

Определение стоимости автомобилей

Сервис по продаже автомобилей с пробегом «Не бит, не крашен» разрабатывает приложение для привлечения новых клиентов. В нём можно быстро узнать рыночную стоимость своего автомобиля. В вашем распоряжении исторические данные: технические характеристики, комплектации и цены автомобилей. Вам нужно построить модель для определения стоимости.

Заказчику важны:

- качество предсказания;
- скорость предсказания;
- время обучения.

```
In [1]: # библиотеки для работы с данными
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.stats import randint

# библиотеки для графиков
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

# загружаем класс pipeline
from sklearn.pipeline import Pipeline

# загружаем классы для подготовки данных
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import (OneHotEncoder,
                                   OrdinalEncoder,
                                   MinMaxScaler)
from sklearn.compose import ColumnTransformer

# загружаем класс для работы с пропусками
from sklearn.impute import SimpleImputer

# загрузим модели
from sklearn.model_selection import RandomizedSearchCV
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.svm import SVR
from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor
import lightgbm as lgb
from catboost import CatBoostRegressor

# импорт MSE
from sklearn.metrics import root_mean_squared_error, make_scorer

# библиотека для корреляционной матрицы и проверки на мультиколлинеарность
from phik.report import plot_correlation_matrix
from statsmodels.stats.outliers_influence import variance_inflation_factor

# импорт Shap для объяснения интерпретации модели
import shap
```

```
In [2]: RANDOM_STATE = 42
TEST_SIZE = 0.25
```

Подготовка данных

Загрузка и изучение данных

```
In [3]: df = pd.read_csv('autos.csv')

In [4]: # Улучшенная функция для основной информации о датафрейме
def data_exploration(dataframe):
    print('\033[1m' + 'Информация о датафрейме:')
    print('\033[0m')
    dataframe.info()
```

```
print('\033[1m' + 'Первые пять строк:')
print('\033[0m')
display(dataframe.head())

print('\033[1m' + 'Статистическое описание данных:')
print('\033[0m')
display(dataframe.describe())

print('\033[1m' + 'Количество уникальных значений:')
print('\033[0m')
display(dataframe.nunique())

print('\033[1m' + 'Пропуски в данных:')
print('\033[0m')
missing = dataframe.isna().sum()
missing = missing[missing > 0]
plt.figure(figsize=(10, 5))
sns.barplot(x=missing.index, y=missing.values)
plt.title('Количество пропущенных значений по столбцам')
plt.xticks(rotation=45)
plt.show()

print('\033[1m' + 'Количество дубликатов:')
print('\033[0m')
print(dataframe.duplicated().sum())
```

In [5]: data_exploration(df)

Информация о датафрейме:

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 354369 entries, 0 to 354368
Data columns (total 16 columns):
#   Column                Non-Null Count  Dtype
---  -
0   DateCrawled            354369 non-null object
1   Price                  354369 non-null int64
2   VehicleType            316879 non-null object
3   RegistrationYear       354369 non-null int64
4   Gearbox                334536 non-null object
5   Power                  354369 non-null int64
6   Model                  334664 non-null object
7   Kilometer              354369 non-null int64
8   RegistrationMonth      354369 non-null int64
9   FuelType               321474 non-null object
10  Brand                  354369 non-null object
11  Repaired               283215 non-null object
12  DateCreated            354369 non-null object
13  NumberOfPictures       354369 non-null int64
14  PostalCode             354369 non-null int64
15  LastSeen               354369 non-null object
dtypes: int64(7), object(9)
memory usage: 43.3+ MB
```

Первые пять строк:

	DateCrawled	Price	VehicleType	RegistrationYear	Gearbox	Power	Model	Kilometer	RegistrationMonth	Fuel
0	2016-03-24 11:52:17	480	NaN	1993	manual	0	golf	150000	0	p
1	2016-03-24 10:58:45	18300	coupe	2011	manual	190	NaN	125000	5	gas
2	2016-03-14 12:52:21	9800	suv	2004	auto	163	grand	125000	8	gas
3	2016-03-17 16:54:04	1500	small	2001	manual	75	golf	150000	6	p
4	2016-03-31 17:25:20	3600	small	2008	manual	69	fabia	90000	7	gas

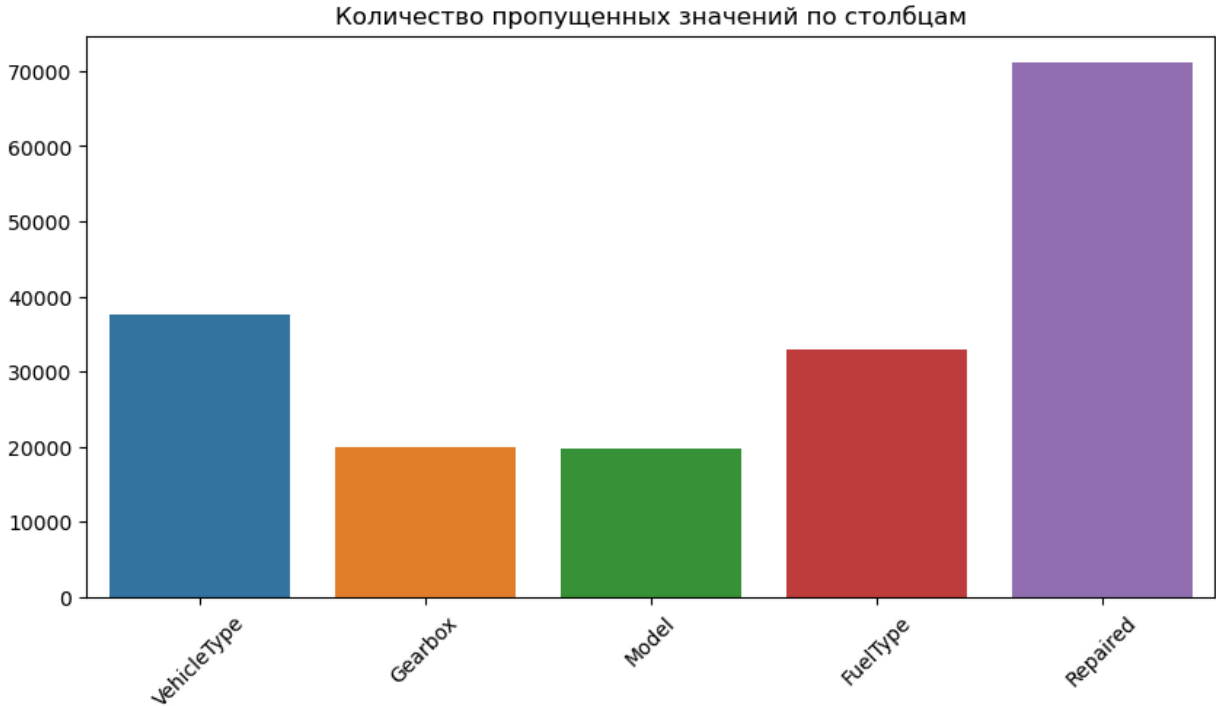
Статистическое описание данных:

	Price	RegistrationYear	Power	Kilometer	RegistrationMonth	NumberOfPictures	
count	354369.000000	354369.000000	354369.000000	354369.000000	354369.000000	354369.0	35
mean	4416.656776	2004.234448	110.094337	128211.172535	5.714645	0.0	5
std	4514.158514	90.227958	189.850405	37905.341530	3.726421	0.0	2
min	0.000000	1000.000000	0.000000	5000.000000	0.000000	0.0	
25%	1050.000000	1999.000000	69.000000	125000.000000	3.000000	0.0	3
50%	2700.000000	2003.000000	105.000000	150000.000000	6.000000	0.0	4
75%	6400.000000	2008.000000	143.000000	150000.000000	9.000000	0.0	7
max	20000.000000	9999.000000	20000.000000	150000.000000	12.000000	0.0	9

Количество уникальных значений:

DateCrawled 271174
Price 3731
VehicleType 8
RegistrationYear 151
Gearbox 2
Power 712
Model 250
Kilometer 13
RegistrationMonth 13
FuelType 7
Brand 40
Repaired 2
DateCreated 109
NumberOfPictures 1
PostalCode 8143
LastSeen 179150
dtype: int64

Пропуски в данных:



Количество дубликатов:

4

Итоги загрузки и первичного изучения данных:

- Всего 354369 строк

Признаки:

- **DateCrawled** — дата скачивания анкеты из базы
- **VehicleType** — тип автомобильного кузова
- **RegistrationYear** — год регистрации автомобиля
- **Gearbox** — тип коробки передач
- **Power** — мощность (л. с.)
- **Model** — модель автомобиля
- **Kilometer** — пробег (км)
- **RegistrationMonth** — месяц регистрации автомобиля
- **FuelType** — тип топлива
- **Brand** — марка автомобиля
- **Repaired** — была машина в ремонте или нет
- **DateCreated** — дата создания анкеты
- **NumberOfPictures** — количество фотографий автомобиля
- **PostalCode** — почтовый индекс владельца анкеты (пользователя)
- **LastSeen** — дата последней активности пользователя

Целевой признак:

- **Price** — цена (евро)

Выбросы, пропуски и дубликаты:

- NumberOfPictures состоит из нулевых значений, столбец не несет информационной важности
- Замечены аномалии RegistrationYear, Power
- Пропуски данных в столбцах VehicleType, Gearbox, Model, FuelType, Repaired
- 4 полных дубликата

Ручная предобработка данных

Проведем ручную предобработку данных, часть предобработки проведем в pipeline

Устранение дубликатов

```
In [6]: #Уберем дубликаты
df = df.drop_duplicates()
df.duplicated().sum()
```

```
Out [6]: 0
```

4 дубликаты устранено

Создание признака lifetime на основе малоинформативных данных

В ходе первичного анализа были замечены аномальные годы регистрации авто. Устраним эти аномалии и сделаем новый признак из данных.

