

# Оценка риска ликвидности портфеля ценных бумаг

Антонова Алена, 695 группа

## Постановка задачи

Прежде чем формулировать цель данной работы, введем несколько необходимых определений:

### **Портфель ценных бумаг (Инвестиционный портфель)**

Вложение в ценные бумаги двух или более видов, управляемое как одно целое. Портфельное инвестирование имеет две основные цели: получение процентного дохода и получение дохода от роста курсовой стоимости, и так как нет ценной бумаги, которая бы удовлетворяла двум свойствам одновременно (приносила бы высокий процентный доход и быстро росла в курсовой стоимости), в портфеле со сбалансированными целями инвестирования присутствуют бумаги с каждым из этих свойств в некотором соотношении. Также существуют односторонний (предпочтение отдается одной из целей) и бессистемный (бумаги приобретаются без явной целевой функции) характер инвестирования. Под **целевой функцией формирования портфеля ценных бумаг** понимается максимизация доходности портфеля за все время его существования. Портфелю также приписывается ряд инвестиционных характеристик, рассмотрим некоторые из них:

### **Срок жизни**

Инвестиционный портфель формируется на определенный срок, в течение которого он поддерживается в состоянии, отвечающем поставленным целям. Также во время жизни в портфеле сохраняются только те бумаги, чьи характеристики удовлетворяют предъявленным требованиям.

### **Ликвидность**

Под этим понятием может подразумеваться способность быстро и без больших потерь обратить весь портфель или его часть в денежные средства или возможность своевременного погашения обязательств, возникших при его формировании.

### **Риск портфеля**

Это инвестиционный риск, связанный с формированием и держанием портфеля ценных бумаг, то есть возможности наступления неблагоприятных обстоятельств, при которых инвестор понесет потери (вызванные вложениями в портфель или привлечением денежных средств для его финансирования). Также различают различные виды риска: временной, инфляционный, кредитный, риск ликвидности и т.д.

### **Риск ликвидности**

Этот риск инвестиционного портфеля связан с возможностью потерь при реализации ценных бумаг. Может проявиться в снижении предполагаемой цены реализации акции или изменения размера комиссионных за её реализацию, а при невозможности реализации выпуска ценных

бумаг на рынке возникает риск неразмещения (невостребованность).

Частым допущением при формировании портфеля является предположение о том, что инвестор в любой момент может совершить на рынке операцию требуемого объема по текущей рыночной цене. Однако в реальности это выполняется далеко не всегда, так как на цену сделки влияет ценовой спрэд (разница между спросом и предложением), при большом значении которого цена сделки может сильно отличаться от средней по рынку. Еще один фактор влияния это объем сделки, к примеру на рынке с низкой активностью крупная сделка займет много времени и приведет к существенному отклонению цены. **Ликвидным** принято считать рынок, в котором сделки большого объема не оказывают ощутимого влияния на рыночную цену. Современные способы оценки рисков не охватывают всех составляющих эти риски аспектов, и стандартные методы расчета *VaR* не учитывают ликвидность инвестиционного портфеля. Для учета рыночной ликвидности нужно понимать, от чего она зависит, и какие составляющие рынка могут помочь для её определения. У ликвидности выделяют три основные характеристики:

- **Вязкость** - отклонение цены сделки от средней рыночной, измеряется с помощью ценового спреда.
- **Глубина** - максимальный объем сделки, осуществление которой не оказывает большого влияния на ситуацию на рынке, её показателем часто является объем торгов. Получается, рынку с большей ликвидностью соответствует большая глубина.
- **Восстановление** - скорость, с которой либо исчезает изменчивость цен, вызванная проведением какой-либо операции, либо устраняется дисбаланс между ценой спроса и предложения. Одним из подходов к измерению восстановления является нахождение скорости восстановления нормальных рыночных условий (спреда и объема заказов) после заключения сделки.

Итак, мы хотим уметь учитывать ликвидность при расчете риска инвестиционного портфеля, в данной работе будет рассмотрен метод оценки рыночной ликвидности описанный в статье М.И. Потравного "[Формирование портфеля ценных бумаг с учетом риска рыночной ликвидности](https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-portfelya-tsennyh-bumag-s-uchetom-riska-rynochnoy-likvidnosti/viewer)" (<https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-portfelya-tsennyh-bumag-s-uchetom-riska-rynochnoy-likvidnosti/viewer>).

