

Разработка автоматизированной системы определения операций бурения на основе машинного обучения

В. И. Королихин¹
М. А. Серов²

¹Программная инженерия, группа 17.Б11-мм, математико-механический факультет,
СПбГУ

²к.т.н., доцент, научный руководитель

19 мая 2021 г.

- Строительство нефтяных и газовых скважин требует постоянного контроля
- Геолого-технические параметры поступают в Центр управления бурением, где визуализируются для интерпретации специалистами центра
- Ввиду большого количества поступающей информации, получили востребованность системы, интерпретирующие комплекс параметров, выдавая для специалиста промежуточный результат

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка автоматизированной системы классификации операций бурения на основе геолого-технических данных с использованием методов машинного обучения. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1 Сделать обзор предметной области.
- 2 Реализовать выбранные алгоритмы машинного обучения и сравнить их по метрикам качества.
- 3 Провести эксперименты и проанализировать результаты.
- 4 Разработать прототип веб-сервиса.

Обзор: определение операций бурения

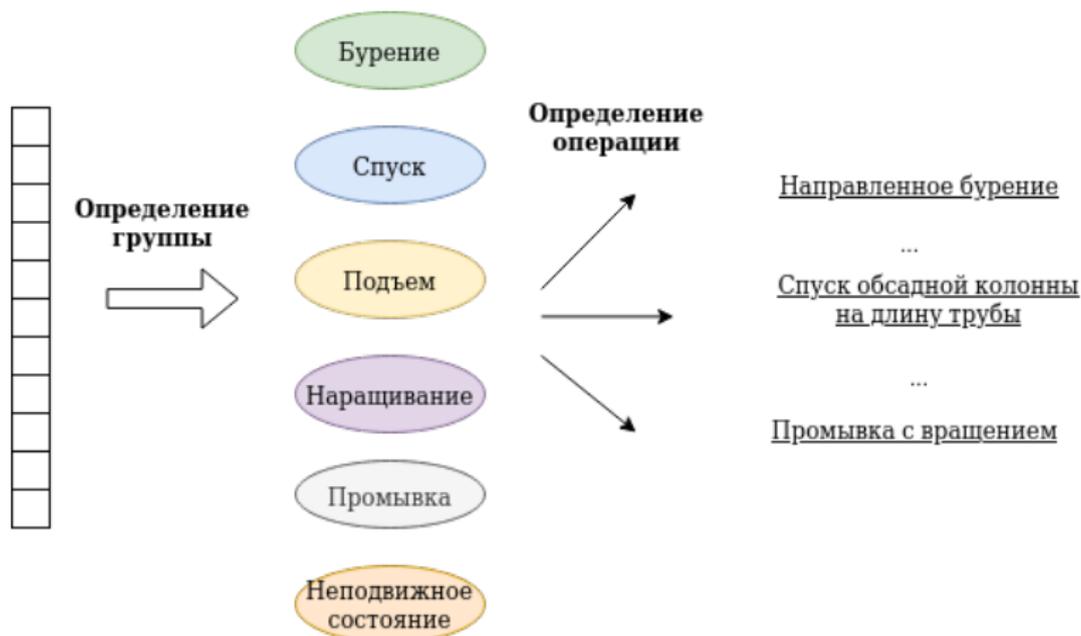
- Всего имеется 22 различных операций
- Каждая операция характеризуется набором замеров текущего состояния буровой площадки: глубина забоя, нагрузка на долото и т.д.
- Данные снимаются с датчиков раз в секунду и приводятся к нужным единицам измерения
- На основе полученных данных определяется тип операции бурения

Наиболее часто используемые в данной области и области машинного обучения алгоритмы:

- Алгоритм определения операции на основе простого ветвления
- Муравьиный алгоритм
- Метод опорных векторов
- Нейросетевые подходы:
 - Многослойный перцептрон (классификация буровых операций)
 - Одномерная свёрточная нейронная сеть (классификация фаций)

- Метод опорных векторов
- Логистическая регрессия
- Градиентный бустинг над решающими деревьями
- Нейросетевые подходы:
 - Многослойный перцептрон с чередующимися полносвязными слоями (NN1)
 - Одномерная свёрточная нейронная сеть (NN2)