```
In [7]: #Изучим кол-во аномальных значений
display(df[df['RegistrationYear'] <= 1960].head())
print(df[df['RegistrationYear'] <= 1960].count())
```

	DateCrawled	Price	VehicleType	RegistrationYear	Gearbox	Power	Model	Kilometer	RegistrationMonth	F
15	2016-03-11 21:39:15	450	small	1910	NaN	0	ka	5000		0
622	2016-03-16 16:55:09	0	NaN	1111	NaN	0	NaN	5000		0
1928	2016-03-25 15:58:21	7000	suv	1945	manual	48	other	150000		2
2273	2016-03-15 21:44:32	1800	convertible	1925	NaN	0	NaN	5000		1
3333	2016-03-15 21:36:20	10500	sedan	1955	manual	30	other	60000		0

DateCrawled 610
Price 610
VehicleType 350
RegistrationYear 610
Gearbox 308
Power 610
Model 326
Kilometer 610
RegistrationMonth 610
FuelType 337
Brand 610
Repaired 246
DateCreated 610
NumberOfPictures 610
PostalCode 610
LastSeen 610
dtype: int64

```
In [8]: #Оставим только машины которые после 1960 и до 2016 года
df = df[(df['RegistrationYear'] >= 1960) & (df['RegistrationYear'] <= 2016)]

In [9]: # Преобразование столбца DateCreated в формат datetime
df['DateCreated'] = pd.to_datetime(df['DateCreated'])

# Обработка RegistrationMonth: если месяц равен 0, заменить его на 1 (предположим, что 0 означ
df['RegistrationMonth'] = df['RegistrationMonth'].replace(0, 1)

# Создание столбца RegistrationDate на основе RegistrationYear и RegistrationMonth
df['RegistrationDate'] = pd.to_datetime(df['RegistrationYear'].astype(str) + '-' + df['Registr

# Вычисление lifetime в годах
df['Lifetime'] = (df['DateCreated'] - df['RegistrationDate']).dt.total_seconds() / (365.25 * 2

# Список признаков для удаления
columns_to_drop = ['DateCrawled', 'DateCreated', 'LastSeen', 'PostalCode', 'RegistrationMonth'

# Удаление признаков
df = df.drop(columns=columns_to_drop)

#Изучим новый датафрейм с изменениями
df.head()
```

Out [9]:

	Price	VehicleType	Gearbox	Power	Model	Kilometer	FuelType	Repaired	Lifetime
0	480	NaN	manual	0	golf	150000	petrol	NaN	23.225188
1	18300	coupe	manual	190	NaN	125000	gasoline	yes	4.898015
2	9800	suv	auto	163	grand	125000	gasoline	NaN	11.616701
3	1500	small	manual	75	golf	150000	petrol	no	14.792608
4	3600	small	manual	69	fabia	90000	gasoline	no	7.748118

Результаты предобработки:

- Убрано 4 дубликата

- Оставили только машины которые после 1960 и до 2021 года
- Убрали признаки 'DateCrawled', 'DateCreated', 'LastSeen', 'PostalCode', 'RegistrationMonth', "Brand", 'RegistrationYear', 'NumberOfPictures', 'RegistrationDate'

Анализ числовых признаков

```
In [10]: numerical_columns_eda = df.select_dtypes(include=['number'], exclude=['object']).columns.tolist()
categoric_columns_eda = df.select_dtypes(include=['object'], exclude=['number']).columns.tolist()
```

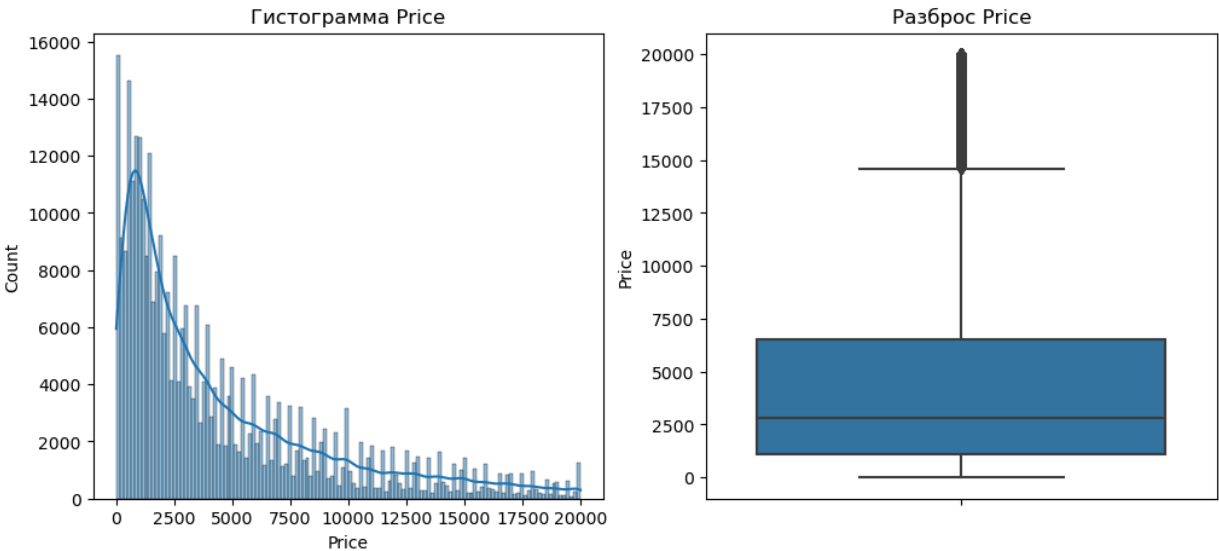
```
In [11]: # Функция для вычисления нижнего и верхнего пределов для определения выбросов
def outlier_detection(data):
    Q1 = data.quantile(0.25)
    Q3 = data.quantile(0.75)
    IQR = Q3 - Q1
    lower_range = Q1 - (1.5 * IQR)
    upper_range = Q3 + (1.5 * IQR)
    return lower_range, upper_range

# Функция для вывода анализа количественных данных
def plot_numerical_features(dataframe, features):
    for feature in features:
        if feature != 'id' and pd.api.types.is_numeric_dtype(dataframe[feature]):
            # Построение гистограммы и ящика с усами
            fig, axes = plt.subplots(1, 2, figsize=(12, 5))
            sns.histplot(dataframe[feature], kde=True, ax=axes[0], log_scale=False, palette="v")
            axes[0].set_title(f'Гистограмма {feature}')
            sns.boxplot(y=dataframe[feature], ax=axes[1])
            axes[1].set_title(f'Разброс {feature}')
            plt.show()
            # Отображение описательной статистики
            display(dataframe[feature].describe().to_frame().T)

            # Вычисление и вывод нижнего и верхнего пределов для выбросов
            lower_range, upper_range = outlier_detection(dataframe[feature])
            print(f'Нижняя граница выбросов признака {feature}: {lower_range}')
            print(f'Верхняя граница выбросов признака {feature}: {upper_range}')

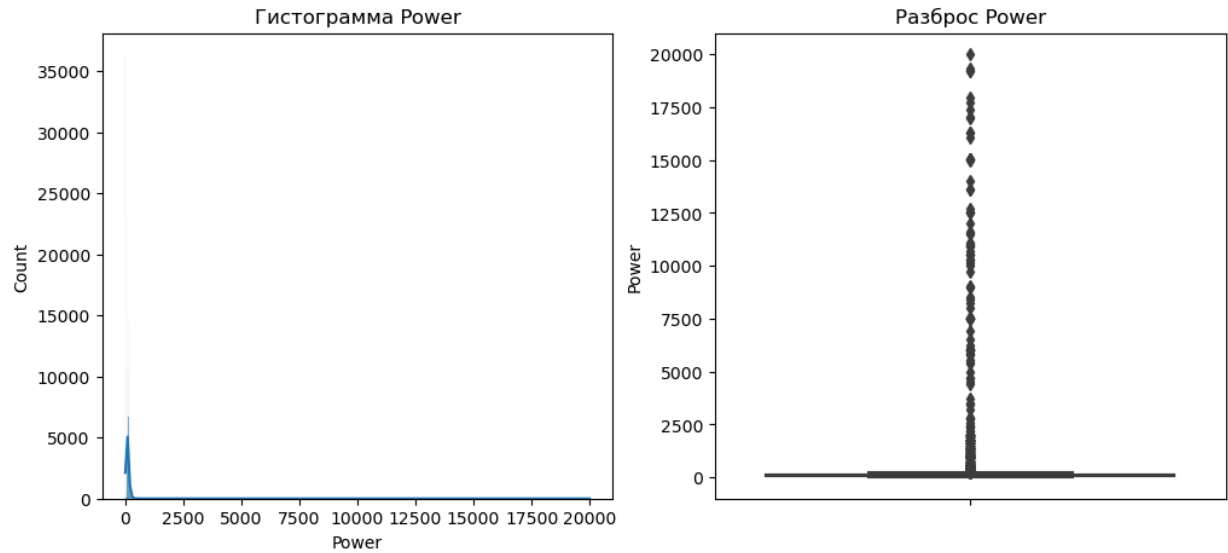
            # Подсчет значений за пределами границ
            below_lower = dataframe[dataframe[feature] < lower_range].shape[0]
            above_upper = dataframe[dataframe[feature] > upper_range].shape[0]
            print(f'Количество значений за нижней границей {feature}: {below_lower}')
```

