

# **Прогнозирование эксплуатационных характеристик электроцентробежных насосов**

Выполнила: Анастасия Быкова

Руководитель: Сергей Абдуракипов

PhD, Руководитель лаборатории ИИ

# Краткое описание

Создание основы для диагностики состояния ЭЦН в целях повышения эффективности работы скважины и снижения потерь добычи



ЭЦН – наиболее распространенный способ механизированный добычи

Продление ресурса работы оборудования и снижение затрат на ремонт

Фонд до 80 %



Высокая неопределенность геолого-промышленных данных

Получение ценной информации о технологическом процессе, обнаружение трендов

?



Оперативность управления и принятия решений

Принятие превентивных мер, снижение простоя скважин и потерь добычи



Разработка модели для прогнозирования параметров работы ЭЦН позволит своевременно предупреждать о возможных отказах оборудования

# Формирование ML-моделей

**Задача:** прогноз средней скорости изменения давления на приеме ЭЦН на основе исторических данных

## Постановка задачи и анализ данных

Формулирование задачи.  
Формирование датасета,  
анализ корреляций, отбор  
признаков

1

## Построение и обучение моделей

3

Выбор и построение  
моделей, подходящих для  
задачи регрессии  
временных рядов

## Валидация, оценка и дообучение

Расчет метрик R<sup>2</sup>, MAE на тестовой  
выборке. Сравнение результатов.  
Выбор и донастройка наиболее  
оптимальной модели

4

5

Внедрение

Обработка пропущенных  
значений, кодирование  
категориальных данных и  
нормализация количественных  
признаков при необходимости

2

Предобработка  
данных

В рамках работы выполнены загрузка и анализ технологических показателей работы скважин, первичный анализ корреляционных зависимостей, подготовка и запуск моделей, сравнение результатов

# Сбор и подготовка данных

Первичный анализ исходных данных

**17** периодических скважин

**26** параметров

**160 262** записей  
за период: 27.06.2019-31.07.2019  
с частотой: 5 минут



Исключение параметра из  
обучающей выборки?

