

**Московский государственный технический университет им. Н.Э.  
Баумана**  
**Факультет «Информатика и системы управления»**  
**Кафедра «Системы обработки информации и управления»**



**Отчет по лабораторной работе № 5**  
**«Линейные модели, SVM и деревья решений»**  
**По курсу “ Методы машинного обучения”**

Выполнил:  
Житенев В.Г.  
Студент группы ИУ5-22М

**Москва, 2020**

Цель лабораторной работы: изучение линейных моделей, SVM и деревьев решений.

## Выполнение работы

```
[63] import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
import plotly.express as px
```

## Первичная обработка датасета

Урезанная версия датасета использовалась для анализа в PKN<sup>№1</sup>, в данной лабораторной используется датасет, содержащий на 100 наблюдений больше. Различия между версиями заключается только в количестве наблюдений, поэтому информация о всех остальных особенностях датасета заранее известна:

- В датасете отсутствуют пробелы;
- В названиях двух колонок присутствуют пробелы, которые необходимо будет убрать;

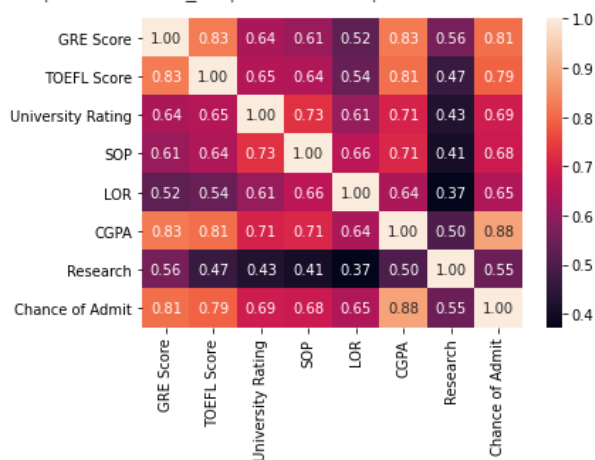
```
[64] data1 = pd.read_csv('/content/drive/My Drive/Colab Notebooks/MMO/5/Admission_Predict_Ver1.1.csv', sep=',')
```

```
[65] strippedCols = dict()
for name in data1.columns:
    strippedCols[name] = name.strip()
data1 = data1.rename(strippedCols, axis='columns', errors='raise')
data1.describe()
```

	Serial No.	GRE Score	TOEFL Score	University Rating	SOP	LOR	CGPA	Research	Chance of Admit
count	500.000000	500.000000	500.000000	500.000000	500.000000	500.000000	500.000000	500.000000	500.000000
mean	250.500000	316.472000	107.192000	3.114000	3.374000	3.484000	8.576440	0.560000	0.72174
std	144.481833	11.295148	6.081868	1.143512	0.991004	0.92545	0.604813	0.496884	0.14114
min	1.000000	290.000000	92.000000	1.000000	1.000000	1.00000	6.800000	0.000000	0.34000
25%	125.750000	308.000000	103.000000	2.000000	2.500000	3.00000	8.127500	0.000000	0.63000
50%	250.500000	317.000000	107.000000	3.000000	3.500000	3.50000	8.560000	1.000000	0.72000
75%	375.250000	325.000000	112.000000	4.000000	4.000000	4.00000	9.040000	1.000000	0.82000
max	500.000000	340.000000	120.000000	5.000000	5.000000	5.00000	9.920000	1.000000	0.97000

```
[66] import seaborn as sbrn
sbrn.heatmap(data1[data1.columns[1:]].corr(), annot=True, fmt='.2f')
```

<matplotlib.axes.\_subplots.AxesSubplot at 0x7f451bfb40b8>



В качестве целевого параметра будем использовать шансы кандидата на поступление - Chance of Admit. Самый наибольший коэффициент корреляции с переменной CGPA

## Линейная модель

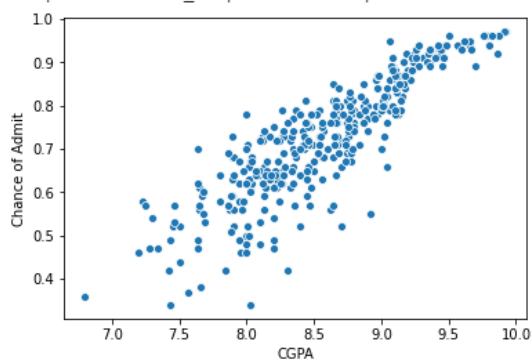
**Цель построения модели:** Определение значения целевой переменной (Chance of Admit - шанс на поступление кандидата) от значения переменной CGPA (оценка за бакалавриат GPA).

### Разделение выборки и построение линейной модели

```
[93] from sklearn.model_selection import train_test_split
      X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(data1['CGPA'], \
                                                         data1['Chance of Admit'], \
                                                         test_size=0.3, \
                                                         random_state=42)
```

```
[94] sbrn.scatterplot(x=X_train, y=y_train)
```

↳ <matplotlib.axes.\_subplots.AxesSubplot at 0x7f451bcb0240>



```
[95] x_array = X_train
      y_array = y_train
```

Аналитически восстановим зависимость

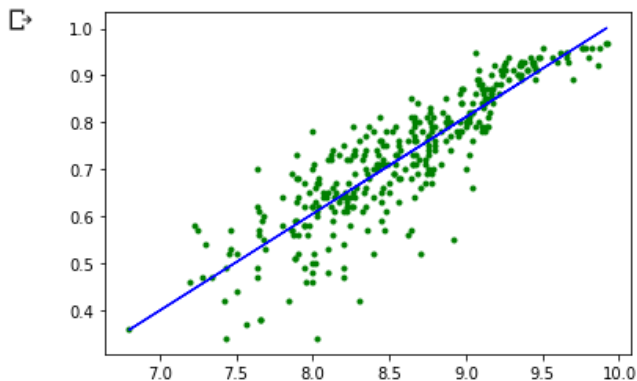
```
[96] # Аналитическое вычисление коэффициентов регрессии
      def analytic_regr_coef(x_array : np.ndarray,
                             y_array : np.ndarray):
          x_mean = np.mean(x_array)
          y_mean = np.mean(y_array)
          var1 = np.sum([(x-x_mean)**2 for x in x_array])
          cov1 = np.sum([(x-x_mean)*(y-x_mean) for x, y in zip(x_array, y_array)])
          b1 = cov1 / var1
          b0 = y_mean - b1*x_mean
          return b0, b1

      # Вычисление значений y на основе x для регрессии
      def y_regr(x_array : np.ndarray, b0: float, b1: float) -> np.ndarray:
          res = [b1*x+b0 for x in x_array]
          return res
```

```
[97] b0, b1 = analytic_regr_coef(x_array= x_array, y_array= y_array )
      print ('Коэффициенты, полученные аналитически:\nb0 = ', b0, '\nb1 = ', b1)
```