Схема решения



Отбор признаков:

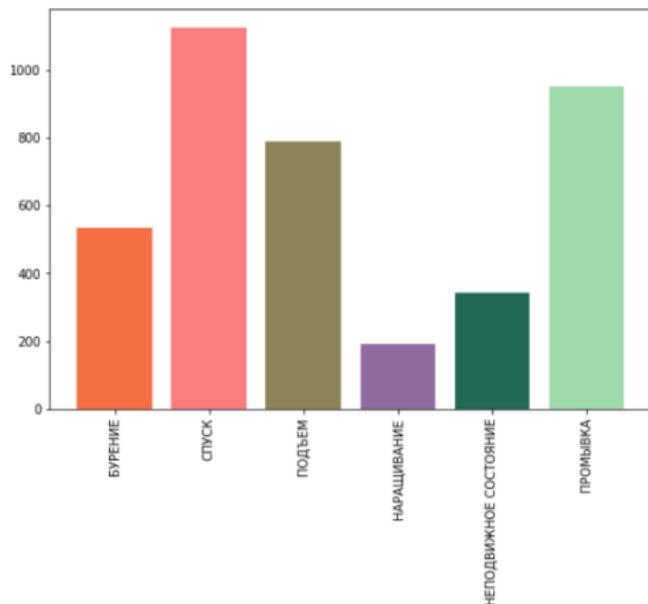
- Удаление признаков с единственным значением
- Удаление признаков с нулевой важностью

Преобразование данных:

- Минимаксная нормализация
- Нормализация средним
- Квантильное преобразование
- Преобразование Йео-Джонсона

- Accuracy
- F1-score при макро-усреднении:

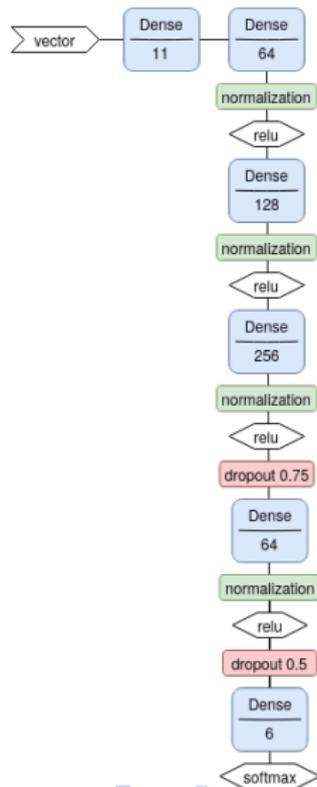
$$Recall_{macro} = \frac{\sum_i^n Recall_i}{n} \quad Precision_{macro} = \frac{\sum_i^n Precision_i}{n}$$



Нейронная сеть с чередующимися полносвязными слоями (NN1)

train:valid:test = 2700:500:1500

- За основу взята идея многослойного перцептрона из обзора
- Настройка полносвязных и дропаут слоев
- Библиотека Keras и фреймворк Tensorflow



Классификация на группы

ассурасу	SVM	Logistic regression	XGBoost	NN1	NN2
Минимаксная	43.45	38.42	88.55	39.64	40.43
Средним	47.45	47.45	87.54	51.88	52.36
Квантильное	76.61	78.42	89.58	83.42	80.45
Йео-Джонсона	52.55	52.36	90.48	43.34	45.65

f1-score	SVM	Logistic regression	XGBoost	NN1	NN2
Минимаксная	52.17	43.35	87.98	46.47	53.43
Средним	51.74	51.74	86.92	53.88	52.34
Квантильное	70.77	79.04	88.84	82.03	83.23
Йео-Джонсона	53.81	58.57	89.80	42.55	43.54

Группы кодировались с помощью унитарного кода, и использовались в качестве новых признаков для второго этапа - классификации операций бурения.