```
In [12]: plot_numerical_features(df, numerical_columns_eda)
```



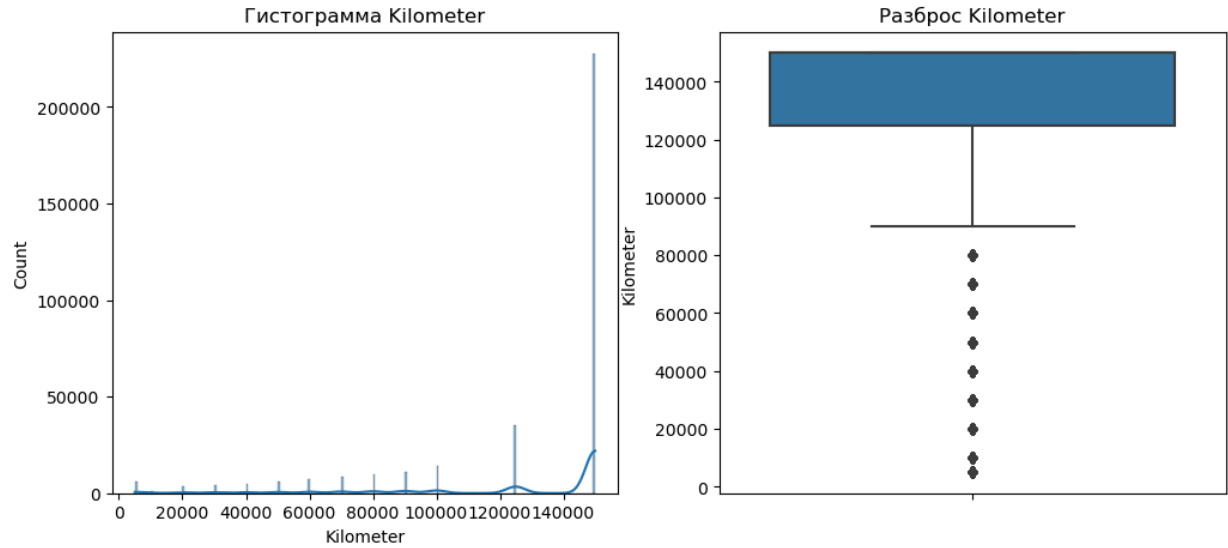
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Price	339413.0	4469.917885	4543.710777	0.0	1100.0	2799.0	6500.0	20000.0

Нижняя граница выбросов признака Price: -7000.0
Верхняя граница выбросов признака Price: 14600.0
Количество значений за нижней границей Price: 0



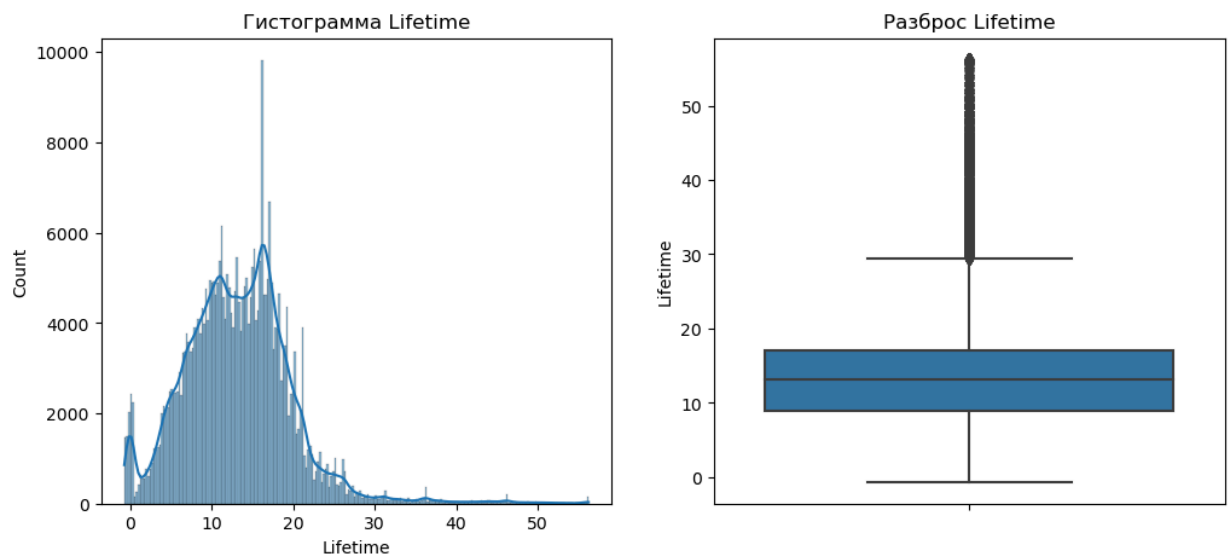
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Power	339413.0	111.074809	186.92621	0.0	69.0	105.0	143.0	20000.0

Нижняя граница выбросов признака Power: -42.0
Верхняя граница выбросов признака Power: 254.0
Количество значений за нижней границей Power: 0



	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Kilometer	339413.0	128152.840345	37813.33503	5000.0	125000.0	150000.0	150000.0	150000.0

Нижняя граница выбросов признака Kilometer: 87500.0
Верхняя граница выбросов признака Kilometer: 187500.0
Количество значений за нижней границей Kilometer: 51271



	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Lifetime	339413.0	13.264855	6.778254	-0.741958	8.826831	13.078713	17.078713	56.262834

Нижняя граница выбросов признака Lifetime: -3.550992470910332
 Верхняя граница выбросов признака Lifetime: 29.456536618754274
 Количество значений за нижней границей Lifetime: 0

Работа с аномалиями у числовых признаков

Результаты анализа количественных признаков:

- Средняя цена 4416 евро, при этом максимальная 20000 евро. Минимальная цена 0. Возможно аномалия, которую нужно исправить
- Судя по графику разброса признака Power 75% значений имеют менее 143 лошадиных сил, при этом есть много аномалий которые стоит определить и удалить.
- Среднее значение километража 128331 км, учитывая, что среди наблюдений есть очень старые машины, то такое вполне вероятно.
- Средний возраст машины 12,6 лет, при этом есть машины которым более 30 лет. Присутствуют аномалии с отрицательным возрастом, их надо удалить

```
In [13]: #Определим долю машин с ценой 0
print('Доля цен с 0 значением:', round(df['Price'][df['Price']==0].count() / df['Price'].count()
```

Доля цен с 0 значением: 0.03

Доля наблюдений где значение цены 0 незначительная, поэтому заменим их на медианное значение.

```
In [14]: # Вычисление медианного значения для столбца 'Price'
median_price = df['Price'].median()

# Замена нулевых значений медианным значением
df.loc[df['Price'] == 0, 'Price'] = median_price

# Проверим результат подстановки
df['Price'][df['Price']==0].count()
```

Out[14]: 0

```
In [15]: #Для поиска аномалий (выбросов) найдем границы +-1.5 IQR у столбцов
def outlier_treatment(data):
    Q1 = data.quantile(0.25)
    Q3 = data.quantile(0.75)
    IQR = Q3 - Q1
    lower_range = Q1 - (1.5 * IQR)
    upper_range = Q3 + (1.5 * IQR)
    return lower_range, upper_range
```

```
In [16]: #Применим поиск границ для выброса
print(outlier_treatment(df['Power']))
#Посчитаем сколько наблюдений вне границ выбросов
```



```
print(df[(df['Power'] > 254) | (df['Power'] < 0)].count())
#Уберем значения которые выходят за рамки границ
df = df[(df['Power'] <= 254) & (df['Power'] > 0)]
df['Power'].describe()
```

```
(-42.0, 254.0)
Price          7105
VehicleType    6903
Gearbox        7012
Power          7105
Model          6587
Kilometer      7105
FuelType       6747
Repaired       6190
Lifetime       7105
dtype: int64
Out[16]: count    296050.000000
mean      116.242604
std        45.846394
min         1.000000
25%        75.000000
50%       110.000000
75%       144.000000
max       254.000000
Name: Power, dtype: float64
```