↳ Коэффициенты, полученные аналитически:  
b0 = -1.0441352652694436  
b1 = 0.20617424104989948

```
[98] y_array_regr = y_regr( x_array, b0, b1)
plt.plot( x_array, y_array, 'g.')
plt.plot( x_array, y_array_regr, 'b', linewidth=1.2)
plt.show()
```



В качестве метода регуляризации линейной регрессии будем использовать L2 регуляризацию:

$$L = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k (y_i - \sum_{j=0}^N b_j \cdot x_{ij})^2 + \alpha \cdot \sum_{j=0}^N |b_j| \rightarrow \min$$

В качестве гиперпараметра модели будем использовать коэффициент регуляризации.

```
[73] from sklearn.linear_model import Ridge
from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error, r2_score
# Метод создания модели линейной регрессии с применением
# гребневой регуляризации на обучающей выборке.
# Проверка качества модели на тестовой выборке.
def RidgeLinearRegression( alpha,\
                           X_train,\
                           X_test, \
                           y_train, \
                           y_test):
    print('Linear Regression. Ridge regulariztaion')
    print('Alpha=', alpha)
    print ('Theoretical\tb0=', b0, '\tb1=', b1)
    reg4 = Ridge( alpha=alpha ).fit( np.array(X_train).reshape(-1, 1), np.array(y_train) )
    print('Results \tb0=', reg4.intercept_, ' \tb1=', reg4.coef_)
    predictResults=reg4.predict(X=np.array(X_test).reshape(-1,1) )
    print('MSE: \t', mean_squared_error(y_test, predictResults))
    print('MAE: \t', mean_absolute_error(y_test, predictResults))
    print('R2: \t', r2_score(y_true=np.array(y_test), y_pred=predictResults ))
    return reg4
```

Обучение модели с коэффициентом регуляризации равным 10.

```
[99] testLR = RidgeLinearRegression(10, X_train, X_test, y_train, y_test)
```

```
Linear Regression. Ridge regulariztaion
Alpha= 10
Theoretical      b0= -1.0441352652694436      b1= 0.20617424104989948
Results          b0= -0.911698261998257      b1= [0.19073211]
MSE:            0.004389331192428343
MAE:            0.0465762650745534
R2:             0.789400341212476
```

## Поиск наилучшего гиперпараметра. Применение кросс-валидации и решетчатого поиска

```
[75] from sklearn.model_selection import ShuffleSplit
      from sklearn.model_selection import GridSearchCV
```

В качестве метода кросс-валидации будем использовать Shuffle Split - случайное "перемешивание" выборки.

```
[76] kf = ShuffleSplit(n_splits=5, test_size=0.3).split(data1['CGPA'], data1['Chance of Admit'])
```

Гиперпараметр будет изменяться от 0.1 до 11 с шагом 0.1

```
[77] n_range = np.array(np.arange(0.1, 11., 0.1))
      tuned_parameters = [{'alpha': n_range}]
      tuned_parameters
```

```
↳ [{'alpha': array([ 0.1,  0.2,  0.3,  0.4,  0.5,  0.6,  0.7,  0.8,  0.9,  1. ,  1.1,
                    1.2,  1.3,  1.4,  1.5,  1.6,  1.7,  1.8,  1.9,  2. ,  2.1,  2.2,
                    2.3,  2.4,  2.5,  2.6,  2.7,  2.8,  2.9,  3. ,  3.1,  3.2,  3.3,
                    3.4,  3.5,  3.6,  3.7,  3.8,  3.9,  4. ,  4.1,  4.2,  4.3,  4.4,
                    4.5,  4.6,  4.7,  4.8,  4.9,  5. ,  5.1,  5.2,  5.3,  5.4,  5.5,
                    5.6,  5.7,  5.8,  5.9,  6. ,  6.1,  6.2,  6.3,  6.4,  6.5,  6.6,
                    6.7,  6.8,  6.9,  7. ,  7.1,  7.2,  7.3,  7.4,  7.5,  7.6,  7.7,
                    7.8,  7.9,  8. ,  8.1,  8.2,  8.3,  8.4,  8.5,  8.6,  8.7,  8.8,
                    8.9,  9. ,  9.1,  9.2,  9.3,  9.4,  9.5,  9.6,  9.7,  9.8,  9.9,
                    10. , 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7, 10.8, 10.9])}]
```

В качестве параметра оценки качества модели будем использовать MSE

```
[78] clf_gs = GridSearchCV(Ridge(), tuned_parameters, cv=kf, scoring='neg_mean_squared_error')
      clf_gs.fit(np.array(data1['CGPA']).reshape(-1,1), np.array(data1['Chance of Admit']).reshape(-1,1) )
```

```
↳ GridSearchCV(cv=<generator object BaseShuffleSplit.split at 0x7f451bd9bc50>,
               error_score=nan,
               estimator=Ridge(alpha=1.0, copy_X=True, fit_intercept=True,
                               max_iter=None, normalize=False, random_state=None,
                               solver='auto', tol=0.001),
               iid='deprecated', n_jobs=None,
               param_grid=[{'alpha': array([ 0.1,  0.2,  0.3,  0.4,  0.5,  0.6,  0.7,  0.8,  0.9,  1. ,  1.1,
                    1.2,  1.3,  1.4,  1.5,  1.6,  1.7,  1.8,  1.9,...
                    4.5,  4.6,  4.7,  4.8,  4.9,  5. ,  5.1,  5.2,  5.3,  5.4,  5.5,
                    5.6,  5.7,  5.8,  5.9,  6. ,  6.1,  6.2,  6.3,  6.4,  6.5,  6.6,
                    6.7,  6.8,  6.9,  7. ,  7.1,  7.2,  7.3,  7.4,  7.5,  7.6,  7.7,
                    7.8,  7.9,  8. ,  8.1,  8.2,  8.3,  8.4,  8.5,  8.6,  8.7,  8.8,
                    8.9,  9. ,  9.1,  9.2,  9.3,  9.4,  9.5,  9.6,  9.7,  9.8,  9.9,
                    10. , 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7, 10.8, 10.9])}]},
               pre_dispatch='2*n_jobs', refit=True, return_train_score=False,
               scoring='neg_mean_squared_error', verbose=0)
```

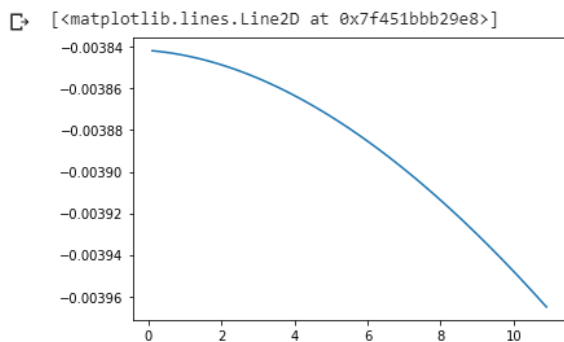
```
[79] clf_gs.best_estimator_
```

```
↳ Ridge(alpha=0.1, copy_X=True, fit_intercept=True, max_iter=None,
        normalize=False, random_state=None, solver='auto', tol=0.001)
```

```
[80] clf_gs.best_score_
```

```
↳ -0.003841789571721732
```

```
[81] import matplotlib.pyplot as pyplot
pyplot.plot(n_range, clf_gs.cv_results_['mean_test_score'])
```



Таким образом, наилучшее качество модели достигается при Гиперпараметре равном 0.1. Увеличение гиперпараметра способствует увеличению MSE.