## Оценка риска рыночной ликвидности

Одним из самых распространенных подходов при решении подобной задачи является интеграция оценки риска рыночной ликвидности и риска, выявленного по методологии *Value – at – Risk*. Первый вариант реализации такого подхода заключается в расчете стандартного *VaR* и прибавления к нему оценки риска рыночной ликвидности *COL* (Cost Of Liquidity), суммарное значение будет учитывать как ценовой риск, так и риск ликвидности.

$$VaR_{sum} = VaR_{st} + COL$$

Другой подход основан на подсчете *VaR* по измененным данным таким образом, что он уже учитывает риск ликвидности (получаем сразу  $VaR_{sum}$ ), тогда абсолютная оценка риска рыночной ликвидности находится как:

$$COL = VaR_{sum} - VaR_{st}$$

Также можно рассчитать относительную оценку риска рыночной ликвидности, это будет мультипликатор *VaR*:

$$ML = \frac{VaR_{sum}}{VaR_{st}}$$

Дадим обзор модели, реализующей второй подход.

## Модель расчета риска рыночной ликвидности по методологии VaR

Производится расчет риска по измененным данным. Эти данные включают величину спреда или же корректируются другим образом так, чтобы учитывался риск ликвидности (используем свойство вязкости ликвидности). Тогда для исторического способа вводится предположение, что формирование портфеля происходит по цене предложения (не по средней рыночной), а продажа - по цене спроса, таким образом *VaR* будет учитывать спред на рынке. Приведем алгоритм для подобного расчета *VaR* методом исторического моделирования с горизонтом прогнозирования в  $h$  дней:

1. Рассчитывается изменение цены акции за  $h$  дней как логарифм отношения средней цены спроса и предложения в день  $t$  к этой же цене в день  $t - h$

$$U_t = \ln\left(\frac{S_t^{bid} + S_t^{ask}}{S_{t-h}^{bid} + S_{t-h}^{ask}}\right), t \in [0, T - 1]$$

2. Полученный массив  $U$  сортируется в порядке возрастания
3. Для рассматриваемого периода в  $T$  дней и заданного  $\alpha$  находят  $U_t^*$ , такое что только  $\alpha * T$  значений  $U$  меньше  $U_t^*$  ( $(1 - \alpha)$  - доверительный интервал)
4.  $-U_t^*$  - *VaR* позиции, то есть с вероятностью  $(1 - \alpha)$  изменение стоимости актива за  $h$  дней будет  $\leq U_t^*$  (здесь и далее будем брать *VaR* со знаком -, так как это значение рассматривалось в курсе как размер резерва).

Далее можно найти стандартный *VaR* и получить оценки рыночной ликвидности по формулам, описанным выше.

## Практическая часть

В данной части проекта мы реализуем подход, описанный в рассмотренной модели. Для расчета составим портфель из акций 6 крупных технологических компаний России: Газпром, Сбербанк, Qiwi, МТС, Яндекс и Ростелеком. Найдём суммарный  $VaR$  как для всего портфеля, так и для каждого инструмента по отдельности.

```
In [1]: import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

alpha = 0.05
```

## Расчет стандартного VaR

Для нахождения стандартного VaR будем использовать метод исторического моделирования, описанный в [статье \(https://habr.com/ru/post/315154/\)](https://habr.com/ru/post/315154/). Информация о доходностях за период 1 января - 28 апреля 2020 года рассматриваемых компаний взята с сайта [investing.com \(https://ru.investing.com/equities/pharmsynthez-historical-data\)](https://ru.investing.com/equities/pharmsynthez-historical-data).

```
In [2]: classic_var_data = dict.fromkeys(['Gazprom', 'Sberbank', 'Qiwi', 'MTS', 'Yandex', 'Rostelecom'])

classic_var_data['Gazprom'] = pd.read_csv('finmath/data/GAZP.csv')
classic_var_data['Sberbank'] = pd.read_csv('finmath/data/SBER.csv')
classic_var_data['Qiwi'] = pd.read_csv('finmath/data/QIWIDR.csv')
classic_var_data['MTS'] = pd.read_csv('finmath/data/MTSS.csv')
classic_var_data['Yandex'] = pd.read_csv('finmath/data/YNDX.csv')
classic_var_data['Rostelecom'] = pd.read_csv('finmath/data/RTKM.csv')
```

Рассмотрим часть полученных данных:

```
In [3]: for key, company in classic_var_data.items():
        print(key, company[:5], '\n')
```