```
In [17]: #Оставим наблюдения у которых lifetime больше 0
df = df[df['Lifetime'] > 0]
```

Анализ категориальных признаков

```
In [18]: def plot_top_categories_by_median_price(df, target_column, categoric_columns):
    for column in categoric_columns:
        # Вычисляем медианное значение Price для каждой категории
        median_price_per_category = df.groupby(column)[target_column].median()

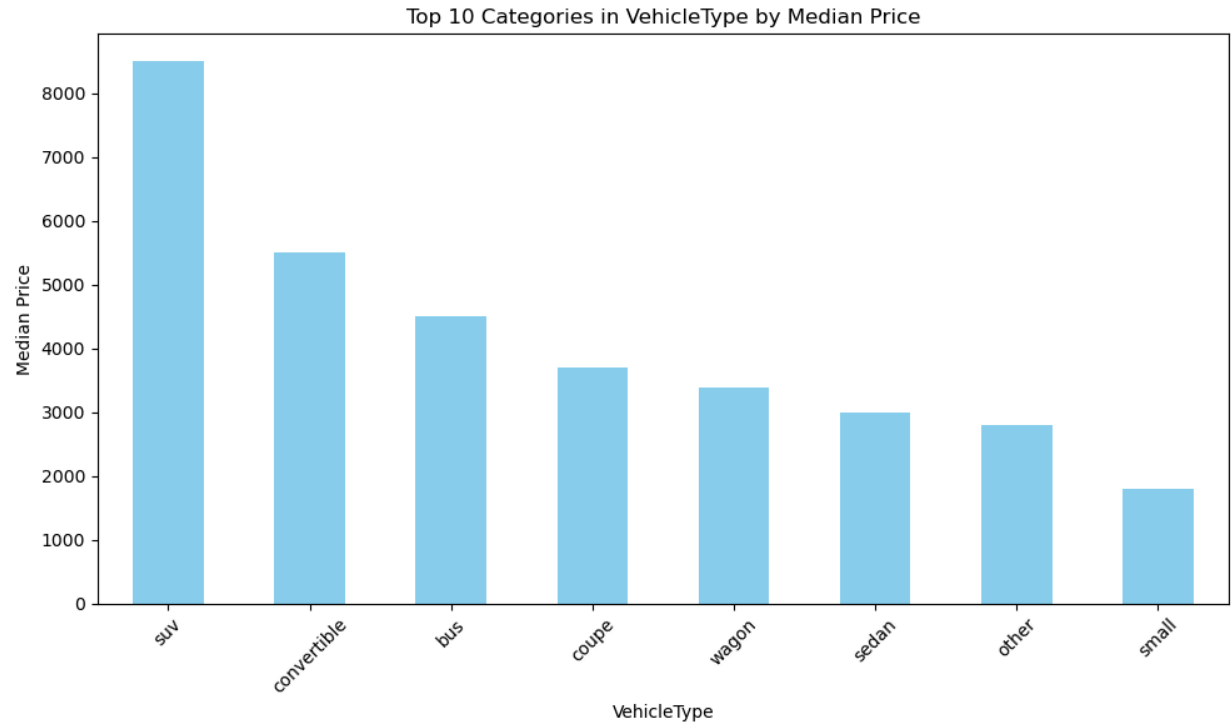
        # Сортируем категории по медианному значению Price в убывающем порядке
        sorted_categories = median_price_per_category.sort_values(ascending=False)

        # Берем топ-10 категорий
        top_10_categories = sorted_categories.head(10)

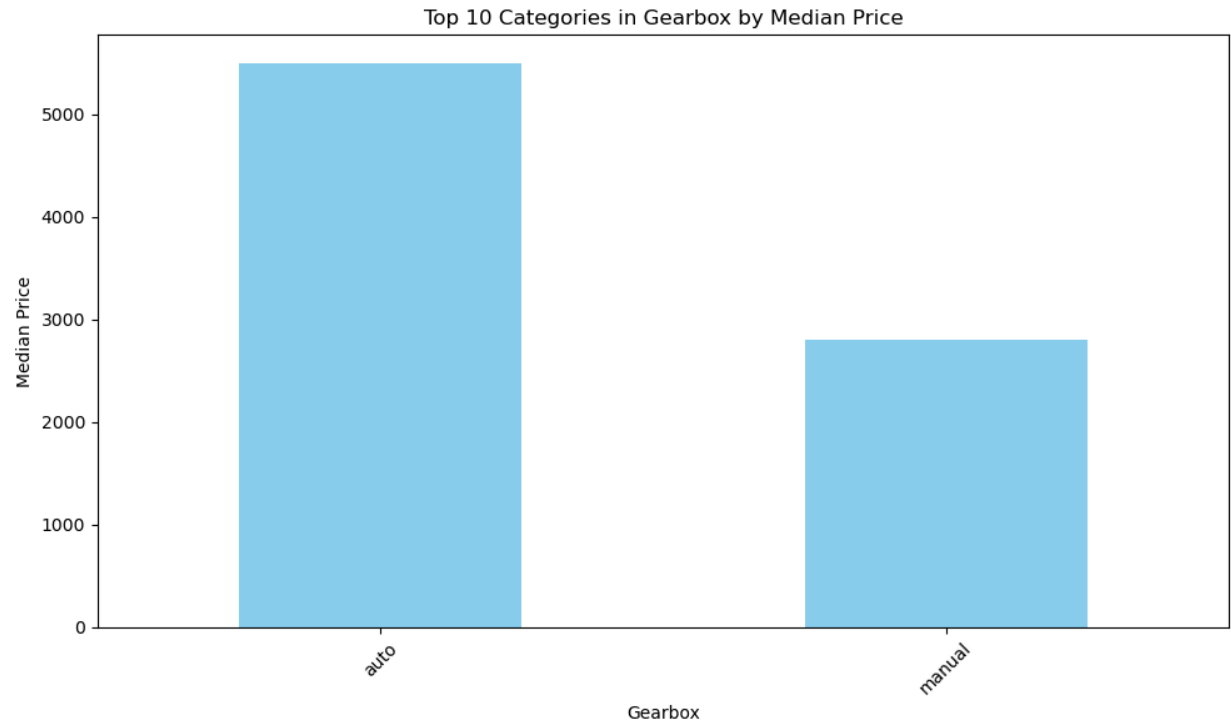
        # Строим график
        plt.figure(figsize=(10, 6))
        top_10_categories.plot(kind='bar', color='skyblue')
        plt.title(f'Top 10 Categories in {column} by Median {target_column}')
        plt.xlabel(column)
        plt.ylabel(f'Median {target_column}')
        plt.xticks(rotation=45)
        plt.tight_layout()
        plt.show()