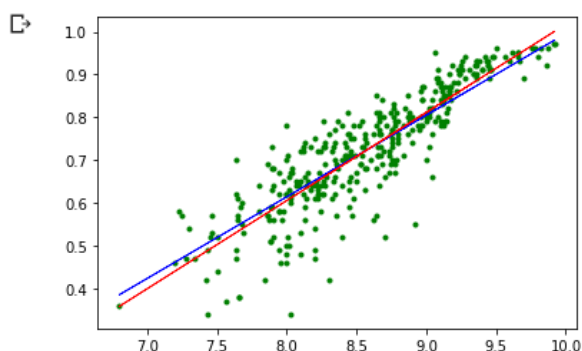
### Сравнение моделей

```
[101] testLR = RidgeLinearRegression(10, X_train, X_test, y_train, y_test)
print('\n')
optimalLR = RidgeLinearRegression(0.1, X_train, X_test, y_train, y_test)
```

```
Linear Regression. Ridge regulariztaion
Alpha= 10
Theoretical      b0= -1.0441352652694436      b1= 0.20617424104989948
Results          b0= -0.911698261998257      b1= [0.19073211]
MSE:             0.004389331192428343
MAE:             0.0465762650745534
R2:              0.789400341212476
```

```
Linear Regression. Ridge regulariztaion
Alpha= 0.1
Theoretical      b0= -1.0441352652694436      b1= 0.20617424104989948
Results          b0= -1.0427048291681977      b1= [0.20600745]
MSE:             0.004304930211816103
MAE:             0.04556950135904033
R2:              0.7934498915742559
```

```
[102] regrOld = y_regr( x_array, testLR.intercept_, testLR.coef_)
regrNew = y_regr( x_array, optimalLR.intercept_, optimalLR.coef_)
plt.plot( x_array, y_array, 'g.')
plt.plot( x_array, regrOld, 'b', linewidth=0.8)
plt.plot( x_array, regrNew, 'r', linewidth=0.8)
plt.show()
```



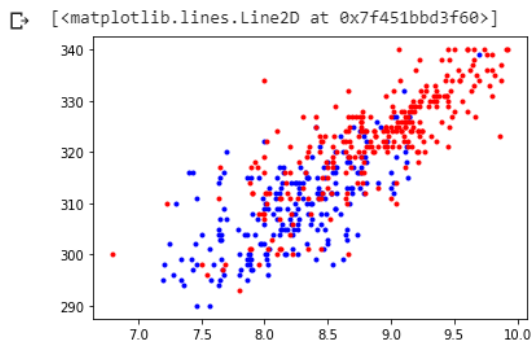
**Вывод:** Таким образом, с помощью решетчатого поиска и кросс-валидации удалось подобрать наиболее оптимальный гиперпараметр для построения линейной регрессии с L2 регуляризацией. Несмотря на то, что построенная ранее модель имеет высокую точность, подобранная модель имеет точность выше (показатель среднего квадрата ошибки хоть и отличается в 6 знаке после запятой, но все равно меньше). Наиболее оптимальный гиперпараметр альфа = 0.1

# SVM

**Цель построения модели:** Предсказание наличия у кандидата исследовательского опыта (переменная `Research`) от количества баллов по тестированию GRE (переменная `GRE Score`) и баллов бакалавриата GPA (переменная `CGPA`).

```
[84] highLevel = data1[data1['Research'] == 1]
      lowLevel = data1[data1['Research'] == 0]
```

```
[85] plt.plot( lowLevel['CGPA'], lowLevel['GRE Score'], 'b.')
      plt.plot( highLevel['CGPA'], highLevel['GRE Score'], 'r.')
```



На графике красным отмечены кандидаты с исследовательским опытом работы, тогда как синим - без него.

```
[86] data1[['CGPA', 'GRE Score']].describe()
```

[<matplotlib.figure.Figure at 0x7f451bbd3f60>]

	CGPA	GRE Score
<b>count</b>	500.000000	500.000000
<b>mean</b>	8.576440	316.472000
<b>std</b>	0.604813	11.295148
<b>min</b>	6.800000	290.000000
<b>25%</b>	8.127500	308.000000
<b>50%</b>	8.560000	317.000000
<b>75%</b>	9.040000	325.000000
<b>max</b>	9.920000	340.000000

Однако, перед началом построения модели необходимо выполнить масштабирование, так как выбранные переменные распределены в различных пределах. Масштабирование существенно влияет на качество моделей SVM.

## Масштабирование данных

```
[87] from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
      data2 = data1[['CGPA', 'GRE Score', 'Research']]
      sc1 = MinMaxScaler()
      sc1_data = sc1.fit_transform(data2)
```



```
[88] data3 = pd.DataFrame(data=sc1_data, columns=data2.columns.values)
      data3.head()
```

```

      CGPA  GRE Score  Research
0  0.913462      0.94      1.0
1  0.663462      0.68      1.0
2  0.384615      0.52      1.0
3  0.599359      0.64      1.0
4  0.451923      0.48      0.0

```

## Разделение выборки и построение модели

```
[120] X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(data3[['CGPA', 'GRE Score']], \
                                                         data3['Research'], \
                                                         test_size=0.3, \
                                                         random_state=42)
```

```
[141] import matplotlib.pyplot as plt
      %matplotlib inline
      # Методы визуализации
      def make_meshgrid(x, y, h=.02):
          """Create a mesh of points to plot in

          Parameters
          -----
          x: data to base x-axis meshgrid on
          y: data to base y-axis meshgrid on
          h: stepsize for meshgrid, optional

          Returns
          -----
          xx, yy : ndarray
          """
          x_min, x_max = x.min() - 1, x.max() + 1
          y_min, y_max = y.min() - 1, y.max() + 1
          xx, yy = np.meshgrid(np.arange(x_min, x_max, h),
                               np.arange(y_min, y_max, h))
          return xx, yy

      def plot_contours(ax, clf, xx, yy, **params):
          """Plot the decision boundaries for a classifier.

          Parameters
          -----
          ax: matplotlib axes object
          clf: a classifier
          xx: meshgrid ndarray
          yy: meshgrid ndarray
          params: dictionary of params to pass to contourf, optional
          """
          Z = clf.predict(np.c_[xx.ravel(), yy.ravel()])
          Z = Z.reshape(xx.shape)
          #Можно проверить все ли метки классов предсказываются
          #print(np.unique(Z))
          out = ax.contourf(xx, yy, Z, **params)
          return out
```



