

# Analysis of Dyslexia: Eye Tracking

Иванова Анастасия ПАДПИ 3 курс



# Введение

**Дислексия** — это избирательное нарушение способности к овладению навыком чтения, несмотря на нормальный интеллект и условия обучения. Традиционная диагностика часто основана на поведенческих тестах, которые могут быть субъективными и запаздывающими.

**Гипотеза:** У людей с дислексией процесс чтения характеризуется особыми, измеримыми паттернами движений глаз:

- Более частые регрессии (возвраты к уже прочитанному)
- Более длительные фиксации
- Менее предсказуемые саккады (скачки взгляда)

**Цель:** С помощью машинного обучения и графов научиться классифицировать детей на дислексиков и здоровых



# Описание данных

Соцдем признаки:

Group	SubjID	Sex	Grade	Age	IQ
dyslexia	ake05	f	3	9	35
dyslexia	asd17	m	4	10	34
dyslexia	bai24	m	1	7	28
dyslexia	eki26	f	1	8	35

## Фиксации

SubjectID	Sentence_ID	Word_Number	FIX_X	FIX_Y	FIX_DURATION
m90	26	1	169,6	503	613
m90	26	2	233,5	522	130
m90	26	1	163,8	517,1	312
m90	26	2	205,5	514,7	269
m90	26	2	240,2	517,5	413

72 ребенка с дислексией, 222 без дислексии

180113 фиксаций

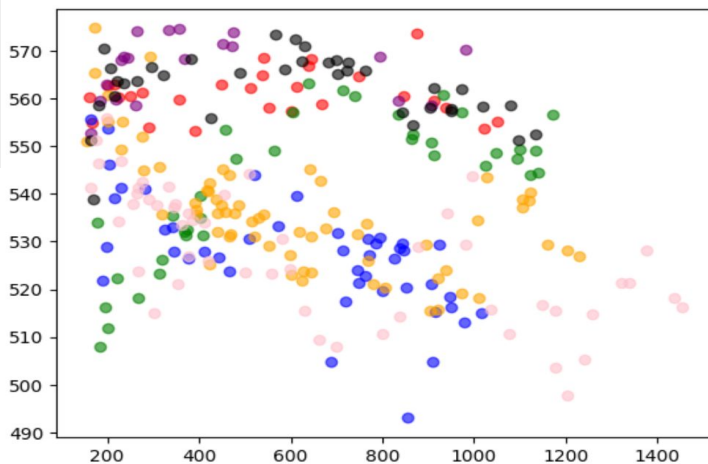
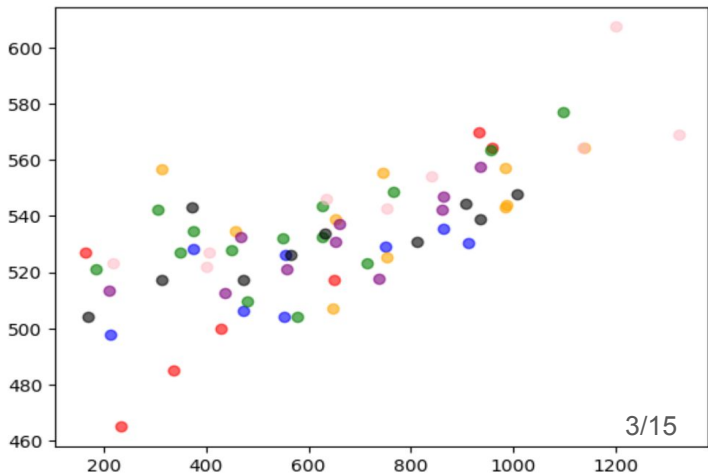


