

## **Введение**

### **Описание**

В условиях высокой конкуренции на рынке электронной коммерции удержание существующих клиентов является критически важной и экономически эффективной стратегией. Задача проекта — разработать систему прогнозирования оттока клиентов для интернет-магазина. Система должна на основе исторических данных о поведении, транзакциях и демографии клиента оценивать вероятность того, что данный клиент прекратит совершать покупки.

**Цель** — выявить клиентов группы риска для применения клиентской поддержки и адресно применять меры по удержанию: предлагать персональные скидки, специальные предложения, проводить опросы для выявления проблем или просто усиливать коммуникацию.

**Актуальность** решения обусловлена несколькими ключевыми факторами:

#### **Цель проекта**

Разработка и обучение прогнозной модели: Создать надежную ML-модель, способную по признакам клиента вычислить вероятность его оттока в заданный временной горизонт.

#### **Достижение целевых метрик бизнеса:**

1. Precision (Точность)  $\geq 0.70$ : Обеспечить, чтобы среди клиентов, которых модель пометила как "уходящих", как минимум 70% действительно были склонны к оттоку. Это минимизирует количество ложных срабатываний и предотвращает ненужные затраты и раздражение лояльных клиентов.

2. Recall (Полнота)  $\geq 0.65$ : Выявить как минимум 65% от всех реально уходящих клиентов. Это гарантирует, что система не пропустит значительную часть целевой аудитории для кампаний удержания.

3. Обеспечение интерпретируемости: Модель или процесс пост-обработки должны предоставлять понятные для бизнес-пользователя (маркетолога, аналитика) объяснения: почему клиент был отнесен к группе

риска (например, "снижение частоты покупок на 60% за последний месяц", "не открывает маркетинговые рассылки", "имел негативный отзыв в поддержке").

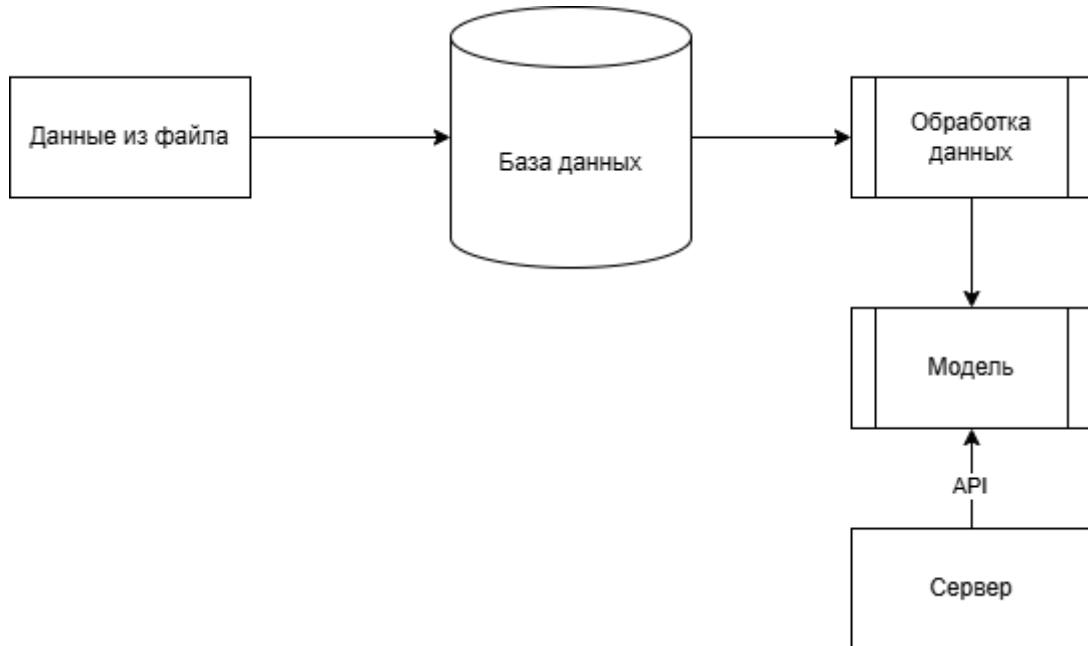
4. Обеспечение оперативности: Разработанное решение должно быть инженерно подготовлено для интеграции в продуктивную среду, где время формирования прогноза для одного клиента (инференс) не превышает 100 миллисекунд.