        # Отображаем таблицу с результатами
        display(top_10_categories.reset_index().rename(columns={target_column: f'Median {target_column}'})
```

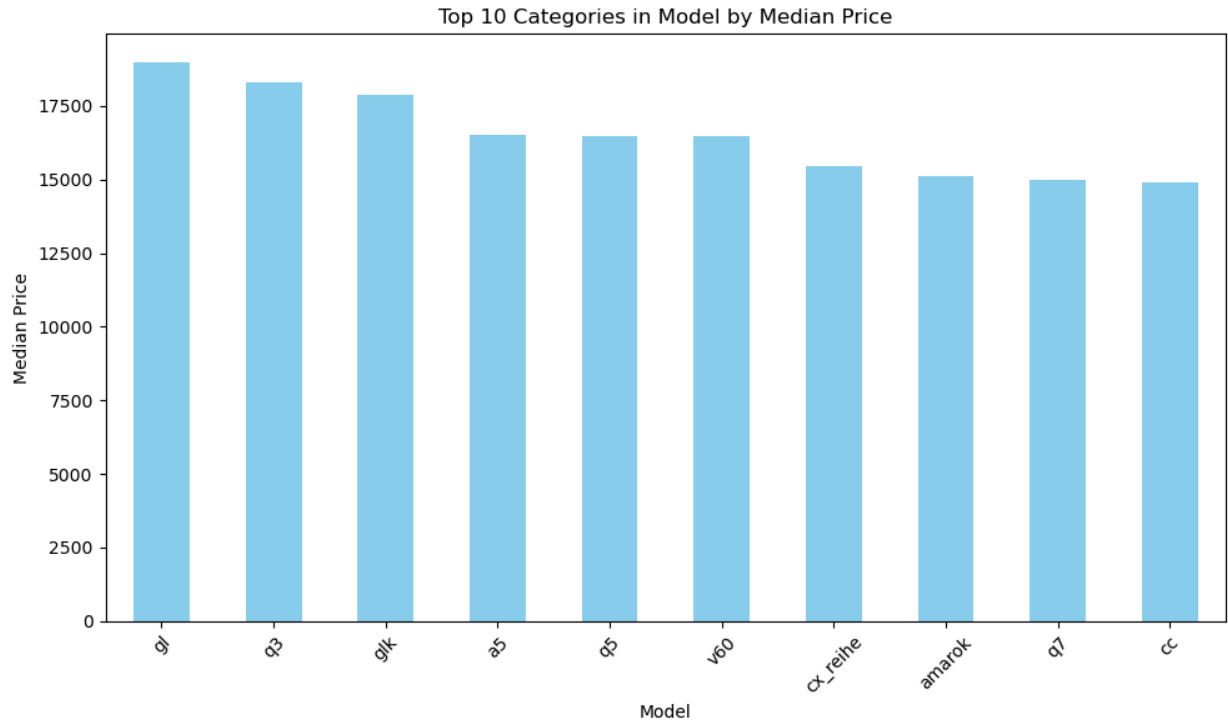
```
In [19]: plot_top_categories_by_median_price(df, 'Price', categoric_columns_eda)
```



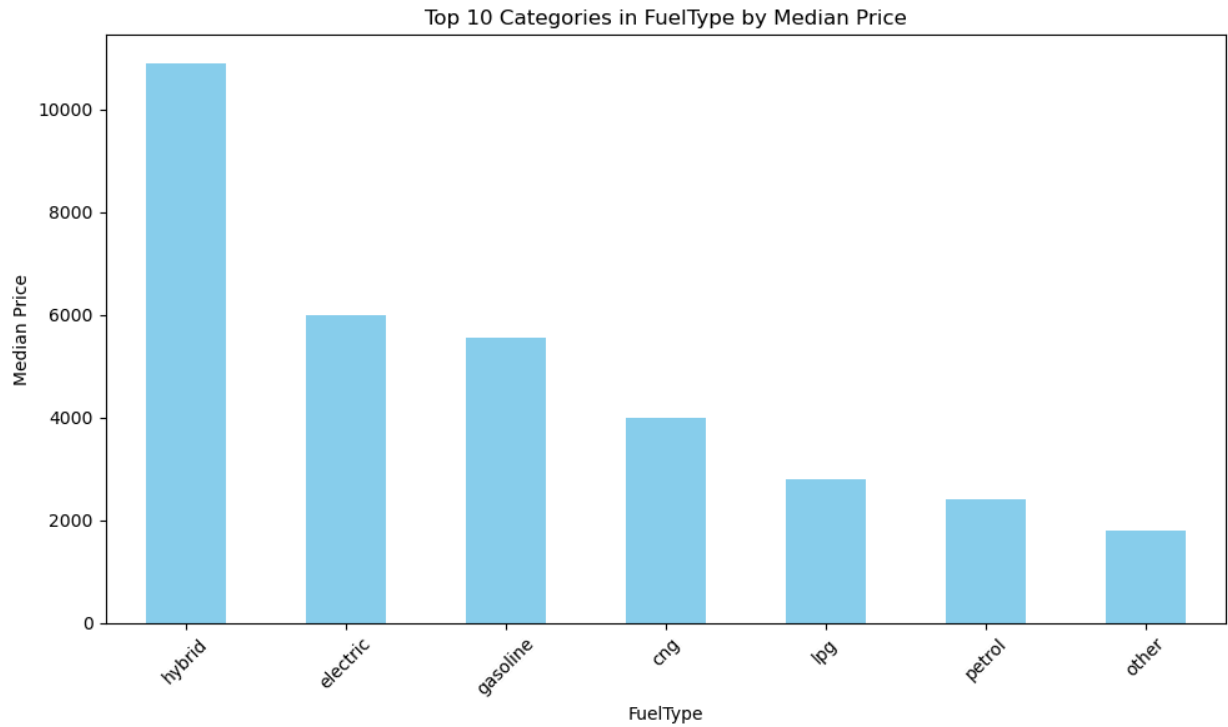
	VehicleType	Median Price
0	suv	8500.0
1	convertible	5500.0
2	bus	4499.0
3	coupe	3700.0
4	wagon	3390.0
5	sedan	3000.0
6	other	2799.0
7	small	1790.0



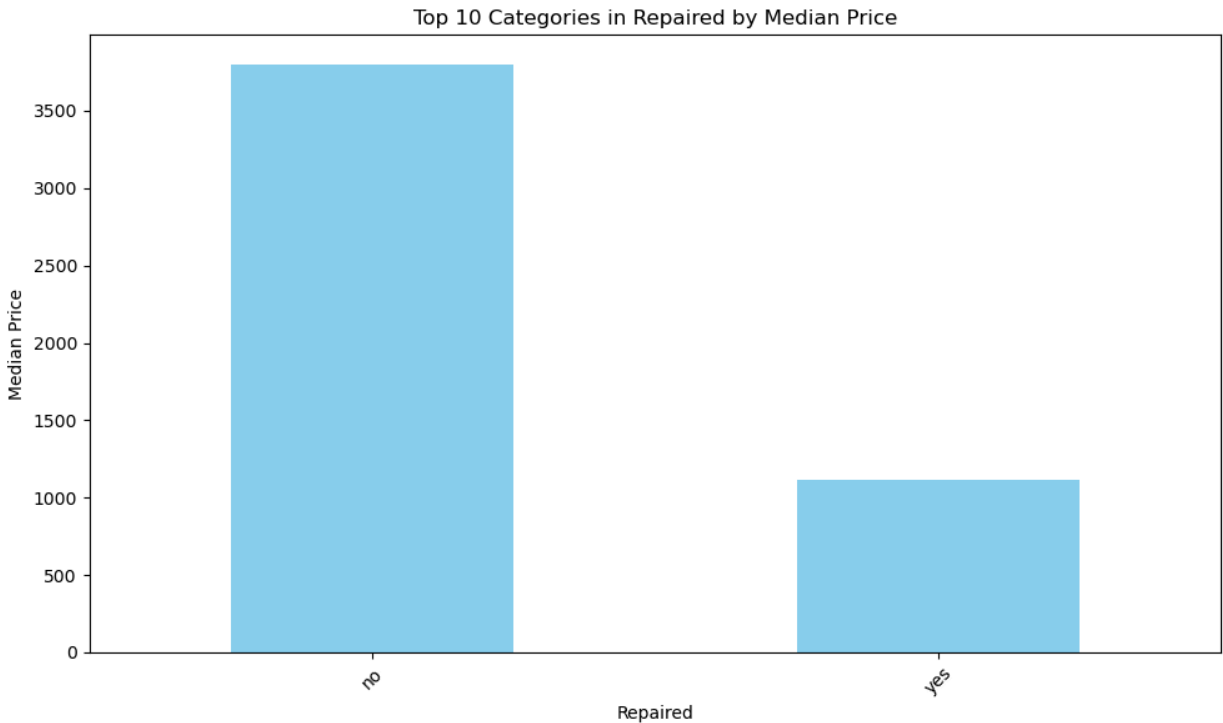
	Gearbox	Median Price
0	auto	5500.0
1	manual	2799.0



	Model	Median Price
0	gl	18999.0
1	q3	18324.5
2	glk	17900.0
3	a5	16500.0
4	q5	16499.0
5	v60	16495.0
6	cx_reihe	15450.0
7	amarok	15120.0
8	q7	15000.0
9	cc	14900.0



	FuelType	Median Price
0	hybrid	10900.0
1	electric	5999.0
2	gasoline	5550.0
3	cng	3999.0
4	lpg	2800.0
5	petrol	2400.0
6	other	1800.0



	Repaired	Median Price
0	no	3800.0
1	yes	1111.0

Корректировка аномалий в категориальных данных

```
In [20]: # Замена значений "gasoline" на "petrol" в столбце 'FuelType'
df['FuelType'] = df['FuelType'].replace('gasoline', 'petrol')
```

Результаты анализа категориальных признаков:

- Среди наиболее дорогих моделей авто - SUV, для них медианное значение 8500 евро.
- gl наиболее дорогая модель авто, 19 тысяч евро
- коробка автомат дороже ручного коробки 5500 vs 2700
- гибриды дороже всего почти вдвое дороже электроавтомобилей
- машины которые не ремонтировались дороже машин после ремонта
- заменили значения gasoline на petrol

Анализ подготовленных данных. Оптимизация & проверка мультиколлинеарности.