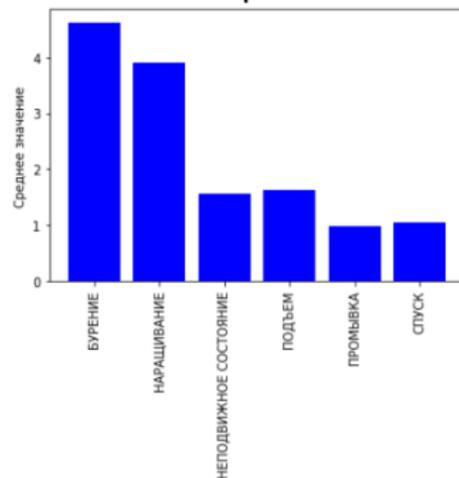
Результаты аналогичные классификации на группы. Лучшие показатели у XGBoost. Итоговый результат: accuracy = 85%, f1-score = 74%.

1 Классификация групп: спуск, подъем, бурение и промывка

Алгоритмы	accuracy	F1-score
Минимаксная	94.22	93.54
Средним	94.34	93.23
Квантильное	95.23	94.34
Йео-Джонсона	95.33	94.48

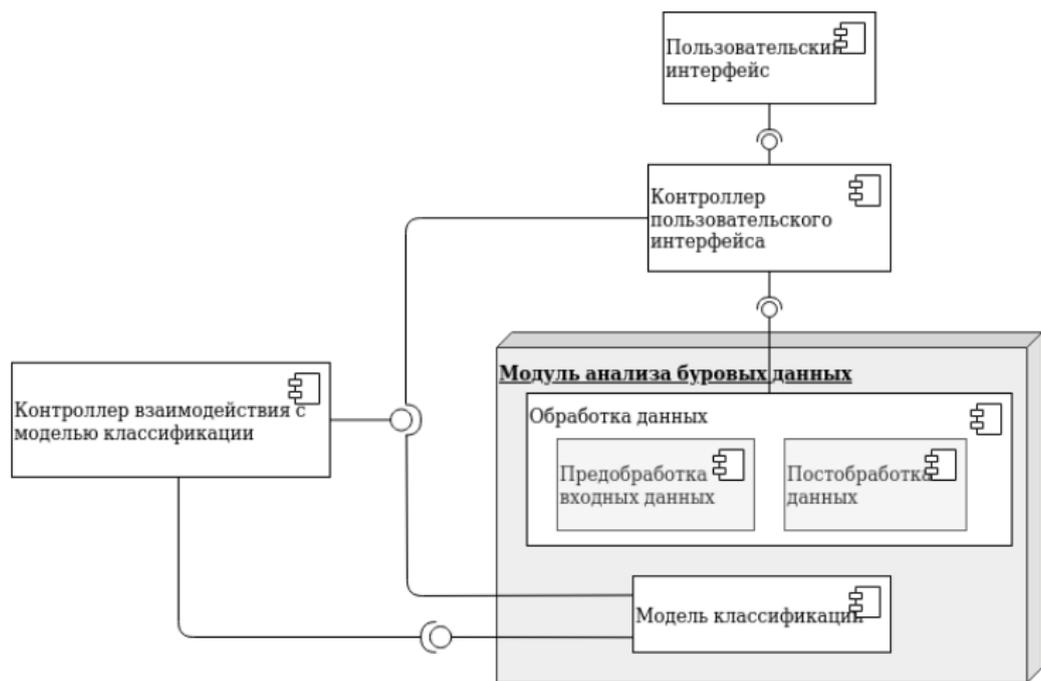
2 Использование времени в качестве дополнительного признака

Алгоритмы	accuracy	F1-score
Минимаксная	89.23	88.34
Средним	86.66	87.33
Квантильное	89.33	89.45
Йео-Джонсона	90.53	88.45



- 1 Обеспечить минимальный пользовательский интерфейс в виде выпадающих списков, а также отображения информации по каждой операции в виде ее признакового описания и названия операции
- 2 Обеспечить возможность загрузки/выгрузки списка операций
- 3 Предоставить пользователю возможность запрашивать информацию выборочно по каждой скважине, а также за определенный период времени