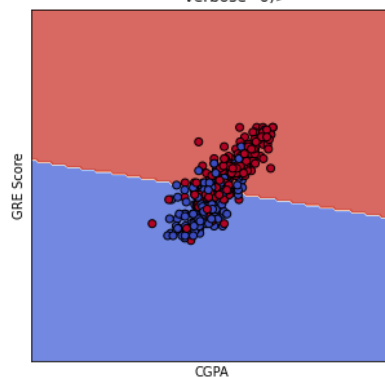
```
def plot_clf(clf):
    title = clf.__repr__
    clf.fit(np.array(X_train), \
            np.array(y_train))
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(5,5))
    X0, X1 = X_train.iloc[:,0], X_train.iloc[:, 1]
    xx, yy = make_meshgrid(X0, X1)
    plot_contours(ax, clf, xx, yy, cmap=plt.cm.coolwarm, alpha=0.8)
    ax.scatter(X0, X1, c=y_train, cmap=plt.cm.coolwarm, edgecolors='k')
    ax.set_xlim(xx.min(), xx.max())
    ax.set_ylim(yy.min(), yy.max())
    ax.set_xlabel('CGPA')
    ax.set_ylabel('GRE Score')
    ax.set_xticks(())
    ax.set_yticks(())
    ax.set_title(title)
    plt.show()
```

[140] X\_train

После того, как добавлены методы визуализации, необходимо обучить модель и вычислить метрики для оценки ее качества. В качестве гиперпараметра будем использовать C - коэффициент регуляризации. В качестве метрики - среднее квадратическое отклонение.

```
[142] from sklearn.svm import LinearSVC
      SvrModel = LinearSVC(C=1, max_iter=1000)
      plot_clf(SvrModel)
      SvrModel.fit(X_train, y_train)
      y_pred = SvrModel.predict( np.array(X_test) )
      print('\nMSE:', mean_squared_error(y_test, y_pred))
```

```
<bound method BaseEstimator.__repr__ of LinearSVC(C=1, class_weight=None, dual=True, fit_intercept=True,
intercept_scaling=1, loss='squared_hinge', max_iter=1000,
multi_class='ovr', penalty='l2', random_state=None, tol=0.0001,
verbose=0)>
```



MSE: 0.23333333333333334

Таким образом, была построена модель с гиперпараметром C=1. СКО = 2,(3). Для того, чтобы улучшить качество модели, необходимо подобрать гиперпараметр C с использованием кросс-валидации и решетчатого поиска.

### Поиск наилучшего гиперпараметра. Применение кросс-валидации и решетчатого поиска

```
[133] kf = ShuffleSplit(n_splits=5, test_size=0.3).split(data3[['CGPA', 'GRE Score']], data3['Research'])
```

```
[134] n_range = np.array(np.arange(0.1 ,5 ,0.05 ))
      tuned_parameters = [{'C': n_range}]
      tuned_parameters
```

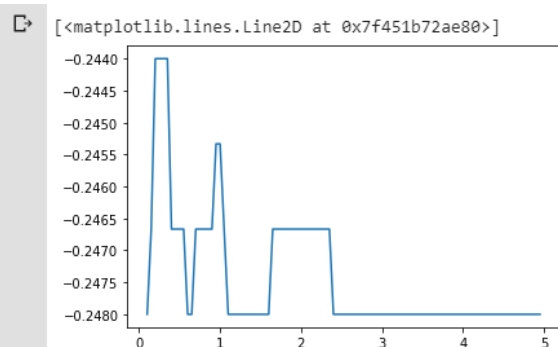
```
[{'C': array([0.1 , 0.15, 0.2 , 0.25, 0.3 , 0.35, 0.4 , 0.45, 0.5 , 0.55, 0.6 ,
0.65, 0.7 , 0.75, 0.8 , 0.85, 0.9 , 0.95, 1. , 1.05, 1.1 , 1.15,
1.2 , 1.25, 1.3 , 1.35, 1.4 , 1.45, 1.5 , 1.55, 1.6 , 1.65, 1.7 ,
1.75, 1.8 , 1.85, 1.9 , 1.95, 2. , 2.05, 2.1 , 2.15, 2.2 , 2.25,
2.3 , 2.35, 2.4 , 2.45, 2.5 , 2.55, 2.6 , 2.65, 2.7 , 2.75, 2.8 ,
2.85, 2.9 , 2.95, 3. , 3.05, 3.1 , 3.15, 3.2 , 3.25, 3.3 , 3.35,
3.4 , 3.45, 3.5 , 3.55, 3.6 , 3.65, 3.7 , 3.75, 3.8 , 3.85, 3.9 ,
3.95, 4. , 4.05, 4.1 , 4.15, 4.2 , 4.25, 4.3 , 4.35, 4.4 , 4.45,
4.5 , 4.55, 4.6 , 4.65, 4.7 , 4.75, 4.8 , 4.85, 4.9 , 4.95])}]
```

```
[135] clf_gs = GridSearchCV(LinearSVC(max_iter= 10000), tuned_parameters, cv=kf, scoring='neg_mean_squared_error')
      clf_gs.fit(np.array(data3[['CGPA', 'GRE Score']]), np.array(data3['Research']))
```

```
GridSearchCV(cv=<generator object BaseShuffleSplit.split at 0x7f451bbec5c8>,
             error_score=nan,
             estimator=LinearSVC(C=1.0, class_weight=None, dual=True,
                                fit_intercept=True, intercept_scaling=1,
                                loss='squared_hinge', max_iter=10000,
                                multi_class='ovr', penalty='l2',
                                random_state=None, tol=0.0001, verbose=0),
             iid='deprecated', n_jobs=None,
             param_grid=[{'C': array([0.1 , 0.15, ...,
1.75, 1.8 , 1.85, 1.9 , 1.95, 2. , 2.05, 2.1 , 2.15, 2.2 , 2.25,
2.3 , 2.35, 2.4 , 2.45, 2.5 , 2.55, 2.6 , 2.65, 2.7 , 2.75, 2.8 ,
2.85, 2.9 , 2.95, 3. , 3.05, 3.1 , 3.15, 3.2 , 3.25, 3.3 , 3.35,
3.4 , 3.45, 3.5 , 3.55, 3.6 , 3.65, 3.7 , 3.75, 3.8 , 3.85, 3.9 ,
3.95, 4. , 4.05, 4.1 , 4.15, 4.2 , 4.25, 4.3 , 4.35, 4.4 , 4.45,
4.5 , 4.55, 4.6 , 4.65, 4.7 , 4.75, 4.8 , 4.85, 4.9 , 4.95])}],
             pre_dispatch='2*n_jobs', refit=True, return_train_score=False,
             scoring='neg_mean_squared_error', verbose=0)
```

```
[136] print(clf_gs.best_estimator_, '\nMSE:', -clf_gs.best_score_)
      print('\n')
      pyplot.plot(n_range, clf_gs.cv_results_['mean_test_score'])
```

```
LinearSVC(C=0.25000000000000006, class_weight=None, dual=True,
          fit_intercept=True, intercept_scaling=1, loss='squared_hinge',
          max_iter=10000, multi_class='ovr', penalty='l2', random_state=None,
          tol=0.0001, verbose=0)
MSE: 0.244
```