```
In [21]: df.info()
df.head(5)
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Int64Index: 292123 entries, 1 to 354368
Data columns (total 9 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Price            292123 non-null  int64
1   VehicleType      284182 non-null  object
2   Gearbox          286663 non-null  object
3   Power            292123 non-null  int64
4   Model            281113 non-null  object
5   Kilometer        292123 non-null  int64
6   FuelType         277403 non-null  object
7   Repaired         249198 non-null  object
8   Lifetime         292123 non-null  float64
dtypes: float64(1), int64(3), object(5)
memory usage: 22.3+ MB
```

```
Out[21]:
```

	Price	VehicleType	Gearbox	Power	Model	Kilometer	FuelType	Repaired	Lifetime
1	18300	coupe	manual	190	NaN	125000	petrol	yes	4.898015
2	9800	suv	auto	163	grand	125000	petrol	NaN	11.616701
3	1500	small	manual	75	golf	150000	petrol	no	14.792608
4	3600	small	manual	69	fabia	90000	petrol	no	7.748118
5	650	sedan	manual	102	3er	150000	petrol	yes	20.509240

```
In [22]: cat_columns = df.select_dtypes(exclude='number').columns.tolist()

# Приведение категориальных признаков к типу category
for col in cat_columns:
    df[col] = df[col].astype('category')
```

```
In [23]: # Оптимизация числовых типов данных
def optimize_memory_usage(df: pd.DataFrame, print_size: bool=True) -> pd.DataFrame:
    """
    Function optimizes memory usage in dataframe
    df: pd.DataFrame - data table
    print_size: bool - display of optimization results
    return pd.DataFrame - amount of optimized memory
    """
    numerics = ['int16', 'int32', 'int64', 'float16', 'float32', 'float64'] # Типы, которые бу...
    # Размер занимаемой памяти до оптимизации (в Мб)
    before_size = df.memory_usage().sum() / 1024**2
    for column in df.columns:
        column_type = df[column].dtypes
        if column_type in numerics:
            column_min = df[column].min()
            column_max = df[column].max()
            if str(column_type).startswith('int'):
                if column_min > np.iinfo(np.int8).min and column_max < np.iinfo(np.int8).max:
                    df[column] = df[column].astype(np.int8)
                elif column_min > np.iinfo(np.int16).min and column_max < np.iinfo(np.int16).m...
                    df[column] = df[column].astype(np.int16)
                elif column_min > np.iinfo(np.int32).min and column_max < np.iinfo(np.int32).m...
                    df[column] = df[column].astype(np.int32)
                elif column_min > np.iinfo(np.int64).min and column_max < np.iinfo(np.int64).m...
                    df[column] = df[column].astype(np.int64)
            else:
                if column_min > np.finfo(np.float32).min and column_max < np.finfo(np.float32)...
                    df[column] = df[column].astype(np.float32)
                else:
                    df[column] = df[column].astype(np.float64)
    # Размер занимаемой памяти после оптимизации (в Мб)
    after_size = df.memory_usage().sum() / 1024**2
    if print_size: print('Размер использования памяти: до {:.2f} Mb - после {:.2f} Mb ({:.1f}...
                        .format(before_size, after_size, 100 * (before_size - after_size) / b...
    return df
```

```
In [24]: optimize_memory_usage(df)
```

Размер использования памяти: до 12.83 Mb – после 7.25 Mb (43.4%)

Out [24]:

	Price	VehicleType	Gearbox	Power	Model	Kilometer	FuelType	Repaired	Lifetime
1	18300	coupe	manual	190	NaN	125000	petrol	yes	4.898015
2	9800	suv	auto	163	grand	125000	petrol	NaN	11.616701
3	1500	small	manual	75	golf	150000	petrol	no	14.792608
4	3600	small	manual	69	fabia	90000	petrol	no	7.748118
5	650	sedan	manual	102	3er	150000	petrol	yes	20.509241
...
354360	3999	wagon	manual	3	3er	150000	petrol	no	10.921287
354362	3200	sedan	manual	225	leon	150000	petrol	yes	11.882273
354366	1199	convertible	auto	101	fortwo	125000	petrol	no	16.010952
354367	9200	bus	manual	102	transporter	150000	petrol	no	20.049282
354368	3400	wagon	manual	100	golf	150000	petrol	NaN	13.801506

292123 rows × 9 columns

In [25]:

```
df.info()
df.head()

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Int64Index: 292123 entries, 1 to 354368
Data columns (total 9 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Price           292123 non-null  int16
1   VehicleType     284182 non-null  category
2   Gearbox         286663 non-null  category
3   Power           292123 non-null  int16
4   Model           281113 non-null  category
5   Kilometer       292123 non-null  int32
6   FuelType        277403 non-null  category
7   Repaired        249198 non-null  category
8   Lifetime        292123 non-null  float32
dtypes: category(5), float32(1), int16(2), int32(1)
memory usage: 7.3 MB
```

Out [25]:

	Price	VehicleType	Gearbox	Power	Model	Kilometer	FuelType	Repaired	Lifetime
1	18300	coupe	manual	190	NaN	125000	petrol	yes	4.898015
2	9800	suv	auto	163	grand	125000	petrol	NaN	11.616701
3	1500	small	manual	75	golf	150000	petrol	no	14.792608
4	3600	small	manual	69	fabia	90000	petrol	no	7.748118
5	650	sedan	manual	102	3er	150000	petrol	yes	20.509241

In [26]:

```
#Обозначим список столбцов с числовыми данными
numerical_columns_corr = df.select_dtypes(include=['number'], exclude=['object']).columns.tolist()

#Изучим корреляцию
phik_overview = df.phik_matrix(interval_cols=numerical_columns_corr)
plot_correlation_matrix(phik_overview.values, x_labels=phik_overview.columns, y_labels=phik_overview.columns,
                        vmin=0, vmax=1, color_map='Greens', title=r'correlation $\phi_K$', font_size=10)

plt.tight_layout()
```



Итоги анализа корреляции данных после EDA:

- 292123 наблюдений после введения корректировок
- Провели оптимизацию размера данных. Размер использования памяти: до 12.83 Mb - после 7.81 Mb (39.1%)
- Корреляционная матрица демонстрирует высокие уровни корреляции для признаков lifetime & model, что может быть обусловлено машинами выпускавшимися в старые периоды времени. При этом довольно умеренный уровень корреляции между lifetime и целевым признаком.

Итоги раздела :

Итоги загрузки и первичного изучения данных:

- Всего 354369 строк

Признаки:

- **DateCrawled** — дата скачивания анкеты из базы
- **VehicleType** — тип автомобильного кузова
- **RegistrationYear** — год регистрации автомобиля
- **Gearbox** — тип коробки передач
- **Power** — мощность (л. с.)

- **Model** — модель автомобиля
- **Kilometer** — пробег (км)
- **RegistrationMonth** — месяц регистрации автомобиля
- **FuelType** — тип топлива
- **Brand** — марка автомобиля
- **Repaired** — была машина в ремонте или нет
- **DateCreated** — дата создания анкеты
- **NumberOfPictures** — количество фотографий автомобиля
- **PostalCode** — почтовый индекс владельца анкеты (пользователя)
- **LastSeen** — дата последней активности пользователя

Целевой признак:

- **Price** — цена (евро)

Выбросы, пропуски и дубликаты:

- NumberOfPictures состоит из нулевых значений, столбец не несет информационной важности
- Замечены аномалии RegistrationYear, Power
- Пропуски данных в столбцах VehicleType, Gearbox, Model, FuelType, Repaired
- 4 полных дубликата

Результаты предобработки:

- Убрано 4 дубликата
- Оставили только машины которые после 1960 и до 2016 года
- Убрали признаки 'DateCrawled', 'DateCreated', 'LastSeen', 'PostalCode', 'RegistrationMonth', 'Brand', 'RegistrationYear', 'NumberOfPictures', 'RegistrationDate'

Результаты анализа и корректировки аномалий количественных признаков:

- Средняя цена 4416 евро, при этом максимальная 20000 евро. Минимальная цена 0. Возможно аномалия, которую нужно исправить
- Судя по графику разброса признака Power 75% значений имеют менее 143 лошадиных сил, при этом есть много аномалий которые стоит определить и удалить.
- Среднее значение километража 128331 км, учитывая, что среди наблюдений есть очень старые машины, то такое вполне вероятно.
- Средний возраст машины 12,6 лет, при этом есть машины которым более 30 лет. Присутствуют аномалии с отрицательным возрастом, их надо удалить
- Заменяли нулевые значения стоимости машин на медианные
- Убрали значения аномальных значения в категории power
- Исключили наблюдения с отрицательным lifetime

Результаты анализа и корректировки аномалий категориальных признаков:

- Среди наиболее дорогих моделей авто - SUV, для них медианное значение 8500 евро.
- gl наиболее дорогая модель авто, 19 тысяч евро
- коробка автомат дороже ручного коробки 5500 vs 2700
- гибриды дороже всего почти вдвое дороже электромобилей
- машины которые не ремонтировались дороже машин после ремонта
- в столбце FuelType заменили значения gasoline на petrol

Итоги анализа корреляции данных после EDA:

- 292123 наблюдений осталось после проведения корректировок
- Провели оптимизацию размера данных. Размер использования памяти: до 22.29 Mb - после 17.27 Mb (22.5%)
- Корреляционная матрица демонстрирует высокие уровни корреляции для признаков vehicle type & model, что может быть обусловлено модельным рядом марки

Обучение моделей

Подготовка пайплайна

```
In [27]: X = df.drop(['Price'], axis=1)
y = df['Price']
```

```
#Разделения данных на обучающую выборку и тестовую выборку
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X,
    y,
    test_size = TEST_SIZE,
    random_state = RANDOM_STATE)

X_train.shape, X_test.shape
```

```
Out[27]: ((219092, 8), (73031, 8))
```

```
In [28]: ohe_columns = cat_columns.copy()
num_columns = X_train.select_dtypes(exclude='category').columns.tolist()

print('ohe_columns:', ohe_columns)
print('num_columns:', num_columns)
```

```
ohe_columns: ['VehicleType', 'Gearbox', 'Model', 'FuelType', 'Repaired']
num_columns: ['Power', 'Kilometer', 'Lifetime']
```

```
In [29]: ord_columns = cat_columns.copy()
print('ord_columns:', ord_columns)
```