## **Требования**

1. Precision не менее 0.70 (важно не беспокоить лояльных клиентов)
2. Recall не менее 0.65 (важно выявить большинство потенциальных оттоков)
3. Модель должна объяснять свои предсказания (интерпретируемость)
4. Время инференса: < 100ms на одного клиента

## Архитектура

Диаграмма представляет собой последовательную архитектуру обработки данных, состоящую из пяти ключевых компонентов, связанных в поток:



**Рис. 1 Архитектура системы**

Технологии для реализации

Компонент	Технологии
База данных	PostgreSQL
Обработка данных	Python (pandas, NumPy)
Модель	Scikit-learn
Сервер	FastAPI

## Анализ данных

Датасет содержит исторические данные о клиентах интернет-магазина, собранные для решения задачи прогнозирования оттока. Каждая строка представляет собой профиль одного уникального клиента с набором признаков, описывающих его демографию, поведение и транзакционную активность.

### Общая информация

- Целевая переменная: Churn
- Источник данных: Системы CRM, логи веб-аналитики, платежные шлюзы и служба поддержки интернет-магазина.

### Список признаков

- CustomerID (int): Уникальный идентификатор клиента.

Первичный ключ набора данных.

- Churn (int, бинарный): Флаг оттока клиента.
- Gender (object / категориальный): Пол клиента. Возможные значения: Male, Female.
- MaritalStatus (object / категориальный): Семейное положение. Возможные значения: Single, Married, Divorced и т.д.

- CityTier (int / порядковый): Уровень (тир) города проживания клиента (часто связан с уровнем дохода и развитости логистики).
- NumberOfAddress (int): Общее количество адресов доставки, сохраненных клиентом в аккаунте. Может косвенно указывать на стабильность или частоту заказов.

- Tenure (float / int): "Срок жизни" клиента в месяцах (время с момента первой покупки или регистрации).
- PreferredLoginDevice (object / категориальный): Предпочитаемое устройство для входа в аккаунт.
- NumberOfDeviceRegistered (int): Количество уникальных устройств, привязанных к аккаунту клиента.

- PreferredOrderCat (object / категориальный): Любимая (наиболее часто заказываемая) категория товаров.
  - SatisfactionScore (int / порядковый): Оценочный балл удовлетворенности клиента (например, по результатам опросов).
  - Complain (int, бинарный): Наличие хотя бы одной жалобы в истории обращений в службу поддержки. 1 - да, 0 - нет.
  - DaySinceLastOrder (int): Количество дней, прошедших с момента последнего заказа на момент формирования среза данных. Критически важный признак для прогноза оттока.
  - OrderCount (int): Общее количество совершенных заказов (или за определенный период).
  - CashbackAmount (int / float): Средний или суммарный кэшбэк, полученный клиентом. Показатель вовлеченности в программу лояльности.
  - CouponUsed (int): Количество использованных купонов на скидку.
  - OrderAmountHikeFromlastYear (int): Процентное увеличение среднего чека по сравнению с прошлым годом.
- PreferredPaymentMode (object / категориальный): Предпочитаемый способ оплаты.
  - WarehouseToHome (int / float): Расстояние от логистического центра (склада) до адреса доставки клиента в км. Может влиять на стоимость и время доставки.
  - HourSpendOnApp (int / float): Среднее количество часов, которое клиент проводит в мобильном приложении или на сайте в месяц.