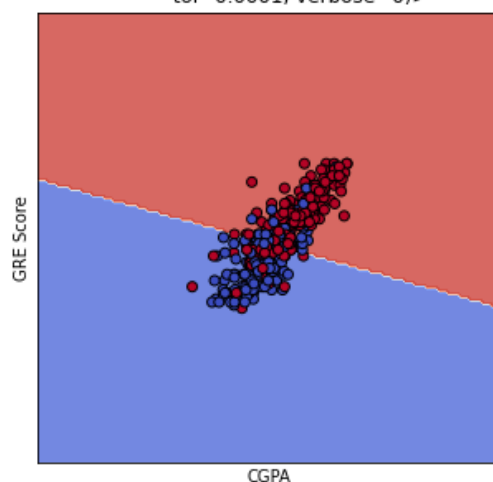
По результатам решетчатого поиска и кросс-валидации, было установлено, что наилучшее качество модель достигает при  $C = 0.25$ . Необходимо сравнить результаты с моделью, построенной ранее.

## Сравнение моделей

```
[143] from sklearn.metrics import accuracy_score, f1_score
      plot_cl(clf_gs.best_estimator_)
      y_predBest = clf_gs.best_estimator_.predict( np.array(X_test) )
      print('\nMSE:', mean_squared_error(y_test, y_predBest))
      print('Accuracy:', accuracy_score(y_test, y_predBest))
      print('F1: ', f1_score(y_test, y_predBest))
      plot_cl(SvrModel)
      y_predSvrModel = SvrModel.predict( np.array(X_test) )
      print('\nMSE:', mean_squared_error(y_test, y_predSvrModel))
      print('Accuracy:', accuracy_score(y_test, y_predSvrModel))
      print('F1: ', f1_score(y_test, y_predSvrModel))
```

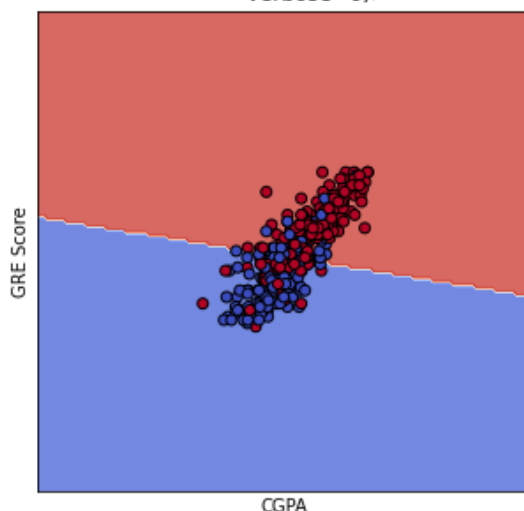


```
<bound method BaseEstimator._repr__ of LinearSVC(C=0.25000000000000006, class_weight=None, dual=True, fit_intercept=True, intercept_scaling=1, loss='squared_hinge', max_iter=10000, multi_class='ovr', penalty='l2', random_state=None, tol=0.0001, verbose=0)>
```



MSE: 0.24  
Accuracy: 0.76  
F1: 0.7857142857142857

```
<bound method BaseEstimator._repr__ of LinearSVC(C=1, class_weight=None, dual=True, fit_intercept=True, intercept_scaling=1, loss='squared_hinge', max_iter=1000, multi_class='ovr', penalty='l2', random_state=None, tol=0.0001, verbose=0)>
```



MSE: 0.23333333333333334  
Accuracy: 0.7666666666666667  
F1: 0.7904191616766467

**Вывод:** Метод SVR очень чувствителен к тестовой выборке - даже один случайный выброс может повлиять на результаты. На тестовых данных лучший результат показала модель, построенная с гиперпараметром  $C=1$  (точность незначительно превосходит точность модели, построенной с использованием кросс-валидации). Однако, для решения поставленной задачи лучше использовать модель, полученную после кросс-валидации, так как она показала лучший результат на пяти различных тестовых выборках ( $C=0.25$ ).

## Дерево решений

**Цель построения модели:** Классификация шансов на поступление кандидата (малые, средние и высокие шансы на поступление) по результатам всех входных данных (баллы бакалавриата, баллы за различные виды тестирования, рейтинг университета и тд.)

Для начала необходимо классифицировать данные из датасета. Каждому кандидату присвоить класс в зависимости от его шансов на поступление

```
[145] data1['Chance of Admit'].describe()
30-60 60-80 80-100
```

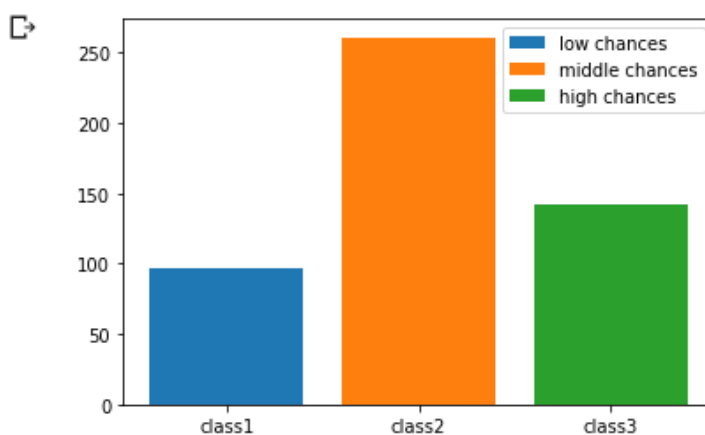
```
count    500.00000
mean      0.72174
std       0.14114
min       0.34000
25%       0.63000
50%       0.72000
75%       0.82000
max       0.97000
Name: Chance of Admit, dtype: float64
```

Исходя из описательной статистики следует следующее: наибольший шанс на поступление = 0.97, наименьший = 0.34. Следующая классификация будет наиболее оптимальной:

- Наименьшие шансы: 0.30 - 0.60
- Средние шансы: 0.60 - 0.80
- Наибольшие шансы: 0.80 - 1.00

```
[154] # Метод создания переменной класса
def createClassification( bottomLimit, middleLimit ):
    classes = []
    for val in data1['Chance of Admit'].values:
        if val <= bottomLimit:
            classes.append(1)
        else:
            if val <= middleLimit:
                classes.append(2)
            else:
                classes.append(3)
    return pd.DataFrame(data= np.c_[data1, classes], columns= np.append(data1.columns.values, 'Class'))
```

```
[168] data4 = createClassification(0.6, 0.8)
data4 = data4.drop(['Chance of Admit'], axis=1)
ax0 = plt.subplot()
class1 = data4[data4['Class']==1].shape[0]
class2 = data4[data4['Class']==2].shape[0]
class3 = data4[data4['Class']==3].shape[0]
ax0.bar( 'class1', class1, label='low chances')
ax0.bar( 'class2', class2, label='middle chances')
ax0.bar( 'class3', class3, label='high chances')
ax0.legend()
plt.show()
```



```
[187] data4.head()
```

	Serial No.	GRE Score	TOEFL Score	University Rating	SOP	LOR	CGPA	Research	Class
0	1.0	337.0	118.0	4.0	4.5	4.5	9.65	1.0	3.0
1	2.0	324.0	107.0	4.0	4.0	4.5	8.87	1.0	2.0
2	3.0	316.0	104.0	3.0	3.0	3.5	8.00	1.0	2.0
3	4.0	322.0	110.0	3.0	3.5	2.5	8.67	1.0	2.0
4	5.0	314.0	103.0	2.0	2.0	3.0	8.21	0.0	2.0

Таким образом, числовая переменная `Chance of Admit` была заменена категориальной переменной `class`. Распределение по классам показало, что у большинства кандидатов имеются средние шансы на поступление, меньше кандидатов с высокими, в меньшинстве - кандидаты с низкими шансами.

### Построение модели

Разделение выборки

```
[191] X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(data4.loc[:, 'GRE Score':'Research'], \
                                                    data4['Class'], \
                                                    test_size=0.3, \
                                                    random_state=42)
```

Обучение модели с гиперпараметрами:

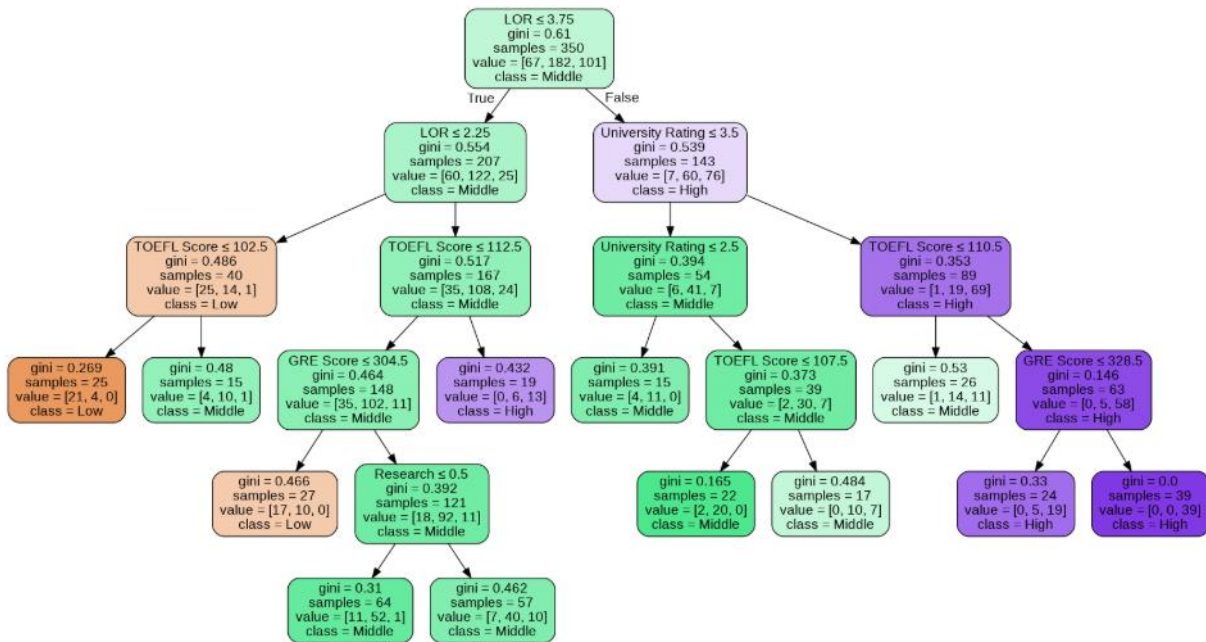
- `max_depth=5`
- `max_features=0.2`
- `min_samples_leaf=0.04`

```
[215] from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
testDTModel = DecisionTreeClassifier(random_state=1, max_depth=5, max_features=0.2, min_samples_leaf=0.04)
testDTModel.fit(X_train, y_train)
```

```
DecisionTreeClassifier(ccp_alpha=0.0, class_weight=None, criterion='gini',
                        max_depth=5, max_features=0.2, max_leaf_nodes=None,
                        min_impurity_decrease=0.0, min_impurity_split=None,
                        min_samples_leaf=0.04, min_samples_split=2,
                        min_weight_fraction_leaf=0.0, presort='deprecated',
                        random_state=1, splitter='best')
```

```
[218] # Метод визуализации дерева в формате PNG
# необходимо для иллюстрации больших деревьев
def get_png_tree(tree_model_param, feature_names_param):
    dot_data = StringIO()
    export_graphviz(tree_model_param, out_file=dot_data, feature_names=feature_names_param,
                    filled=True, rounded=True, special_characters=True,
                    class_names=['Low', 'Middle', 'High'])
    graph = pydotplus.graph_from_dot_data(dot_data.getvalue())
    return graph.create_png()
```

```
[219] from IPython.display import Image
from sklearn.externals.six import StringIO
import pydotplus
Image(get_png_tree(testDTModel, np.array(data4.loc[:, 'GRE Score':'Research'].columns)), height="500")
```



Оценка качества построенной модели

```
[256] from sklearn.metrics import precision_score, recall_score

testDTModel_predict = testDTModel.predict(np.array(X_test))
print('F1: \t\t', f1_score(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict, average= 'weighted'))
print('Precision: \t', precision_score(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict, average= 'weighted') )
print('Recall: \t', recall_score(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict , average= 'weighted') )
print('MSE: \t\t', mean_squared_error(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict) )
```

```
F1: 0.7589341919969694
Precision: 0.762375478927203
Recall: 0.76
MSE: 0.24
```