```
# Сбор уникальных категорий для каждого столбца
unique_categories = [X_train[col].dropna().unique().tolist() for col in ord_columns]
print('unique_categories:', unique_categories)
```

```
ord_columns: ['VehicleType', 'Gearbox', 'Model', 'FuelType', 'Repaired']
unique_categories: [['wagon', 'bus', 'small', 'sedan', 'suv', 'other', 'convertible', 'coup
e'], ['manual', 'auto'], ['astra', 'roomster', 'cordoba', 'e_klasse', 'golf', 'forester', 'ome
ga', 'polo', 'other', '147', 'altea', 'fortwo', 'colt', '3er', 'zafira', 'transporter', 'a6',
'corsa', 'a_klasse', 'leon', 'tucson', 'berlingo', '500', 'a4', 'ka', 'lupo', 'focus', 'galax
y', 'passat', 'seicento', '3_reihe', 'discovery', 'twingo', 'slk', 'insignia', '5er', 'ibiza',
'touran', 'panda', 'v50', '1er', 'megane', 'toledo', '4_reihe', 'carisma', 'i_reihe', 'punto',
'cooper', '2_reihe', 'caddy', 'c_klasse', '80', 'mondeo', 'voyager', 'fiesta', 'swift', 'kug
a', 'sharan', 'up', 'a3', 'laguna', 'clubman', 'v_klasse', 'transit', 'phaeton', 'micra', 'c
2', '1_reihe', 'bora', 'beetle', 'jetta', 'm_klasse', 'yaris', 'ducato', 'mx_reihe', 'kangoo',
'b_klasse', 'z_reihe', 'c5', '5_reihe', 'arosa', 'xc_reihe', 'fabia', '6_reihe', 'croma', 'cr_
reihe', 'signum', 'civic', 'impieza', '156', 'bravo', 'clio', 'clk', 'almera', 'qashqai', 'aur
is', 'grand', 'a2', 'logan', 'primera', 'r19', 'kaefer', 'superb', 'touareg', 'vectra', 'octav
ia', 'calibra', 'sprinter', 'accord', 'eos', 'lancer', 'move', 'x_reihe', 'defender', 'v70',
'ptcruiser', 'outlander', 'scenic', 'meriva', 'agila', 'modus', 'fox', 'v40', 'x_trail', 's_ma
x', 'spider', '850', 'avensis', 'one', 'verso', 'fourfour', 's_klasse', 'c_max', '601', 'picant
o', 'rio', 'c_reihe', 'tt', 'c4', 'c1', 'freelander', 'a5', 'alhambra', '7er', 'getz', 'aygo',
'a1', 'tiguan', 'combo', 'corolla', 'g_klasse', '100', 'espace', 'wrangler', 'jazz', 'note',
'doblo', '200', 'tigra', 'sorento', 'escort', 'scirocco', 'charade', 'legacy', 'pajero', 'cl',
'juke', 'boxster', 'kadett', 'cx_reihe', 'ceed', 'c3', 'cuore', 'roadster', 'jimny', 'fusion',
'sirion', 'rav', 'santa', 'rx_reihe', 'sportage', 'sander', 'mii', 'cc', '9000', 'a8', 'nubir
a', 'stilo', 's60', 'cherokee', 'x_type', 'vito', 'matiz', 'vivaro', 'duster', 'viano', 'exe
o', 'crossfire', 'antara', 'justy', '900', 'carnival', 'navara', 'mustang', 'q7', '300c', 'lan
os', 'sl', 'delta', 'serie_2', 'yeti', 'range_rover_sport', 'terios', 'galant', 's_type', '15
9', 'glk', 'elefantino', 'aveo', 'q5', 'ypsilon', 'citigo', 'lybra', '90', 'kalos', 'spark',
'niva', 'range_rover', 'v60', 'captiva', 'cayenne', '145', 'm_reihe', 'gl', 'samara', 'kappa',
'amarok', 'musa', '6er', 'lodgy', 'serie_3', 'b_max', 'i3', '911', 'materia', 'q3', 'kalina',
'rangerover'], ['petrol', 'electric', 'lpg', 'cng', 'other', 'hybrid'], ['no', 'yes']]
```

```
In [30]: #Пайплайн для подготовки категориальных признаков под модель LinearRegression
ohe_pipe = Pipeline(
    [
        (
            'simpleImputer_ohe',
            SimpleImputer(missing_values=np.nan, strategy='most_frequent')
        ),
        (
            'ohe',
            OneHotEncoder(drop='first', handle_unknown='error', sparse_output=False)
        )
    ]
)
```

```

    ]
)

# Пайплайн для подготовки категориальных признаков под модель DecisionTree
ord_pipe = Pipeline(
    [
        (
            'simpleImputer_ord',
            SimpleImputer(missing_values=np.nan, strategy='most_frequent')
        ),
        (
            'ord',
            OrdinalEncoder(categories=unique_categories,
                           handle_unknown='use_encoded_value', unknown_value=-1)
        )
    ]
)

# Пайплайн для подготовки пропущенных категорий для модели LightGBM
imput_pipe = Pipeline(
    [
        (
            'simpleImputer',
            SimpleImputer(missing_values=np.nan, strategy='most_frequent')
        )
    ]
)

```

```

In [31]: #Пайплайн для подготовки данных с OneHotEncoder для модели LinearRegression
data_preprocessor = ColumnTransformer(
    [
        ('ohe', ohe_pipe, ohe_columns),
        ('num', MinMaxScaler(), num_columns)
    ],
    remainder='passthrough'
)

# Пайплайн для подготовки данных с OrdinalEncoder для модели DecisionTreeRegressor
data_preprocessor_ord = ColumnTransformer(
    [
        ('ord', ord_pipe, ord_columns)
    ],
    remainder='passthrough'
)

```

```

In [32]: #Итоговый пайплайн
pipe_final = Pipeline(
    [
        ('preprocessor', 'passthrough'),
        ('models', LinearRegression())
    ]
)

# Словарь гиперпараметров моделей
parameters = [
    # Словарь для модели DecisionTreeRegressor
    {
        'models': [DecisionTreeRegressor(random_state=RANDOM_STATE)],
        'models__max_depth': range(1, 12),
        'models__max_features': range(0, 7),
        'preprocessor': [data_preprocessor_ord]
    },
    # Словарь для модели LinearRegression
    {
        'models': [LinearRegression()],
        'preprocessor': [data_preprocessor]
    },
    # Словарь для модели LGBMRegressor
    {
        'models': [lgb.LGBMRegressor(random_state=RANDOM_STATE)],
        'models__num_leaves': range(1, 70),
        'models__n_estimators': range(100, 500),
        'preprocessor': ['passthrough']
    }
]

```

```
In [33]: rmse_scorer = make_scorer(root_mean_squared_error, greater_is_better=False)

randomized_search = RandomizedSearchCV(
    pipe_final,
    parameters,
    scoring = rmse_scorer,
    random_state=RANDOM_STATE,
    n_jobs=-1
)
```

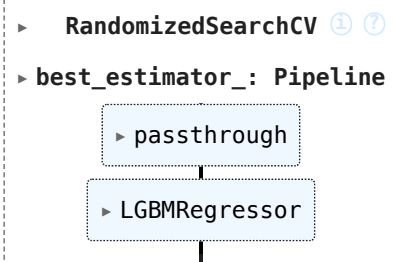
```
In [34]: X_train.info()

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Int64Index: 219092 entries, 138275 to 147876
Data columns (total 8 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype  
---  ---
0   VehicleType     213093 non-null  category
1   Gearbox         214972 non-null  category
2   Power           219092 non-null  int16   
3   Model           210849 non-null  category
4   Kilometer       219092 non-null  int32   
5   FuelType        208087 non-null  category
6   Repaired        187008 non-null  category
7   Lifetime        219092 non-null  float32  
dtypes: category(5), float32(1), int16(1), int32(1)
memory usage: 5.0 MB
```

```
In [35]: %%time
randomized_search.fit(X_train, y_train)

CPU times: user 21.5 s, sys: 4.02 s, total: 25.5 s
Wall time: 26 s
```

```
Out[35]:
```



```

  ▸ RandomizedSearchCV ⓘ ⓘ
    ▸ best_estimator_: Pipeline
      ▸ passthrough
      ▸ LGBMRegressor

```

```
In [36]: print('Лучшая модель и её параметры:\n\n', randomized_search.best_estimator_)
print('Метрика лучшей модели на кросс-валидации:', randomized_search.best_score_)
```

Лучшая модель и её параметры:

```
Pipeline(steps=[('preprocessor', 'passthrough'),
                  ('models',
                   LGBMRegressor(n_estimators=441, num_leaves=48,
                                random_state=42))])
```

Метрика лучшей модели на кросс-валидации: -1548.6692335606485

Результаты обучения:

- Обучение моделей заняло 25 секунд
- Лучшая модель LGBMRegressor(n_estimators=441, num_leaves=48, random_state=42))]
- Метрика RMSE на лучшей модели 1548

Анализ моделей