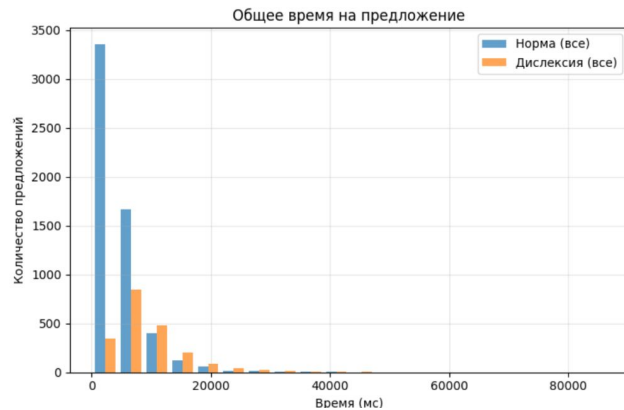
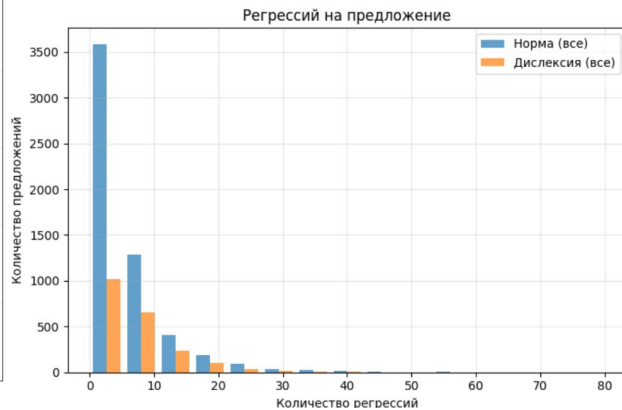
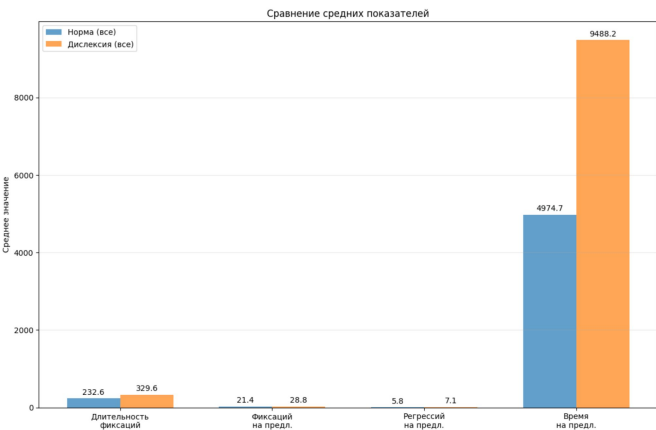
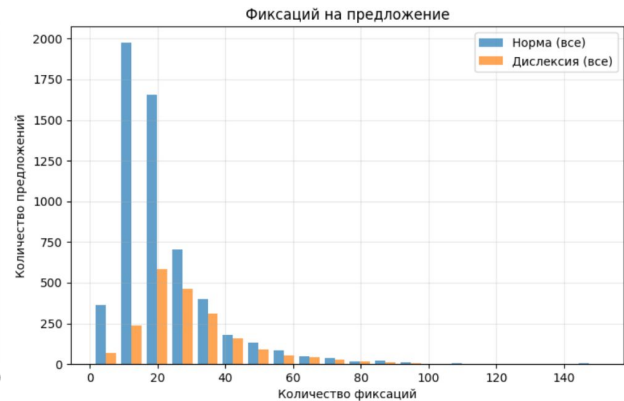
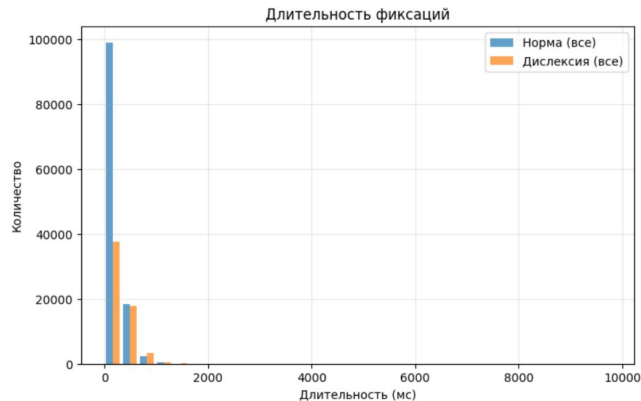
Рис.1 Визуализация фиксаций ребенка с дислексией  
Рис.2 Без дислексии (разные цвета - разные предложения)