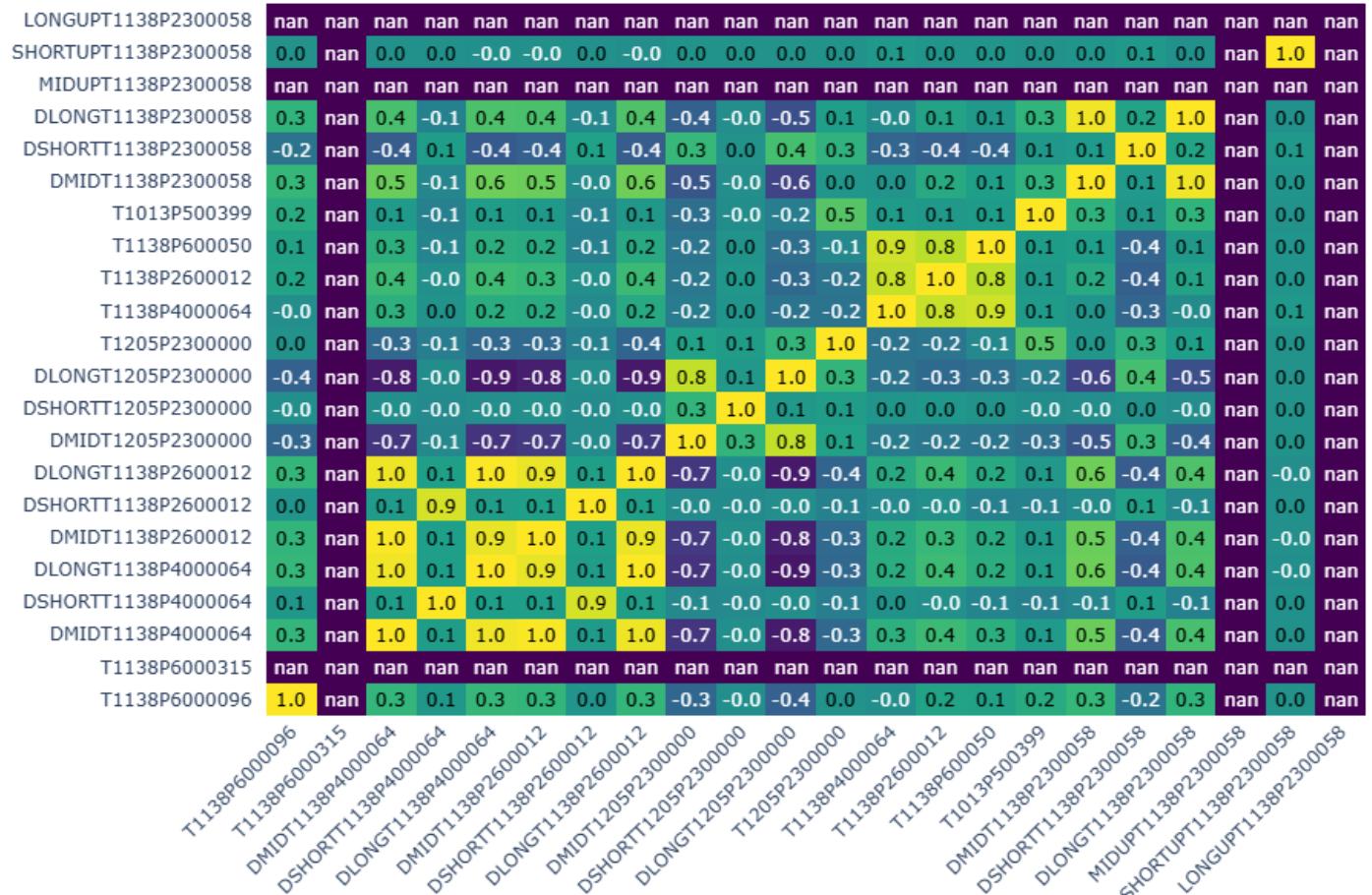


Исходные данные для 17 периодических скважин за 1 месяц

# Сбор и подготовка данных

Анализ корреляций

Матрица коэффициентов корреляции Пирсона



Признак	Описание
T1205P2300000	Линейное давление, МПа
T1138P4000064	Загрузка двигателя, %
T1138P2600012	Ток фазы А двигателя, А (I)
T1138P600050	Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ )
T1013P500399	Суточный объем жидкости, м <sup>3</sup>
<b>T1138P2300058</b>	<b>Давление на приеме насоса, МПа</b>
T1138P6000096	Наработка двигателя с последнего включения, с
T1138P6000315	Время простоя двигателя с последнего выключения, с
DMID-, DSHORT-, DLONG-	Часовая скорость изменения, усредненная в СУТ, ЧАС, НЕДЕЛЯ
MIDUPT-, SHORTUPT-, LONGUPT-	?

Сила тока коррелирует с загрузкой и коэффициентом мощности двигателя, что может быть обусловлено паспортными характеристиками двигателя

# Выбор вида и обучение моделей

Обучение моделей, оценка качества

Подход: создание  
индивидуальной модели  
для скважины

Скважина: 226003330

Модели:

1. Random Forest

2. XGBoost

3. LightGBM

4. N-BEATS

5. RNN (LSTM)

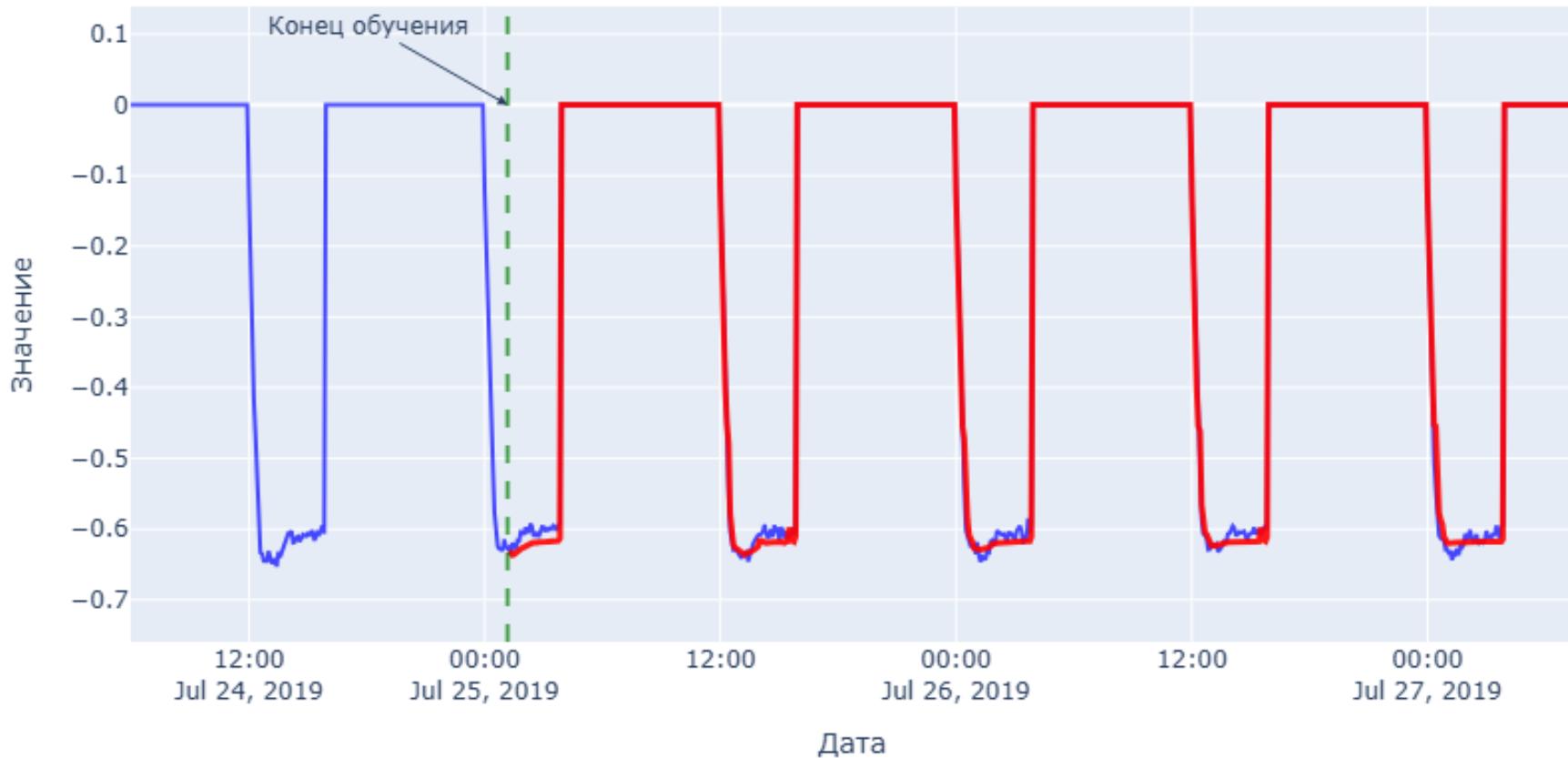
6. Transformer

7. TCN

python-библиотека: darts

Метрики: R2, MAE

Скважина 226003330 | R2: 0.9791, MAE: 0.0104



# Выбор вида и обучение моделей

Обучение моделей, оценка качества

Подход: создание  
индивидуальной модели  
для скважины

Скважина: 226003330

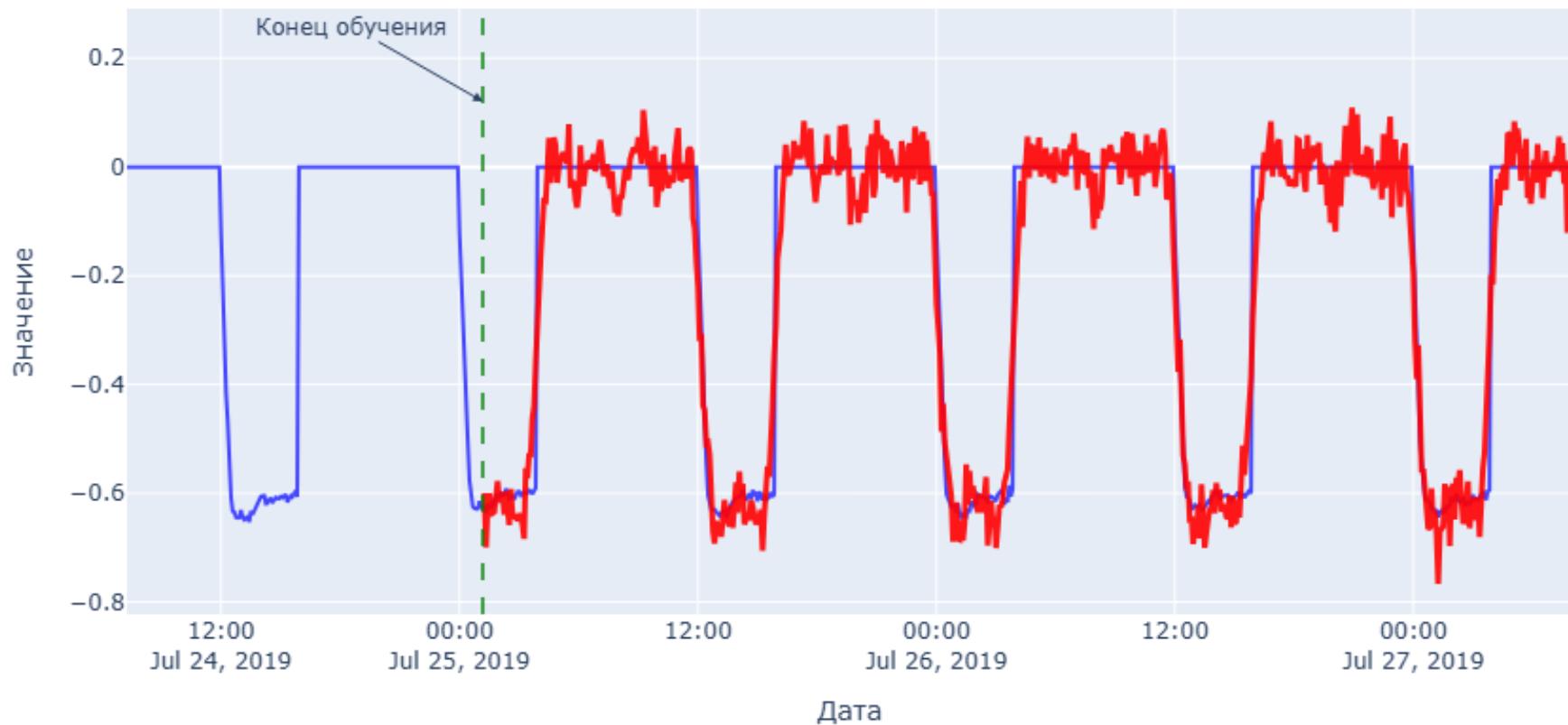
Модели:

1. Random Forest
2. XGBoost
3. LightGBM
- 4. N-BEATS**
5. RNN (LSTM)
6. Transformer
7. TCN

python-библиотека: darts

Метрики: R2, MAE

Скважина 226003330 | R2: 0.9472, MAE: 0.0429



# Выбор вида и обучение моделей

Обучение моделей, оценка качества

Подход: создание  
индивидуальной модели  
для скважины

Скважина: 226003330

Модели:

1. Random Forest

2. XGBoost

3. LightGBM

4. N-BEATS

5. RNN (LSTM)

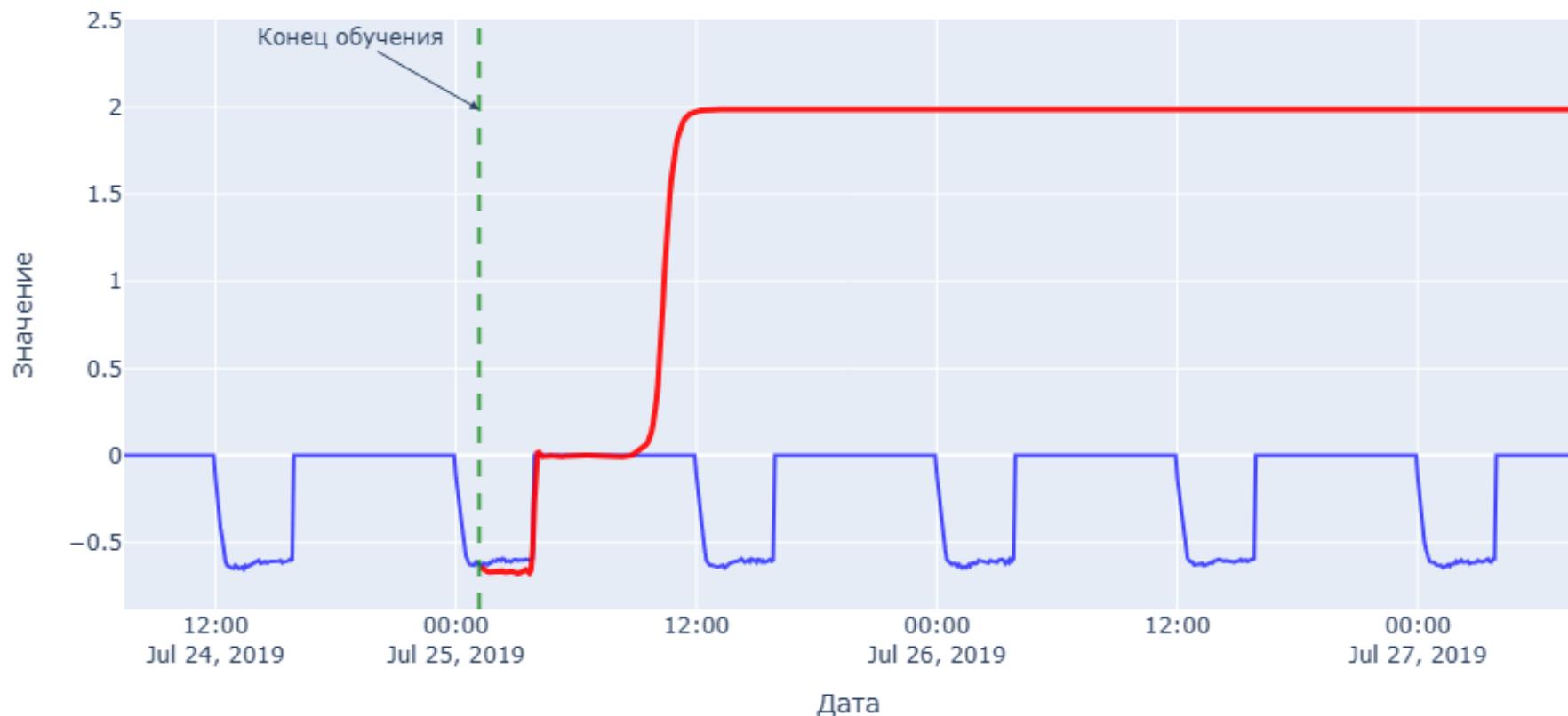
6. Transformer

7. TCN

python-библиотека: darts

Метрики: R2, MAE

Скважина 226003330 | R2: -59.5832, MAE: 2.0522



# Выбор вида и обучение моделей

Обучение моделей, оценка качества

Подход: создание  
индивидуальной модели  
для скважины

Скважина: 226003330

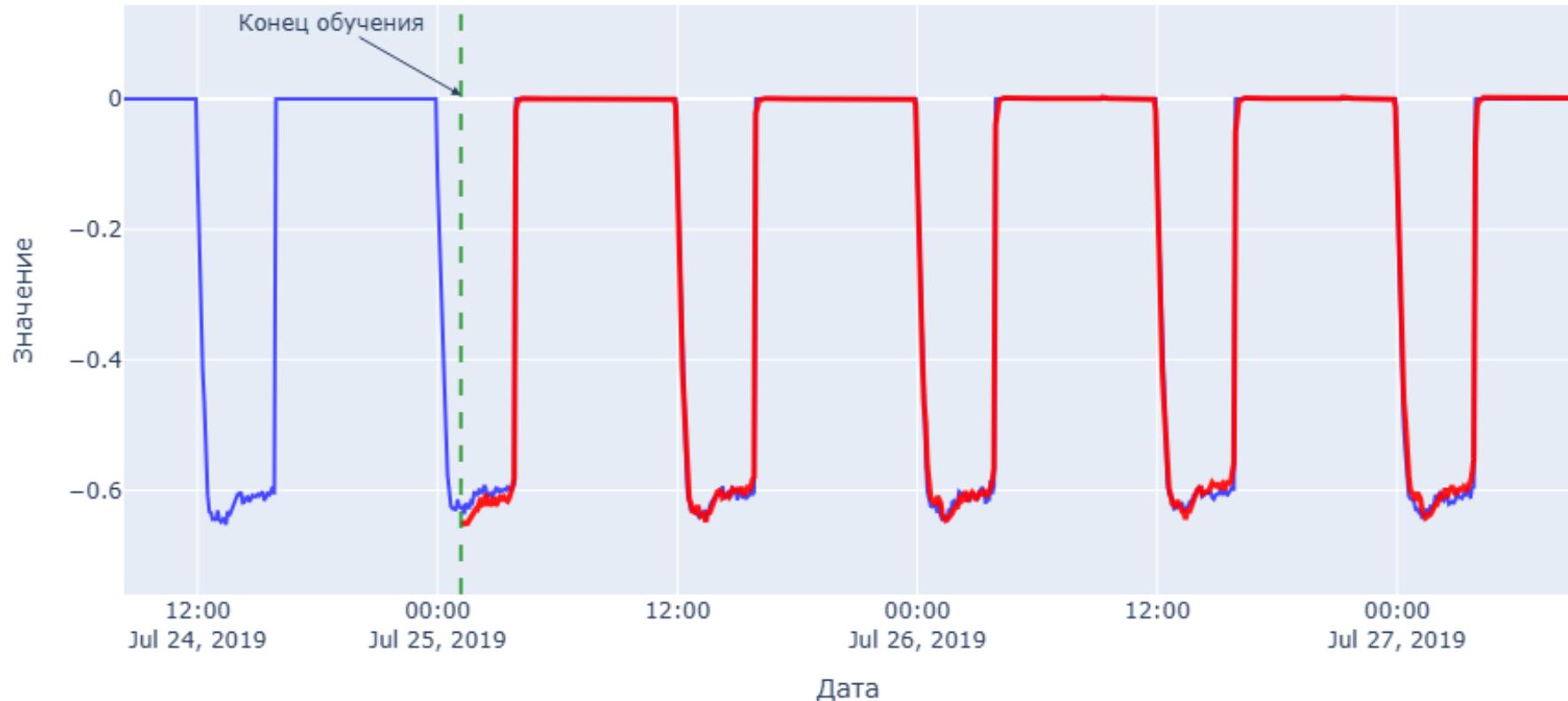
Модели:

1. Random Forest
2. XGBoost
3. LightGBM
4. N-BEATS
5. RNN (LSTM)
6. Transformer
- 7. TCN**

python-библиотека: darts

Метрики: R2, MAE

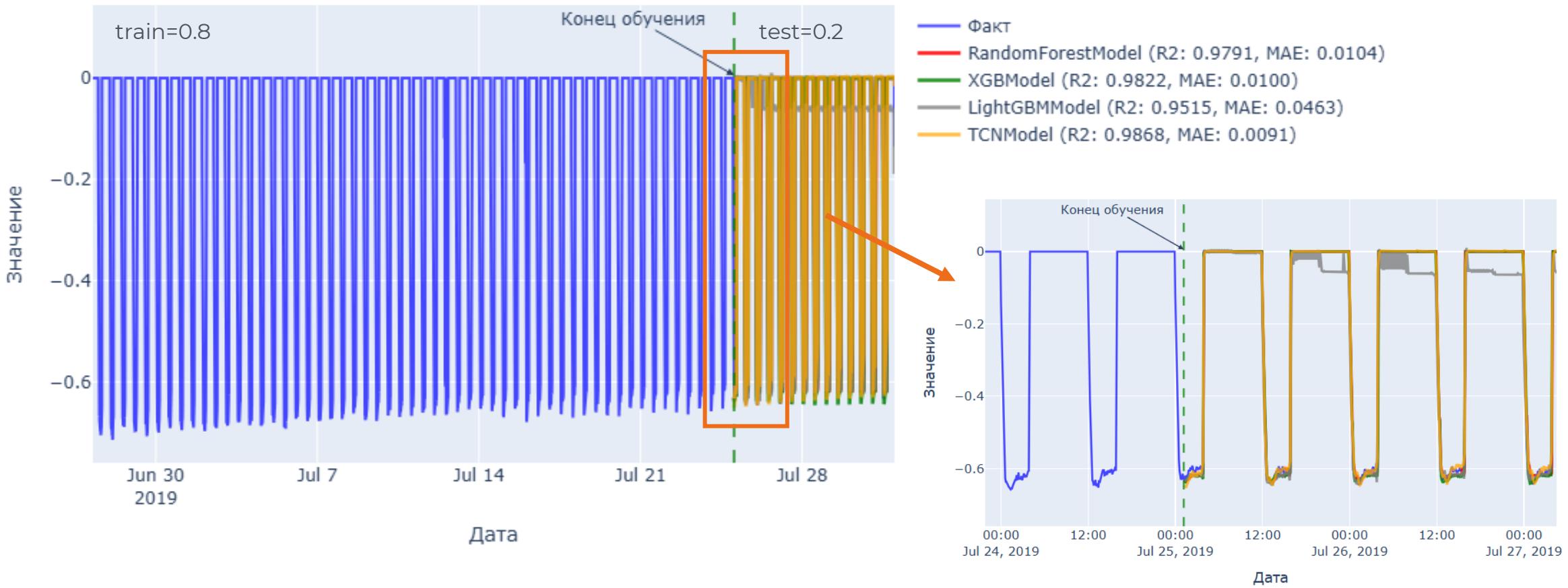
Скважина 226003330 | R2: 0.9868, MAE: 0.0091



# Сравнение результатов

Выбор оптимальной модели

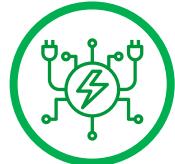
Скважина 226003330 | Сравнение 4 моделей



Для скважины 226003330 на тестовой выборке наилучшим образом показала себя модель TCN 10

# Дальнейшее развитие проекта

## Предложения



Построить общую модель для всех скважин / для группы скважин, с дополнительным учетом статических данных о ID скважины, месторождения, насоса и др.



