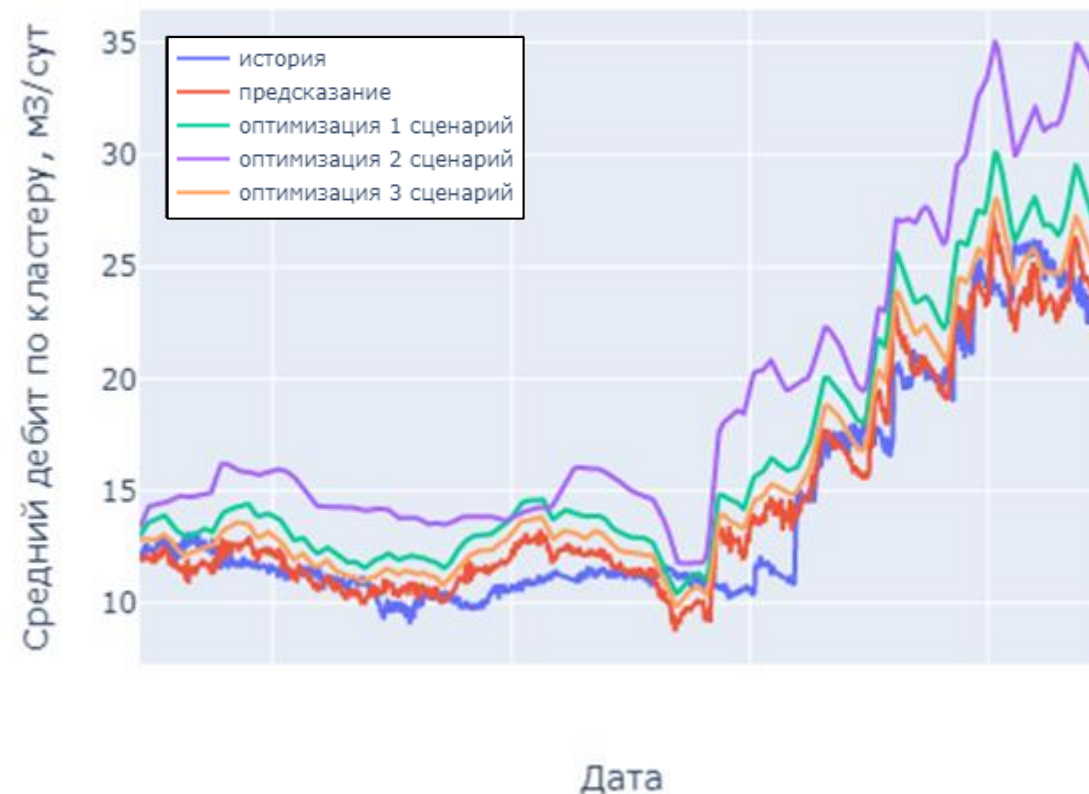
Стратегия оптимизации прокси моделей 1/2

Сценарии оптимизации:

- **Сценарий I** - осторожная оптимизация, когда коридор допустимых значений установлен в **+/-15%** от действующего режима.
- **Сценарий II** - оптимизация на основе **максимальной исторической** приемистости и групповых ограничений по кластеру.
- **Сценарий III** - оптимизация групповой приемистости текущим значением приемистости по кластеру, т.е. перераспределение текущей закачки.

Результатом оптимизации является **рекомендуемая приемистость на каждом временном шаге**, обеспечивающая максимизацию дебита нефти по кластеру.

Пример результатов оптимизации прокси модели на кластере 1 пласта А



Решение оптимизационной задачи

Стратегия оптимизации прокси моделей 2/2

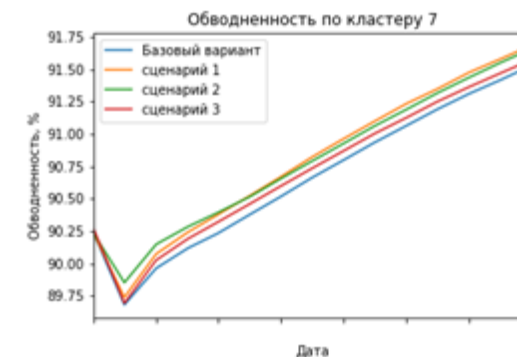
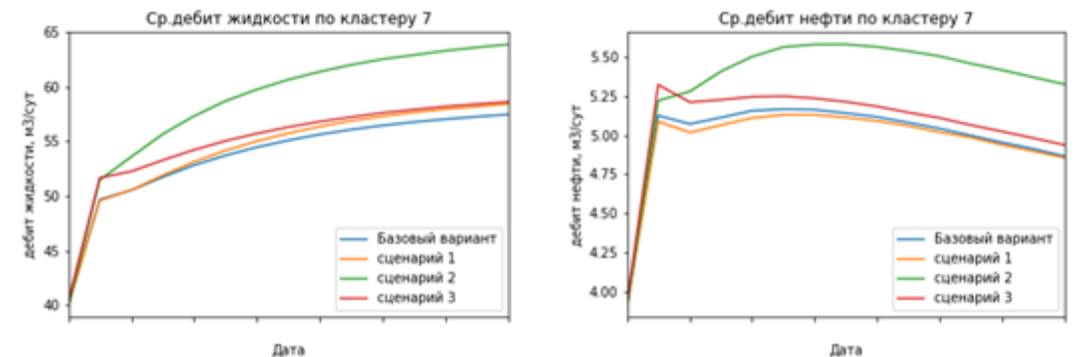
Сформированы прогнозные модели:

- **Базовая модель** – работа добывающих скважин по контролю на забойное давление на последний шаг модели, работа нагнетательных скважин по контролю на приемистость на последний шаг модели.
- **Оптимальные модели** – в соответствии с выбранными сценариями работа нагнетательных скважин по контролю на приемистость определенной на этапе решения оптимизационной задачи.