Поиск наилучшего гиперпараметра. Применение кросс-валидации и решетчатого поиска

```
[251] kf = ShuffleSplit(n_splits=5, test_size=0.3).split(data4.loc[:, 'GRE Score':'Research'], data4['Class'])
```

```
[252] params = {
    'max_depth': [3, 4, 5, 6],
    'min_samples_leaf': [0.04, 0.06, 0.08],
    'max_features': [0.2, 0.4, 0.6, 0.8]
}
```

```
[253] grid_1 = GridSearchCV(estimator=DecisionTreeClassifier(random_state=1),
    param_grid= params, scoring='neg_mean_squared_error', cv=kf)
grid_1.fit(data4.loc[:, 'GRE Score':'Research'], data4['Class'])
```

```
GridSearchCV(cv=<generator object BaseShuffleSplit.split at 0x7f4516677938>,
  error_score=nan,
  estimator=DecisionTreeClassifier(ccp_alpha=0.0, class_weight=None,
    criterion='gini', max_depth=None,
    max_features=None,
    max_leaf_nodes=None,
    min_impurity_decrease=0.0,
    min_impurity_split=None,
    min_samples_leaf=1,
    min_samples_split=2,
    min_weight_fraction_leaf=0.0,
    presort='deprecated',
    random_state=1, splitter='best'),
  iid='deprecated', n_jobs=None,
  param_grid={'max_depth': [3, 4, 5, 6],
    'max_features': [0.2, 0.4, 0.6, 0.8],
    'min_samples_leaf': [0.04, 0.06, 0.08]},
  pre_dispatch='2*n_jobs', refit=True, return_train_score=False,
  scoring='neg_mean_squared_error', verbose=0)
```



```
[257] grid_1.best_estimator_, -grid_1.best_score_
```

```
(DecisionTreeClassifier(ccp_alpha=0.0, class_weight=None, criterion='gini',  
                        max_depth=3, max_features=0.8, max_leaf_nodes=None,  
                        min_impurity_decrease=0.0, min_impurity_split=None,  
                        min_samples_leaf=0.08, min_samples_split=2,  
                        min_weight_fraction_leaf=0.0, presort='deprecated',  
                        random_state=1, splitter='best'), 0.19866666666666666)
```

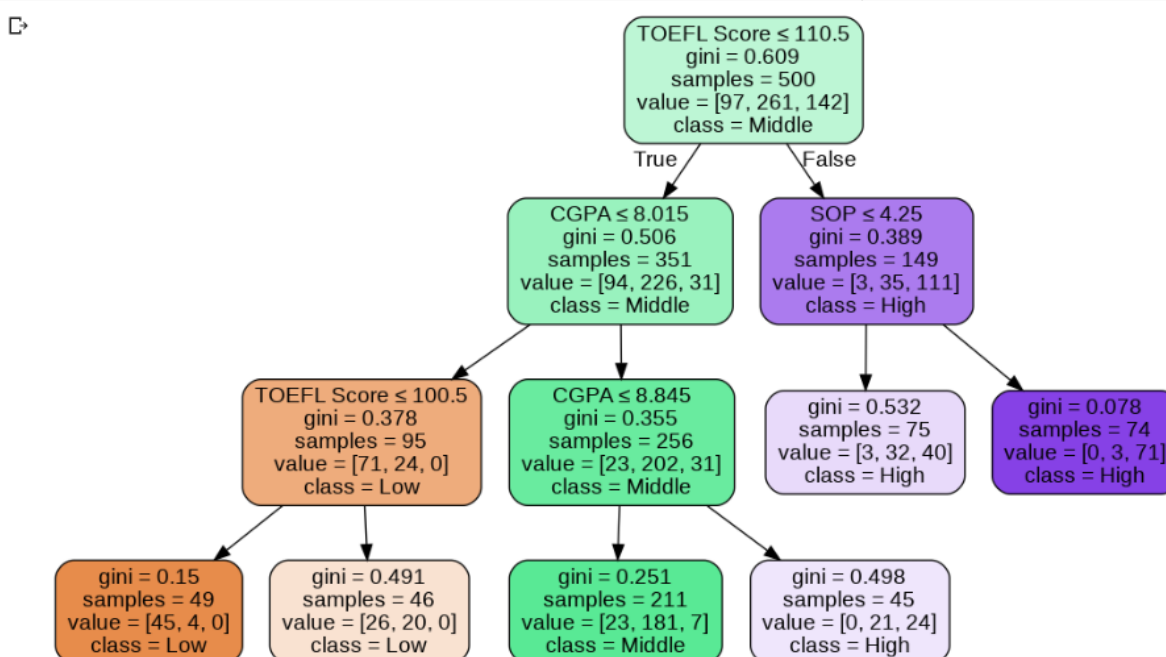
В результате кросс-валидации и решетчатого поиска была найдена наилучшая модель со следующими гиперпараметрами:

- max\_depth=3
- max\_features=0.8
- min\_samples\_leaf=0.08

### Сравнение моделей

Визуализация полученного дерева.

```
[262] Image(get_png_tree(grid_1.best_estimator_, np.array(data4.loc[:, 'GRE Score':'Research'].columns)), height="500")
```



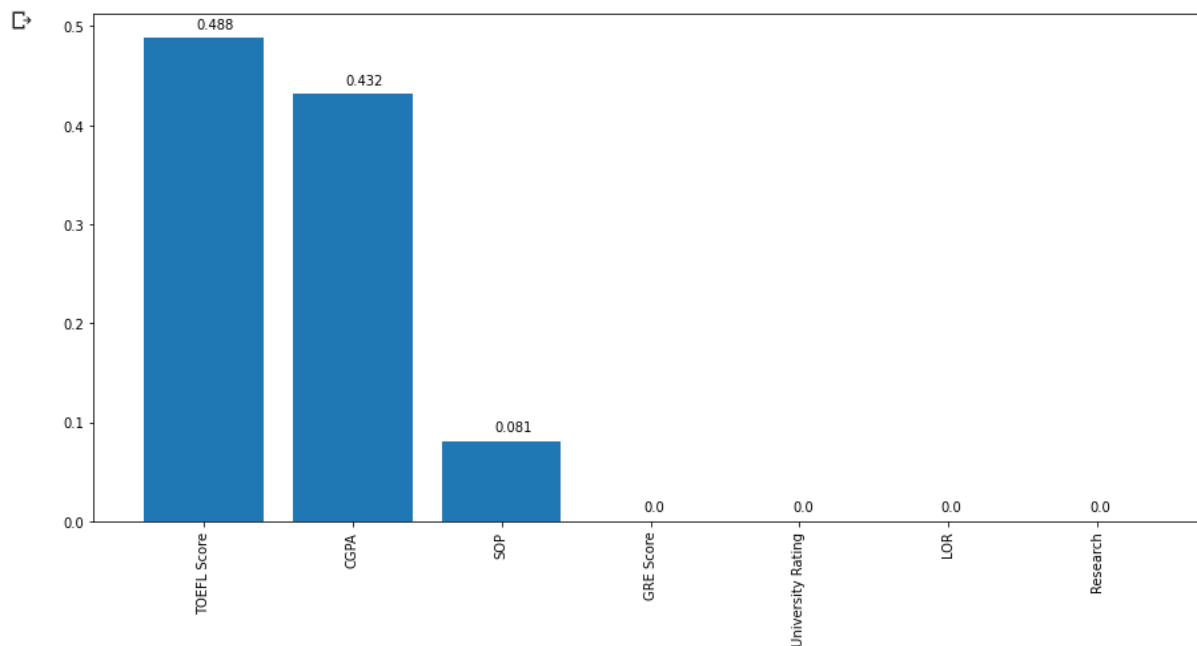
Рассмотрим распределение значимости среди переменных в полученной модели.

```
[258] from operator import itemgetter
```

```
def draw_feature_importances(tree_model, X_dataset, figsize=(15,7)):
    """
    Вывод важности признаков в виде графика
    """
    # Сортировка значений важности признаков по убыванию
    list_to_sort = list(zip(X_dataset.columns.values, tree_model.feature_importances_))
    sorted_list = sorted(list_to_sort, key=itemgetter(1), reverse = True)
    # Названия признаков
    labels = [x for x,_ in sorted_list]
    # Важности признаков
    data = [x for _,x in sorted_list]
    # Вывод графика
    fig, ax = plt.subplots(figsize=figsize)
    ind = np.arange(len(labels))
    plt.bar(ind, data)
    plt.xticks(ind, labels, rotation='vertical')
    # Вывод значений
    for a,b in zip(ind, data):
        plt.text(a-0.05, b+0.01, str(round(b,3)))
    plt.show()
    return labels, data
```