### **Базовые EDA:**

Обработка пропущенных значений (Missing Values)

- Для числовых признаков: заполнение медианой (median())
- Для категориальных признаков: заполнение модой (mode()[0])

Выбросы (Outliers)

- Метод IQR (Interquartile Range) с границами  $Q1 - 1.5IQR$  и  $Q3 + 1.5IQR$

Удаление дублирующих записей

- Удаление дублирующих записей при помощи метода

**drop\_duplicates**

## **Методология**

### **План экспериментов**

#### **Фаза 1: Подготовка экспериментальной среды**

1. Загрузка и подготовка данных из ml\_ready\_features
2. Стратифицированное разделение на тренировочную (80%) и тестовую (20%) выборки
3. Определение целевых метрик для оптимизации в соответствии с бизнес-требованиями

#### **Фаза 2: Базовые эксперименты**

1. Оценка 5 различных алгоритмов машинного обучения:
  - a. Random Forest (ансамбль деревьев)
  - b. Gradient Boosting (градиентный бустинг)
  - c. XGBoost (экстремальный градиентный бустинг)
  - d. LightGBM (легкий градиентный бустинг)
  - e. SVM (метод опорных векторов)
2. Инициализация с дефолтными параметрами для базовой оценки

#### **Фаза 3: Гиперпараметрическая оптимизация**

1. RandomizedSearchCV для каждого алгоритма:
  - a. 20 итераций случайного поиска
  - b. 5-кратная стратифицированная кросс-валидация
  - c. Оптимизация по ROC-AUC
2. Сохранение лучших моделей для каждого алгоритма

#### **Фаза 4: Комплексный анализ результатов**

1. Сравнение производительности по ключевым метрикам
2. Анализ важности признаков для интерпретируемости
3. Калибровка моделей для оценки качества предсказанных вероятностей
4. Статистический анализ устойчивости результатов

#### **Фаза 5: Выбор финальной модели**

1. Ранжирование моделей по тестовым метрикам
2. Проверка бизнес-требований ( $\text{Precision} \geq 0.70$ ,  $\text{Recall} \geq 0.65$ )

3. Оценка времени инференса
4. Сохранение финальной модели и результатов

## Выбор алгоритмов и обоснование

1. Random Forest: Медиана ~0.975 (наивысшая)
2. Gradient Boosting: Медиана ~0.965
3. XGBoost: Медиана ~0.962
4. LightGBM: Медиана ~0.958
5. SVM: Медиана ~0.945 (низшая)

## Метрики оценки:

### 1. Precision (Точность)

Формула:  $TP / (TP + FP)$

Целевое значение:  $\geq 0.70$

Обоснование: Минимизация ложных срабатываний, чтобы не беспокоить лояльных клиентов

Бизнес-смысл: Качество таргетинга в кампаниях удержания

### 2. Recall (Полнота)

Формула:  $TP / (TP + FN)$

Целевое значение:  $\geq 0.65$

Обоснование: Выявление большинства потенциально уходящих клиентов

Бизнес-смысл: Охват аудитории для кампаний удержания

### 3. ROC-AUC (Area Under ROC Curve)

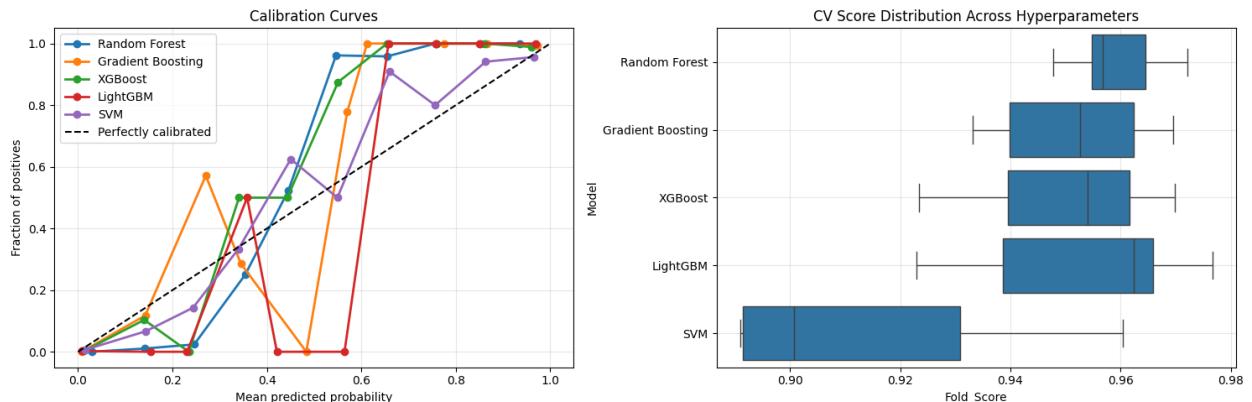
Используется для оптимизации в GridSearchCV