Результаты прогнозных моделей оптимизации были получены с помощью гидродинамических моделей и сравнивались с базовой прогнозной моделью. Период расчета прогноза – 1 год

Пример оптимизации на кластере 7 пласта А

Результаты прогнозных моделей по кластеру за год	Базовый вариант	1й сценарий		2й сценарий		3й сценарий	
		значение	прирост	значение	прирост	значение	прирост
Накопленная добыча жидкости (тыс. м3)	907.31	916.52	+1.0%	990.01	+9.1%	929.72	+2.5%
Накопленная добыча нефти (тыс. м3)	85.44	84.96	-0.6%	91.63	+7.2%	86.96	+1.8%
Накопленная приемистость (тыс. м3)	1010.93	1041.36	+3.0%	1112.27	+10.0%	1006.09	-0.5%
Обводненность на последний шаг (%)	91.53	91.68		91.66		91.57	
Обводненность накоп.продукции (%)	90.58	90.73	+0.2%	90.74	+0.2%	90.65	+0.1%



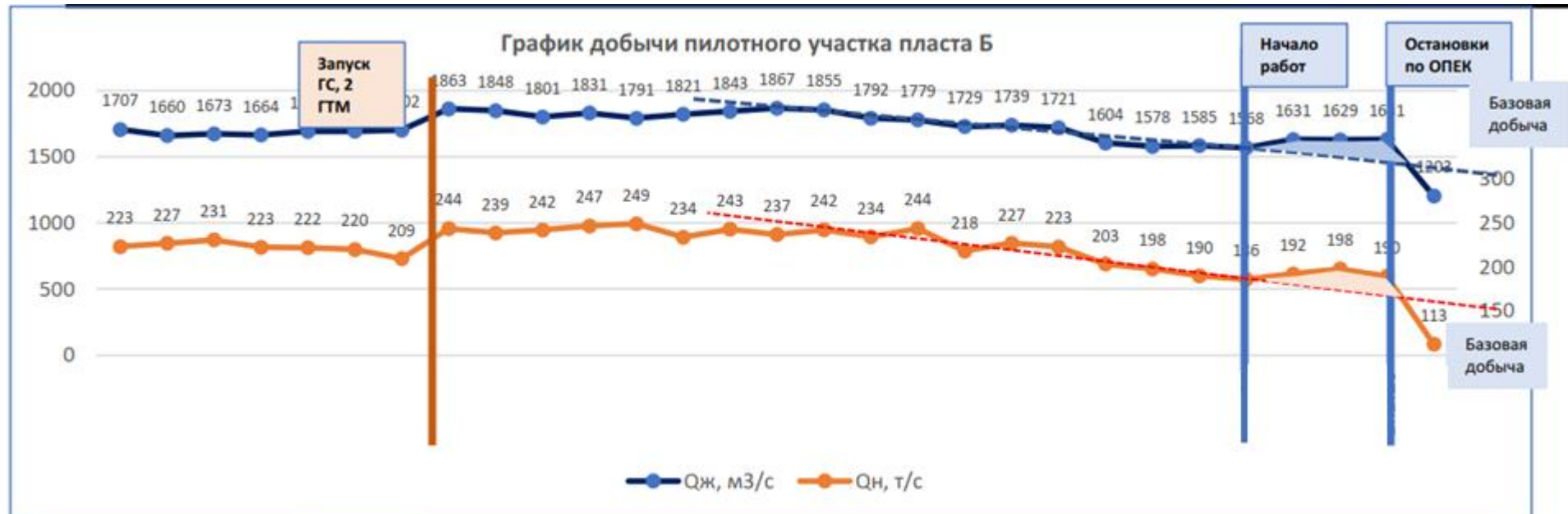
Результаты апробации алгоритмов на пилотных участках

В качестве пилотного участка был выбран один из кластеров по пласту Б (~50 скважин).

Выполнены мероприятия, не требующие существенных финансовых затрат: установка и смена штуцера, ОПЗ с колёс. Часть скважин вышла на расчётный режим после перераспределения закачки и замены счётчиков.

Наблюдается рост добычи нефти с первого месяца после начала работ, доп. добыча за 3 месяца составила 1275т. Из них оценочно порядка 700-800т эффект от ФХМУН

Эффект от нейро-сетевой оптимизации 475-575т нефти за 3 месяца, что составляет порядка 30 миллионов рублей.



Выводы



- Предложен подход к управлению заводнением с использованием регрессионных моделей, кластеризации и нейронных сетей
- Разработан подход к восстановлению и фильтрации исходных данных
- Предложена модель определения коэффициентов динамической связности между скважинами с дальнейшей кластеризацией графа связности на кластеры
- Разработана архитектура нейронной сети для построения прокси-модели зависимости дебита нефти по кластеру от нагнетательных скважин
- Сформирована задача оптимизации и разработана модель ограничений, при которых эта задача будет решаться
- Разработан оптимизационный модуль поиска рекомендуемых приемистостей по нагнетательным скважинам
- Работоспособность алгоритмов управления заводнением доказана на пилотном участке

Время ваших вопросов