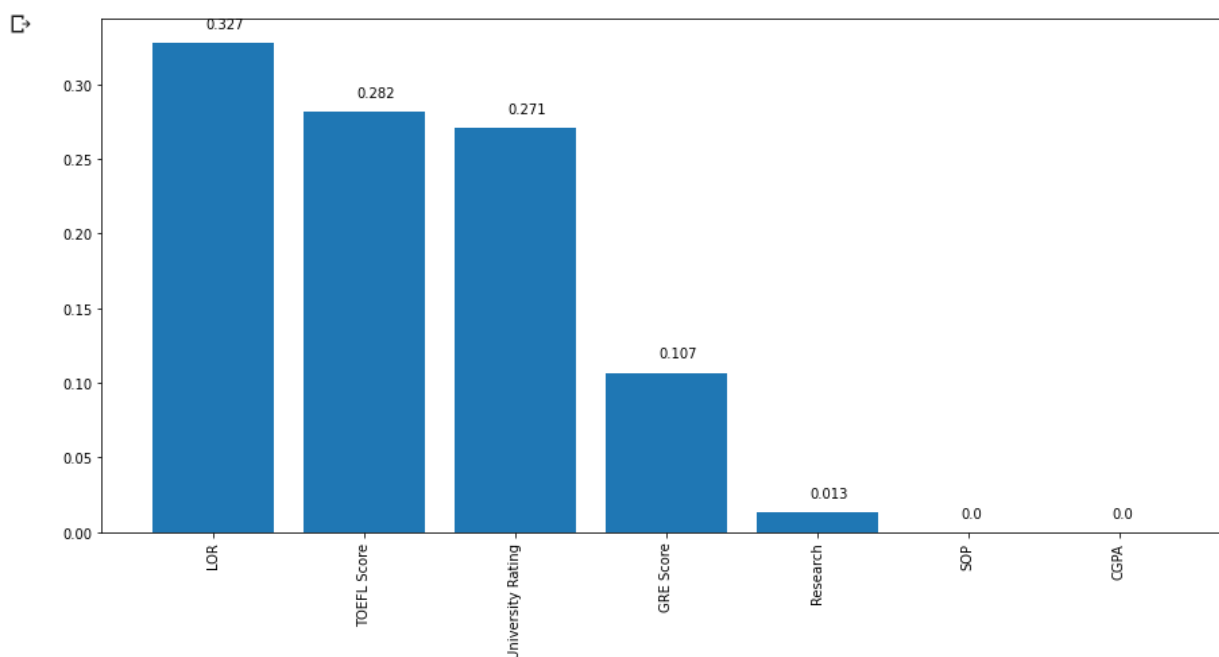


```
[261] _1,_2 = draw_feature_importances(grid_1.best_estimator_, data4.loc[:, 'GRE Score':'Research'])
```



А также для модели, полученной ранее

```
[263] _1,_2 = draw_feature_importances(testDTModel, data4.loc[:, 'GRE Score':'Research'])
```



Для полноты сравнения, рассмотрим метрики качества для двух моделей

```
[266] print('Test Descision Tree Model')
print('F1: \t\t', f1_score(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict, average= 'weighted'))
print('Precision: \t',precision_score(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict, average= 'weighted'))
print('Recall: \t',recall_score(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict , average= 'weighted'))
print('MSE: \t\t',mean_squared_error(y_true= y_test, y_pred= testDTModel_predict) )
bestDTModel_predict = grid_1.best_estimator_.predict(np.array(X_test))
print('\nBest Descision Tree Model')
print('F1: \t\t', f1_score(y_true= y_test, y_pred= bestDTModel_predict, average= 'weighted'))
print('Precision: \t',precision_score(y_true= y_test, y_pred= bestDTModel_predict, average= 'weighted'))
print('Recall: \t',recall_score(y_true= y_test, y_pred= bestDTModel_predict , average= 'weighted'))
print('MSE: \t\t',mean_squared_error(y_true= y_test, y_pred= bestDTModel_predict) )
```

```
↳ Test Descision Tree Model
F1:      0.7589341919969694
Precision: 0.762375478927203
Recall:   0.76
MSE:     0.24

Best Descision Tree Model
F1:      0.8180753786286574
Precision: 0.8358879521016618
Recall:   0.82
MSE:     0.18
```

**Вывод:** Дерево, построенное ранее, имеет большую глубину и в следствии, охватывает большее число параметров (тестовое дерево строится на 5 переменных, тогда как лучшее на 3).

Примечательно следующее: часть значимых параметров в тестовом дереве не имеют никакого влияния в лучшем дереве (переменные LOR, University Rating и GRE Score не имеют никакого влияния в лучшем дереве, тогда как большинство из этих переменных значимы в тестовом).

Несмотря на такую разницу в подходе к построению дерева, лучшее дерево показывает лучшие результаты (СКО меньше на 0.6 меньше чем СКО в тестовом дереве). Подобные различия свойственны теории построения дерева - деревья сильно зависимы от тестовой выборки, однако оказываются вполне пригодными для поставленной задачи.

Таким образом, используя лучшее дерево, можно оценивать шансы кандидатов на поступление рассматривая всего 3 параметра: TOEFL Score, CGPA и SOP.