Рассмотреть возможность создания гибридной модели (физическая + математическая)



Дополнить текущую работу алгоритмом подбора наилучших гиперпараметров модели



Исследовать наличие аномалий в данных датчиков



**Спасибо за внимание!**

# Выбор вида и обучение моделей

Обучение моделей, оценка качества

Подход: создание  
индивидуальной модели  
для скважины

Скважина: 226003330

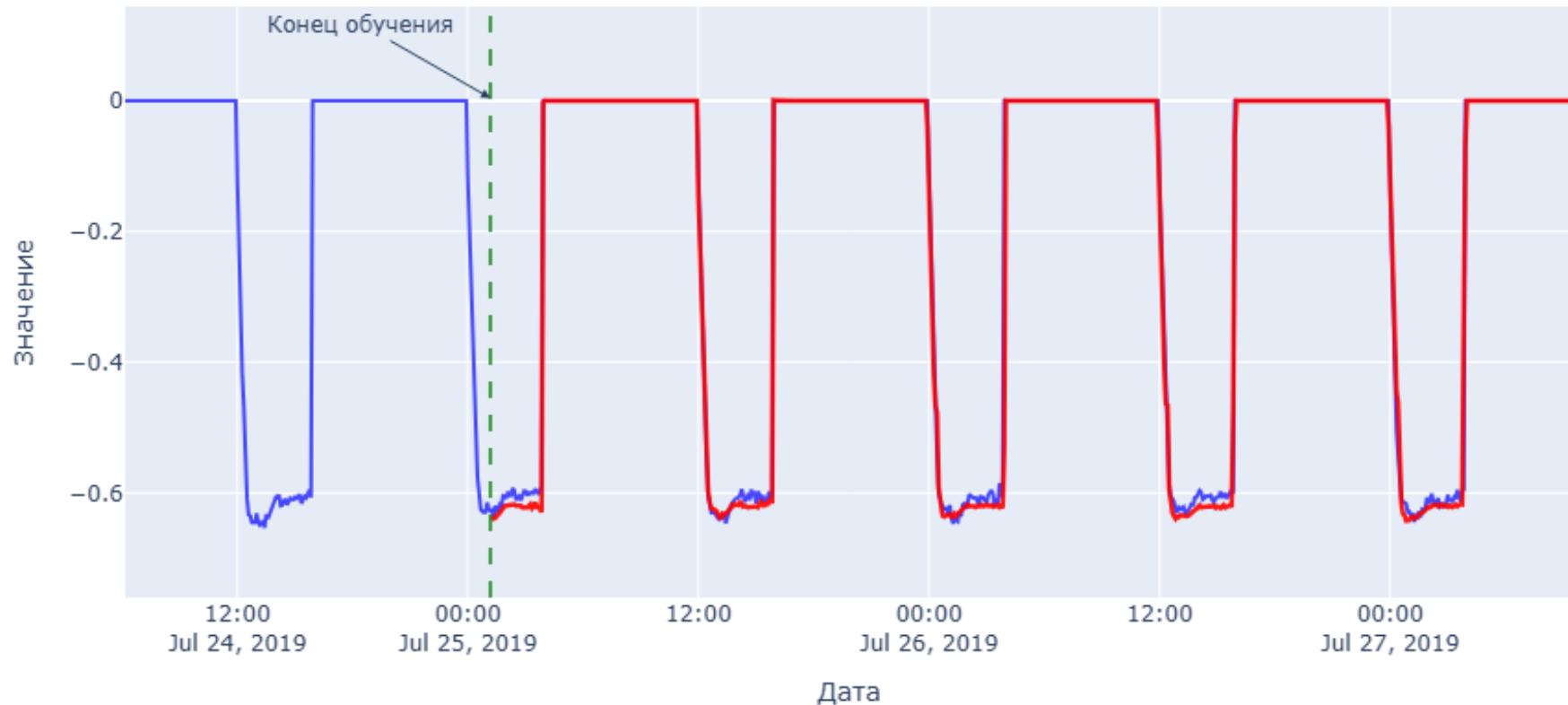
Модели:

1. Random Forest
- 2. XGBoost**
3. LightGBM
4. N-BEATS
5. RNN (LSTM)
6. Transformer
7. TCN

python-библиотека: darts

Метрики: R2, MAE

Скважина 226003330 | R2: 0.9822, MAE: 0.0100



# Выбор вида и обучение моделей

Обучение моделей, оценка качества

Подход: создание  
индивидуальной модели  
для скважины

Скважина: 226003330

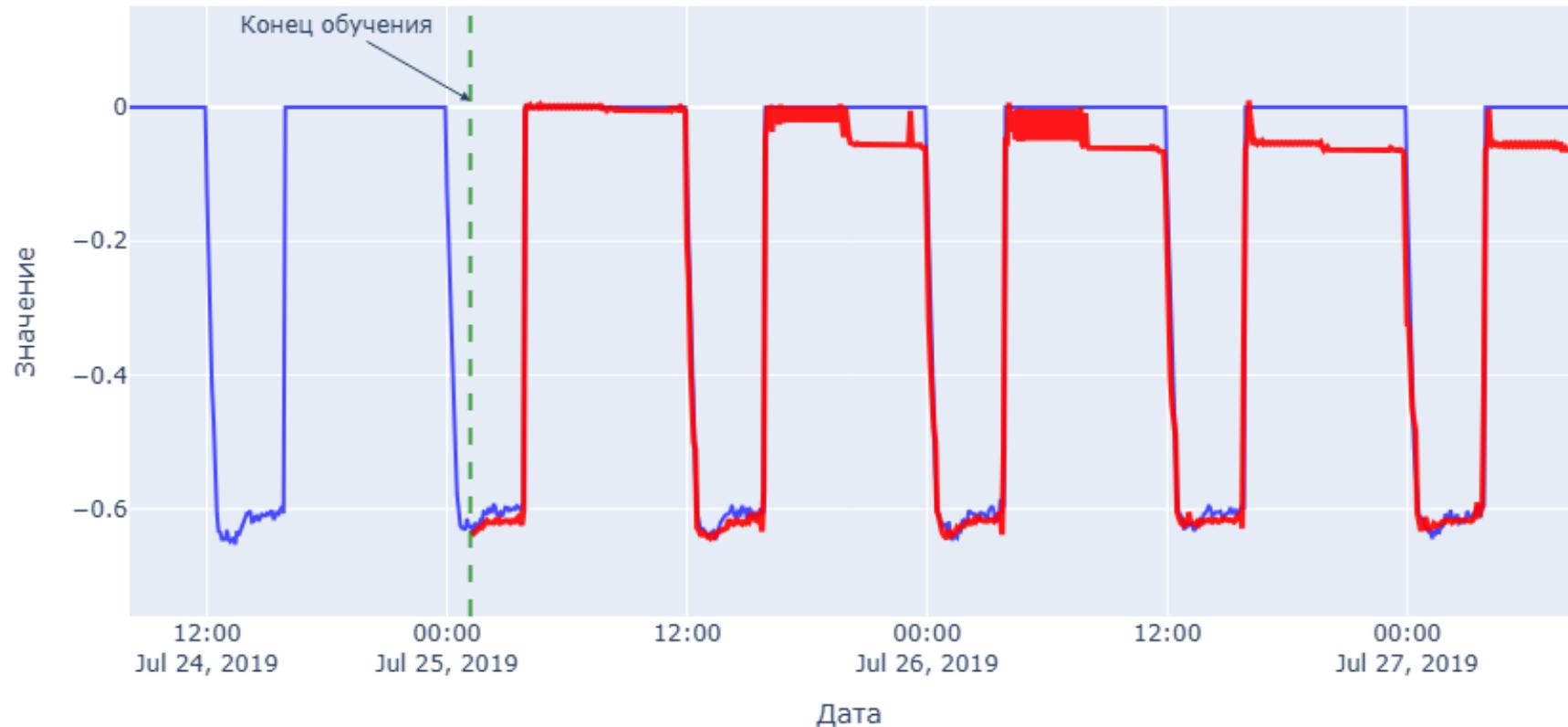
Модели:

1. Random Forest
2. XGBoost
- 3. LightGBM**
4. N-BEATS
5. RNN (LSTM)
6. Transformer
7. TCN

python-библиотека: darts

Метрики: R2, MAE

Скважина 226003330 | R2: 0.9515, MAE: 0.0463



# Выбор вида и обучение моделей

Обучение моделей, оценка качества

Подход: создание  
индивидуальной модели  
для скважины

Скважина: 226003330

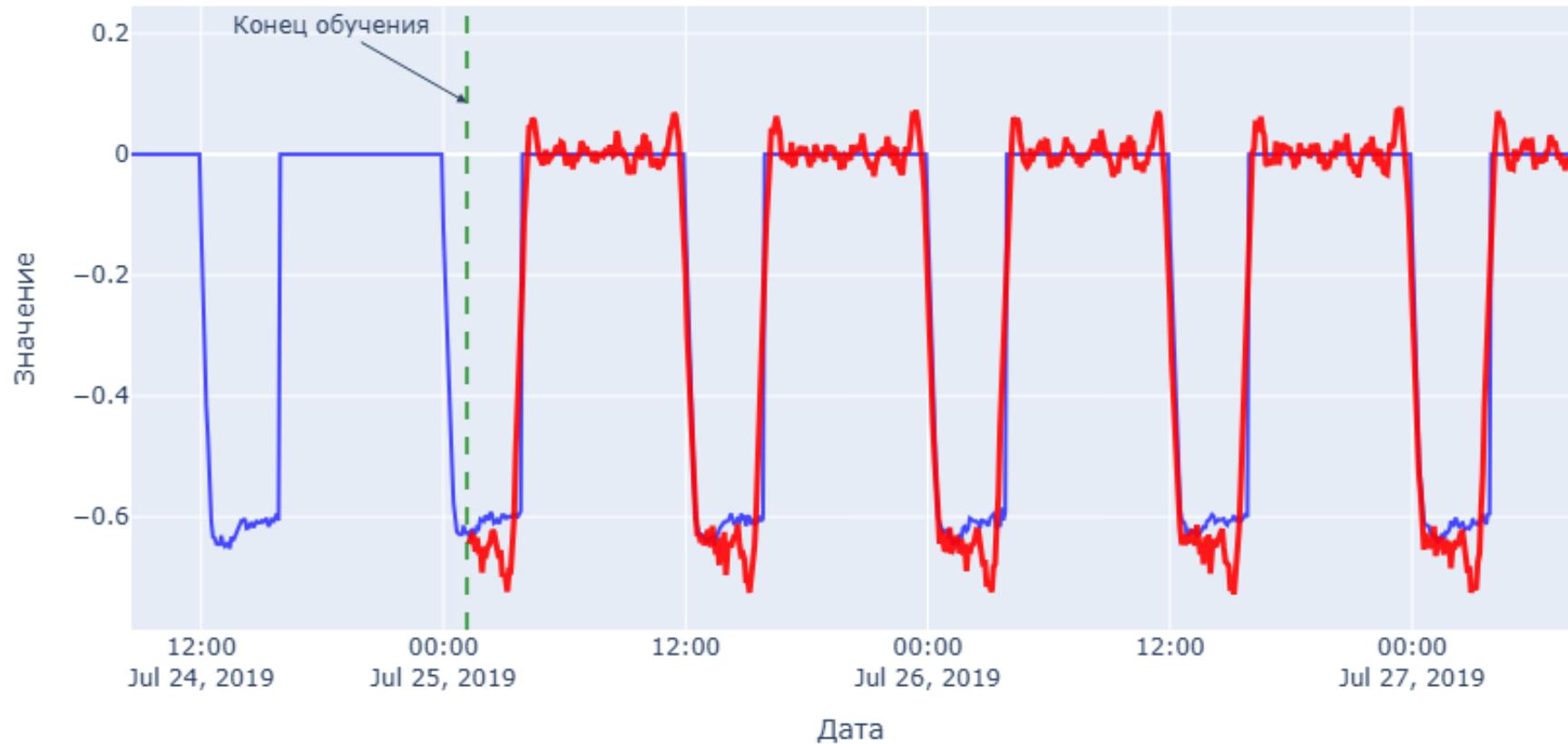
Модели:

1. Random Forest
2. XGBoost
3. LightGBM
4. N-BEATS
5. RNN (LSTM)
- 6. Transformer**
7. TCN

python-библиотека: darts

Метрики: R2, MAE

Скважина 226003330 | R2: 0.9253, MAE: 0.0430



# Модель скважины

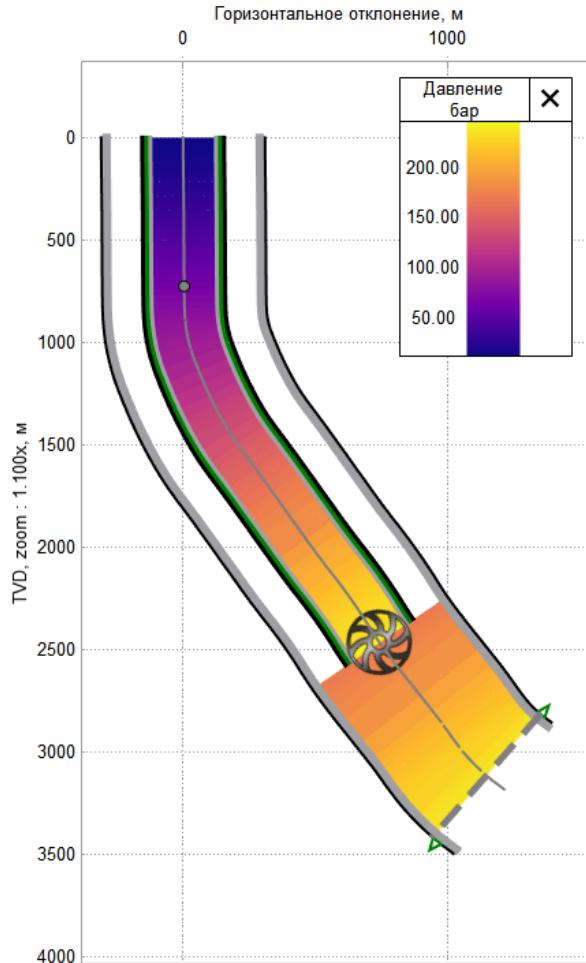
Методика, результаты адаптации



Настройка модели выполняется  
на режимы из шахматки

## 1. Конструкция скважины

Задание основных данных, траектории, объектов конструкции и их параметров



### Параметры ЭЦН

Параметр	Значение
Максимальная доля газа на приеме	0,25
Рабочая частота, Гц	40
Коэффициент проскальзывания	0
Множитель на напор	0,873
Множитель на дебит	0,882
Поправка на вязкость	Вкл
Коэффициент износа насоса	0
Сепарация газа	Вкл
Эффективность сепарации	0,7
Рекомбинированный газ на устье	Вкл

## 2. VFP

Выбор PVT-модели, выбор гидродинамической корреляции для расчета перепада давления в стволе скважины, введение поправок на трение и гидростатику, уточнение параметров работы ВСО

## 3. IPR с учетом поправки Вогеля

Результаты адаптации показывают удовлетворительную сходимость расчетного и фактического давления на приеме, погрешность в среднем составляет 5%

## Результаты:

- Проведен сбор и анализ исходных данных по выбранным объектам, в том числе по конструкции скважин и внутрискважинному оборудованию, свойствам флюида и режимам работы,
- Созданы модели скважин и проведена адаптация на фактические значения давления на приеме в насос согласно режимам из шахматок с 01.07.2024 – 01.05.2025 гг.

Месторождение	Невязка давления на приеме	
	абс., бар	отн., %
1	4,2	3,8
2	3,2	3,0
3	6,8	5,0
4	13,5	12,0
5	6,7	6,0
6	8,9	7,0
7	6,1	5,0
8	5,2	4,0
9	10,4	4,0