- Django 
- PostgreSQL 
- React 



Веб-сервис: пользовательский интерфейс



АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ БУРЕНИЯ СКАЖИНЫ



Владимир Королькин

Филитал

Интервал строительства скважины: 2021-05-06 14:48:18 - 2021-05-06 14:48:18

Операции

18 - Showing rows 1 to 10 of 12

[Export to CSV](#)

Search

Дата ↑ ↓	Начало (время) ↑ ↓	Окончание (время) ↑ ↓	Длительность (мин) ↑ ↓	Глубина долота на начало операции ↑ ↓	Глубина долота на начало операции ↑ ↓	Количество свечей ↑ ↓	Операция ↑ ↓	Тех. параметры	Глубина забоя на начало операции ↑ ↓	Глубина забоя на окончание операции ↑ ↓	Источник ↑ ↓
2021-04-02	00:57:33	00:57:48	0.15	1575.710000	1575.730000	61	ПОДЪЕМ С ПРОМЫВКОЙ	Риски на выезде: 0.150000 м/с; Обработка: 0.000000 м/с; Давление на выезде: 0.000000 мПа; Давление на входе: 0.000000 мПа; Любометр: 0.000000 м; Измерения: 0.000000 м; Момент на входе: 0.000000 мНм; Момент на выходе: 0.000000 мНм; Давление на входе: 0.000000 мПа; Давление на выходе: 0.000000 мПа; Промывка на входе: 0.000000 м³/ч; Промывка на выходе: 0.000000 м³/ч	1575.780000	1575.780000	Тестовый источник
2021-04-02	00:45:50	00:57:33	11.43	1564.430000	1575.710000	61	НАПРАВЛЕННОЕ БУРЕНИЕ	Риски на выезде: 0.150000 м/с; Обработка: 0.000000 м/с; Давление на выезде: 0.000000 мПа; Давление на входе: 0.000000 мПа; Любометр: 0.000000 м; Измерения: 0.000000 м; Момент на входе: 0.000000 мНм; Момент на выходе: 0.000000 мНм; Давление на входе: 0.000000 мПа; Давление на выходе: 0.000000 мПа; Промывка на входе: 0.000000 м³/ч; Промывка на выходе: 0.000000 м³/ч	1564.770000	1575.780000	Тестовый источник
2021-04-02	00:45:29	00:45:50	0.21	1564.040000	1564.430000	61	ДОПУСК ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОЛОННЫ ДО ЗАБОЯ	Риски на выезде: 0.150000 м/с; Обработка: 0.000000 м/с; Давление на выезде: 0.000000 мПа; Давление на входе: 0.000000 мПа; Любометр: 0.000000 м; Измерения: 0.000000 м; Момент на входе: 0.000000 мНм; Момент на выходе: 0.000000 мНм; Давление на входе: 0.000000 мПа; Давление на выходе: 0.000000 мПа; Промывка на входе: 0.000000 м³/ч; Промывка на выходе: 0.000000 м³/ч	1564.430000	1564.430000	Тестовый источник
2021-04-02	00:36:26	00:40:46	4.19	1562.710000	1562.620000	61	ПРОМЫВКА ГРНИ НЕПОДВИЖНОМ СОСТОЯНИИ	Риски на выезде: 0.150000 м/с; Обработка: 0.000000 м/с; Давление на выезде: 0.000000 мПа; Давление на входе: 0.000000 мПа; Любометр: 0.000000 м; Измерения: 0.000000 м; Момент на входе: 0.000000 мНм; Момент на выходе: 0.000000 мНм; Давление на входе: 0.000000 мПа; Давление на выходе: 0.000000 мПа; Промывка на входе: 0.000000 м³/ч; Промывка на выходе: 0.000000 м³/ч	1563.230000	1563.230000	Тестовый источник

- 1 Проведен обзор существующих моделей машинного обучения, классифицирующих буровые операции
- 2 Реализованы алгоритмы машинного обучения и проведено сравнение результатов работы
- 3 Проведен ряд экспериментов с использованием предложенного подхода
- 4 Разработан прототип веб-сервиса и развернут на тестовом сервере