```
In [37]: pd.set_option('display.max_colwidth', None)

result = pd.DataFrame(randomized_search.cv_results_)
display(result[
    ['rank_test_score', 'param_models', 'mean_test_score', 'params']
].sort_values('rank_test_score').head())
```

	rank_test_score	param_models	mean_test_score	params
0	1	LGBMRegressor(random_state=42)	-1548.669234	{'preprocessor': 'passthrough', 'models__num_leaves': 48, 'models__n_estimators': 441, 'models': LGBMRegressor(random_state=42)}
1	2	LGBMRegressor(random_state=42)	-1551.250089	{'preprocessor': 'passthrough', 'models__num_leaves': 55, 'models__n_estimators': 327, 'models': LGBMRegressor(random_state=42)}
4	3	LGBMRegressor(random_state=42)	-1555.162652	{'preprocessor': 'passthrough', 'models__num_leaves': 39, 'models__n_estimators': 411, 'models': LGBMRegressor(random_state=42)}
3	4	LGBMRegressor(random_state=42)	-1560.507469	{'preprocessor': 'passthrough', 'models__num_leaves': 69, 'models__n_estimators': 176, 'models': LGBMRegressor(random_state=42)}
7	5	LGBMRegressor(random_state=42)	-1564.029659	{'preprocessor': 'passthrough', 'models__num_leaves': 30, 'models__n_estimators': 419, 'models': LGBMRegressor(random_state=42)}

```
In [38]: %%time

#Подготовим предсказания
y_pred = randomized_search.predict(X_test)
print("RMSE:", root_mean_squared_error(y_test, y_pred))
```

RMSE: 1534.66128568504
CPU times: user 1.95 s, sys: 47.5 ms, total: 2 s
Wall time: 347 ms

Результат тестирования:

- Результат тестирования на лучшей модели RMSE - 1534, что удовлетворяет требованию заказчика
- Время работы 2 сек

Анализ важности признаков

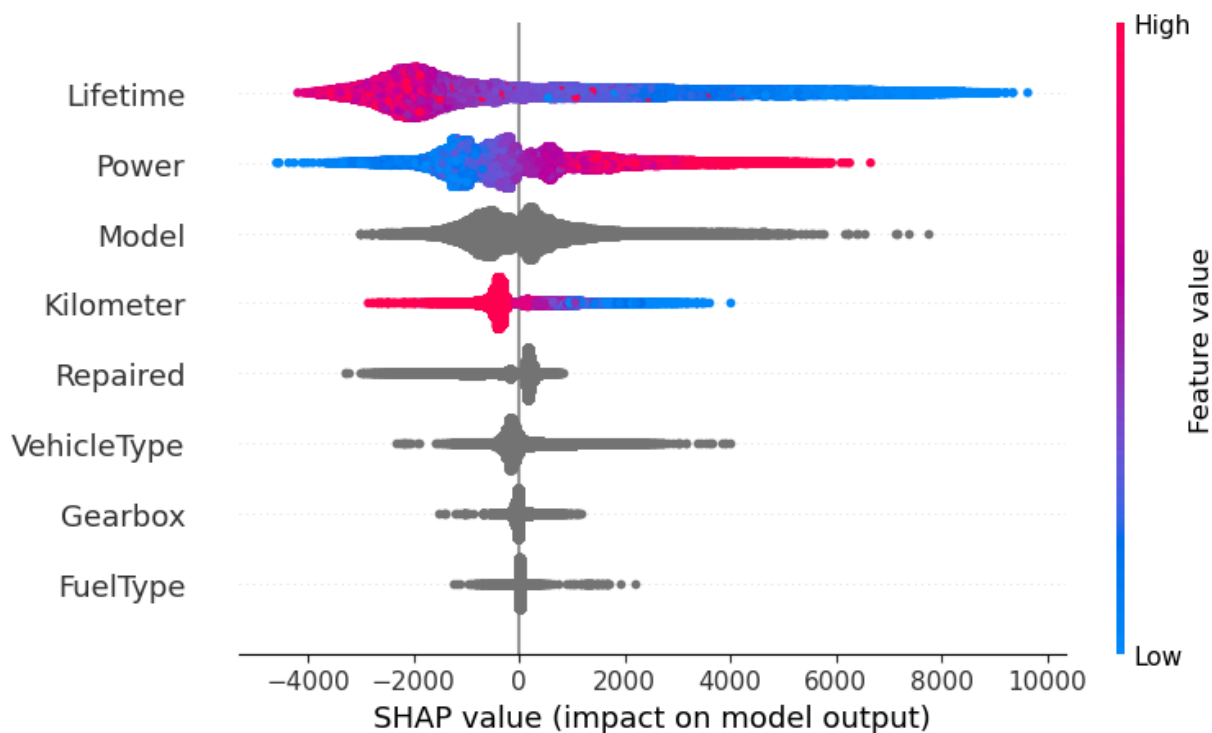
```
In [39]: feature_names = X_test.columns

# Инициализация explainer с параметром feature_perturbation
explainer = shap.TreeExplainer(randomized_search.best_estimator_.named_steps['models'], feature_names=feature_names)

# Получение SHAP значений
shap_values = explainer.shap_values(X_test)

# Преобразование в объект Explanation
shap_values_exp = shap.Explanation(values=shap_values, base_values=explainer.expected_value, feature_names=feature_names)

# Визуализация
shap.summary_plot(shap_values_exp, X_test)
```



Результаты анализа влияния признаков:

- Чем старше машина, тем ниже стоимость
- Высокая мощность машины повышает цену
- Чем больше километраж на машине, тем ниже цена

Результаты проекта

Итоги раздела :

Итоги загрузки и первичного изучения данных:

- Всего 354369 строк

Признаки:

- **DateCrawled** — дата скачивания анкеты из базы
- **VehicleType** — тип автомобильного кузова
- **RegistrationYear** — год регистрации автомобиля
- **Gearbox** — тип коробки передач
- **Power** — мощность (л. с.)
- **Model** — модель автомобиля
- **Kilometer** — пробег (км)
- **RegistrationMonth** — месяц регистрации автомобиля
- **FuelType** — тип топлива
- **Brand** — марка автомобиля
- **Repaired** — была машина в ремонте или нет
- **DateCreated** — дата создания анкеты
- **NumberOfPictures** — количество фотографий автомобиля
- **PostalCode** — почтовый индекс владельца анкеты (пользователя)
- **LastSeen** — дата последней активности пользователя

Целевой признак:

- **Price** — цена (евро)

Выбросы, пропуски и дубликаты:

- NumberOfPictures состоит из нулевых значений, столбец не несет информационной важности
- Замечены аномалии RegistrationYear, Power
- Пропуски данных в столбцах VehicleType, Gearbox, Model, FuelType, Repaired
- 4 полных дубликата

Результаты предобработки:

- Убрано 4 дубликата
- Оставили только машины которые после 1960 и до 2016 года
- Убрали признаки 'DateCrawled', 'DateCreated', 'LastSeen', 'PostalCode', 'RegistrationMonth', 'Brand', 'RegistrationYear', 'NumberOfPictures', 'RegistrationDate'

Результаты анализа и корректировки аномалий количественных признаков:

- Средняя цена 4416 евро, при этом максимальная 20000 евро. Минимальная цена 0. Возможно аномалия, которую нужно исправить
- Судя по графику разброса признака Power 75% значений имеют менее 143 лошадиных сил, при этом есть много аномалий которые стоит определить и удалить.
- Среднее значение километража 128331 км, учитывая, что среди наблюдений есть очень старые машины, то такое вполне вероятно.
- Средний возраст машины 12,6 лет, при этом есть машины которым более 30 лет. Присутствуют аномалии с отрицательным возрастом, их надо удалить
- Заменяли нулевые значения стоимости машин на медианные
- Убрали значения аномальные значения в категории power
- Исключили наблюдения с отрицательным lifetime

Результаты анализа и корректировки аномалий категориальных признаков:

- Среди наиболее дорогих моделей авто - SUV, для них медианное значение 8500 евро.
- gl наиболее дорогая модель авто, 19 тысяч евро
- коробка автомат дороже ручного коробки 5500 vs 2700
- гибриды дороже всего почти вдвое дороже электромобилей
- машины которые не ремонтировались дороже машин после ремонта
- в столбце FuelType заменили значения gasoline на petrol

Итоги анализа корреляции данных после EDA:

- 292123 наблюдений осталось после проведения корректировок
- Провели оптимизацию размера данных. Размер использования памяти: до 12.83 Mb - после 7.81 Mb (39.1%)
- Корреляционная матрица демонстрирует высокие уровни корреляции для признаков lifetime & model, что может быть обусловлено машинами выпускавшимися в старые периоды времени. При этом довольно умеренный уровень корреляции между lifetime и целевым признаком.

Результаты обучения:

- Обучение моделей заняло 16 минут
- Лучшая модель LGBMRegressor(n_estimators=441, num_leaves=48, random_state=42)]])
- Метрика RMSE на лучшей модели 1548

Результат тестирования:

- Результат тестирования на лучшей модели RMSE - 1534, что удовлетворяет требованию заказчика
- Время работы 2.58 сек

Результаты анализа влияния признаков:

- Чем старше машина, тем ниже стоимость
- Высокая мощность машины повышает цену
- Чем больше километраж на машине, тем ниже цена