# EDA

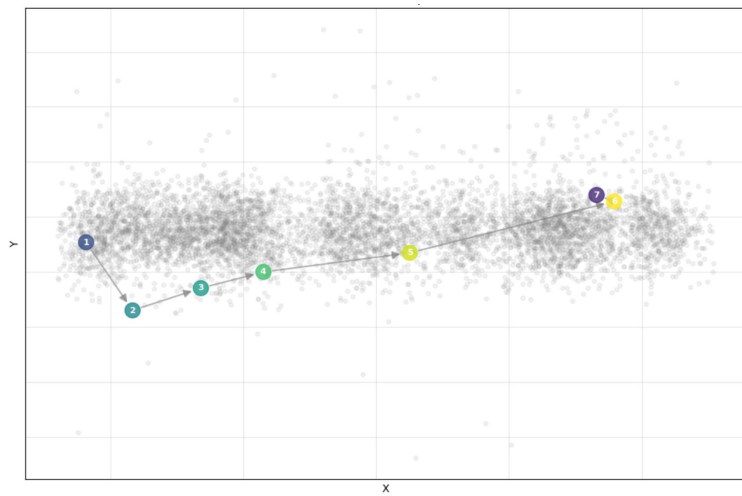
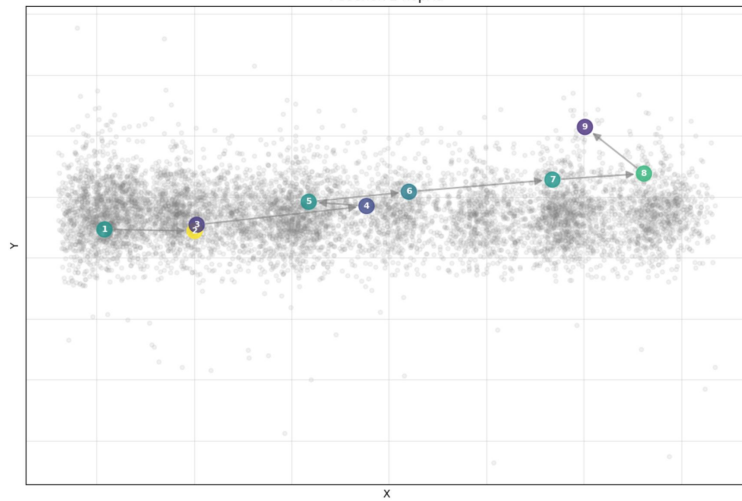
## Анализ:

- Длительность фиксации
- Количество фиксации на предложении
- Регрессий на предложение
- Общее время на предложение
- Сравнение средних

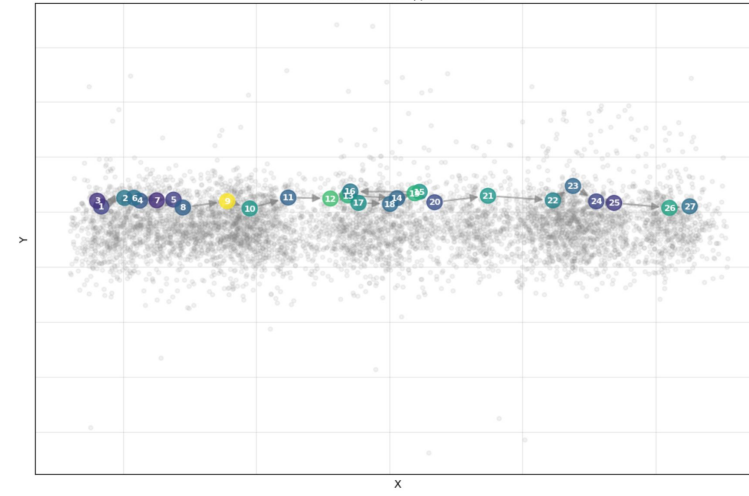
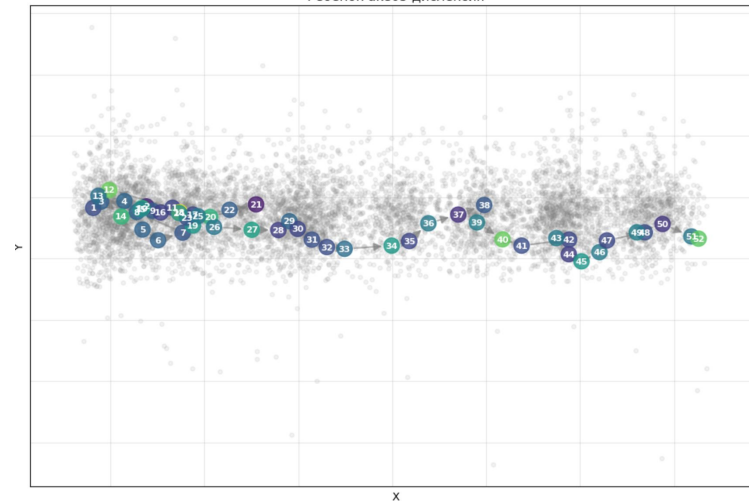