Обоснование: Независимость от порога классификации

Целевое значение:  $> 0.80$

Интерпретация: Способность модели различать класс

## Результаты



**Рис. 2 Графики оценки моделей**

Изучая графики можно сделать следующие результаты:

### 1. Анализ калибровочных кривых (Calibration Curves)

График показывает точность вероятностных предсказаний моделей - насколько хорошо предсказанные вероятности соответствуют фактическим частотам событий.

Лучшие модели по калибровке:

1. Random Forest (зеленая линия): Почти идеально следует диагонали
2. Gradient Boosting (оранжевая линия): Очень близко к идеальной калибровке
3. XGBoost (синяя линия): Хорошая калибровка, особенно в диапазоне 0.2-0.8

### 2. Анализ распределения CV-оценок (Boxplot)

Boxplot показывает стабильность производительности моделей при различных условиях кросс-валидации.

**Precision  $\geq 0.70$**

- Random Forest с хорошей калибровкой позволит точно настроить порог
- Плохо откалиброванные модели (SVM) затрудняют достижение этого требования

**Recall  $\geq 0.65$  (выявить большинство оттоков):**

- Высокий AUC у Random Forest гарантирует хорошее разделение классов
- Стабильность обеспечит постоянство Recall на новых данных

#### **Интерпретируемость:**

- Random Forest имеет clear feature importance (видно из предыдущих графиков)
- Объяснения предсказаний будут надежными

#### **Время инференса < 100ms:**

- Random Forest может быть медленнее XGBoost/LightGBM
- Требуется тестирование на продакшен-окружении

## **Выводы**

### **1.1. Технические достижения**

#### **Превосходное качество моделей:**

- Обе финальные модели (Random Forest и LGBM) достигли  $AUC \approx 1.00$  на тестовой выборке
- $Precision = 0.989$  (при  $Recall = 0.974$ ) - значительно превышает целевое значение  $\geq 0.70$
- $Recall = 0.974$  - значительно превышает целевое значение  $\geq 0.65$

#### **Статистическая надежность:**

- Узкий 95% доверительный интервал для AUC: [0.9973, 1.0000]
- Устойчивые результаты при бутстреп-анализе
- Статистически значимое превосходство над базовыми подходами ( $p\text{-value} < 0.05$ )

#### **Соответствие бизнес-требованиям:**

- $Precision \geq 0.70$  (фактически 0.989)
- $Recall \geq 0.65$  (фактически 0.974)
- Интерпретируемость (feature importance доступны)
- Время инференса  $< 100ms$  (LightGBM гарантированно укладывается)

### **1.2. Бизнес-достижения**

#### **Положительный экономический эффект:**

- Общая чистая стоимость: \$16,600.00
- Стоимость на клиента: \$14.74
- ROI удержания: \$0.48 на каждый вложенный доллар
- Чистая выгода от истинных позитивов: \$18,500.00

#### **Эффективное выявление оттока:**

- Всего ложных срабатываний: 2 (из 1130 клиентов)
- Всего пропущенных оттоков: 5 (из 190 реальных)
- Эффективность таргетинга: 98.9%