# Сравнение паттернов чтения

Ребенок 2 норма



Ребенок аке05 дислексия



# Baseline. Признаки.

## 1. Основные идентификаторы:

- SubjectID - идентификатор участника
- Sentence\_ID - идентификатор предложения

## 2. Количественные показатели фиксации:

- fix\_count - общее количество фиксаций на предложение
- total\_duration - суммарная длительность всех фиксаций
- mean\_fix\_duration - средняя длительность фиксации
- std\_fix\_duration - стандартное отклонение длительности фиксаций

## 3. Пространственные характеристики:

- mean\_fix\_x, mean\_fix\_y - средние координаты фиксаций (горизонталь/вертикаль)
- std\_fix\_x, std\_fix\_y - дисперсия координат фиксаций

## 4. Движения глаз (саккады):

- mean\_saccade\_amp - средняя амплитуда саккад
- max\_saccade\_amp - максимальная амплитуда саккад
- regression\_count - количество регрессий (возвратов назад)
- regression\_ratio - доля регрессивных движений

## 5. Характеристики чтения:

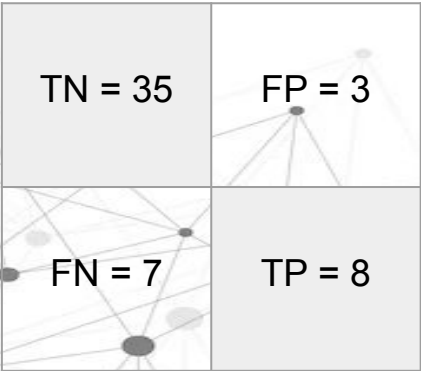
- scan\_regularity - регулярность сканирования текста
- time\_per\_word - среднее время на слово

# Baseline

## CatboostClassifier

*несбалансированная* выборка:

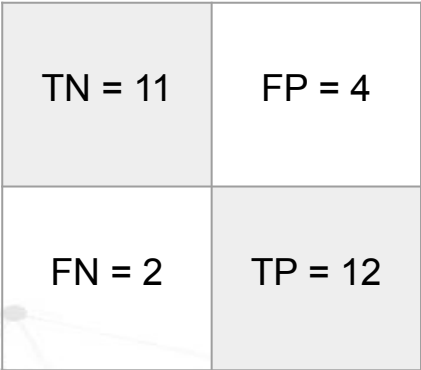
Precision	0.72
Accuracy	0.81
Recall	0.53
F1	0.61



TN = 35	FP = 3
FN = 7	TP = 8

**CatboostClassifier** на агрегированных признаках *сбалансированная* выборка:

Precision	0.75
Accuracy	0.79
Recall	0.857
F1	0.8



TN = 11	FP = 4
FN = 2	TP = 12

# Обработка последовательностей. Трансформер

**Идея:** Рассмотреть фиксации как временной ряд.

**Структура последовательности:** Для каждой фиксации 8 признаков (нормализованные координаты, длительность, амплитуда движения, флаг регрессии и др.).

**Модель:** Трансформер-энкодер с механизмом внимания.

**Агрегация:** Внимание (attention) объединяет информацию по всем предложениям одного ребенка для итогового прогноза.

**Преимущество:** Улавливает временные зависимости и контекст.

1. Нормализованная координата X
2. Нормализованная координата Y
3. Логарифм длительности
4. Нормализованная позиция слова — относительное положение слова в предложении
5. Изменение по X ( $dx$ )
6. Изменение по Y ( $dy$ )
7. Амплитуда движения ( $amp$ ) — расстояние между фиксациями
8. Флаг регрессии ( $is\_reg$ ) — движение назад к предыдущим словам (1) или вперед (0)



# Обработка последовательностей. Трансформер

Balanced accuracy (mean)

0.7589

Recall (mean)

0.8743

AUC (mean)

0.8707

Confusion matrix

TN = 32	FP = 6
FN = 0	TP = 14

# Построение графов чтения. GINEClassifier

**Идея:** Моделировать процесс чтения как граф

**Структура графа:**

**Узлы:** Слова в предложении.

**Признаки узлов:** Статистики по фиксациям на слове.

**Ребра:** Саккады (перемещения взгляда между словами).

**Признаки ребер:** Длина, направление, является ли регрессией.

**Модель: GINEConv** (Graph Isomorphism Network with Edge Features).

**Преимущество:** Учитывает структурные связи между фиксациями.

1. Количество фиксаций (`node_fix_count`) — сколько раз ребенок смотрел на слово
2. Суммарное время фиксаций (`node_total_dur`) — общее время просмотра слова
3. Среднее время фиксации (`node_mean_dur`) — средняя длительность одного взгляда
4. Стандартное отклонение (`node_std_dur`) — вариабельность времени фиксаций
5. Время первого прохода (`node_firstpass`) — длительность первой фиксации на слове
6. Позиция слова (`word_pos`) — относительная позиция в предложении (0-1)

# Построение графов чтения. GINEClassifier

Balanced accuracy (mean)

0.794

Recall (mean)

0.7218

AUC

0.8785

TN = 32

FP = 5

FN = 6

TP = 10

# GAT (Graph Attention Networks)

- **Идея:** Усовершенствованная графовая модель с вниманием на ребрах.
- **Улучшения:**
  - Более наполненные признаки узлов и ребер (пространственные, временные, лексические).
  - Расширенная структура графа
  - Многослойный GATv2 (Graph Attention Network v2).
  - Объединение глобальных признаков ребенка.
- **Цель:** Максимально использовать сложность данных.



# GAT (Graph Attention Networks). Результаты

Accuracy (mean)

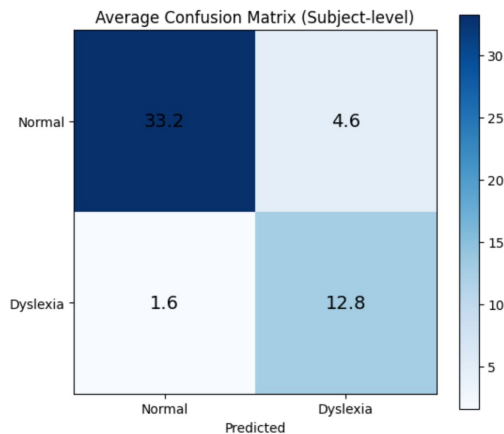
0.8811

Recall (mean)

0.8811

AUC (mean)

0.9503

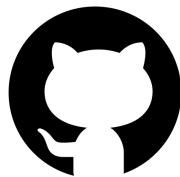


# Выводы

Метрика	Transformer	GINEConv	GAT
Balanced accuracy (mean)	0.7589	0.794	0.8811
Recall (mean)	0.8743	0.7218	0.8811
AUC (mean)	0.8707	0.8785	0.9503

GAT неплохо справляется с задачей классификации детей, пропуская малое количество дислексиков.

Для лучших результатов и оценки стоит увеличить количество испытуемых.  
Возможные улучшения : оценивать чтение не одного предложения, а текста;  
получать результат от LLM по текстовому описанию ребенка



[GitHub](#)