Gazprom		Дата	Цена	Откр.	Макс.	Мин.	Объём	Изм
. %								
0	28.04.2020	188,50	185,93	190,65	185,76	44,19М	1,19%	
1	27.04.2020	186,29	186,53	188,47	185,69	23,62М	0,31%	
2	24.04.2020	185,71	187,95	187,95	185,10	36,74М	-1,60%	
3	23.04.2020	188,73	189,98	191,59	187,50	39,98М	0,20%	
4	22.04.2020	188,36	181,08	188,55	180,33	48,27М	3,54%	

Sberbank	Дата	Цена	Откр.	Макс.	Мин.	Объём	Из
М. %							
0 28.04.2020	192,80	188,50	194,22	188,17	78,58М	2,06%	
1 27.04.2020	188,90	189,98	190,50	188,43	43,71М	-0,01%	
2 24.04.2020	188,91	189,73	191,65	187,70	55,31М	-1,06%	
3 23.04.2020	190,94	191,99	192,50	188,68	62,76М	0,39%	
4 22.04.2020	190,20	185,01	191,94	184,50	75,36М	2,23%	

Qiwi	Дата	Цена	Откр.	Макс.	Мин.	Объём	Изм. %
0	28.04.2020	901,00	907,00	918,00	900,00	45,35К	-0,17%
1	27.04.2020	902,50	893,50	909,00	887,00	38,80К	1,29%
2	24.04.2020	891,00	920,00	920,00	883,00	32,76К	-2,62%
3	23.04.2020	915,00	905,50	920,00	894,50	36,32К	2,01%
4	22.04.2020	897,00	880,00	905,50	870,00	35,70К	1,59%

MTS	Дата	Цена	Откр.	Макс.	Мин.	Объём	Изм. %
0	28.04.2020	313,50	310,50	319,65	308,70	5,08М	0,67%
1	27.04.2020	311,40	308,00	311,95	307,30	3,10М	1,50%
2	24.04.2020	306,80	313,80	314,10	306,10	3,57М	-2,37%
3	23.04.2020	314,25	312,05	314,25	306,65	3,29М	1,47%
4	22.04.2020	309,70	300,10	312,55	299,45	4,81М	2,55%

Yandex	Дата	Цена	Откр.	Макс.	Мин.	Объём	Изм. %
0	28.04.2020	2.754,8	2.730,2	2.856,8	2.716,4	1,30М	1,47%
1	27.04.2020	2.715,0	2.651,6	2.715,0	2.647,0	793,14К	3,59%
2	24.04.2020	2.621,0	2.634,4	2.655,0	2.606,6	404,82К	-0,74%
3	23.04.2020	2.640,6	2.666,0	2.677,0	2.621,4	506,95К	-0,54%
4	22.04.2020	2.655,0	2.651,6	2.706,8	2.631,2	786,10К	-0,16%

Rostelecom		Дата	Цена	Откр.	Макс.	Мин.	Объём	Изм.
%								
0	28.04.2020	81,90	79,00	82,20	78,71	5,03М	3,51%	
1	27.04.2020	79,12	77,89	79,19	77,50	2,25М	2,25%	
2	24.04.2020	77,38	78,08	79,30	77,28	3,68М	-0,79%	
3	23.04.2020	78,00	78,40	79,05	77,23	2,55М	1,00%	
4	22.04.2020	77,23	76,90	79,10	76,53	3,50М	0,19%	

Начнем с расчета  $VaR_{st}$  для каждого инструмента в отдельности, для этого нам понадобится доходность за день в процентах, которая указана в столбце "Изм. %". Предобработка данных для вычислений:

```
In [4]: for company in classic_var_data.values():
        company['Изм. %'] = [float(val[:-1].replace(',', ' '))]/100 for
        val in company['Изм. %']]
```

Далее отсортируем данные и найдем VaR для заданного  $\alpha$  (как элемент отсортированного массива с индексом  $[\text{period} * \alpha]$ , взятый со знаком  $-$ ).

```
In [5]: period = len(classic_var_data['Gazprom'])

sorted_data = dict.fromkeys(['Gazprom', 'Sberbank', 'Qiwi', 'MTS',
                             'Yandex', 'Rostelecom'])

for company, data in classic_var_data.items():
    sorted_data[company] = np.sort(data['Изм. %'])

coef = int(period*alpha)
```

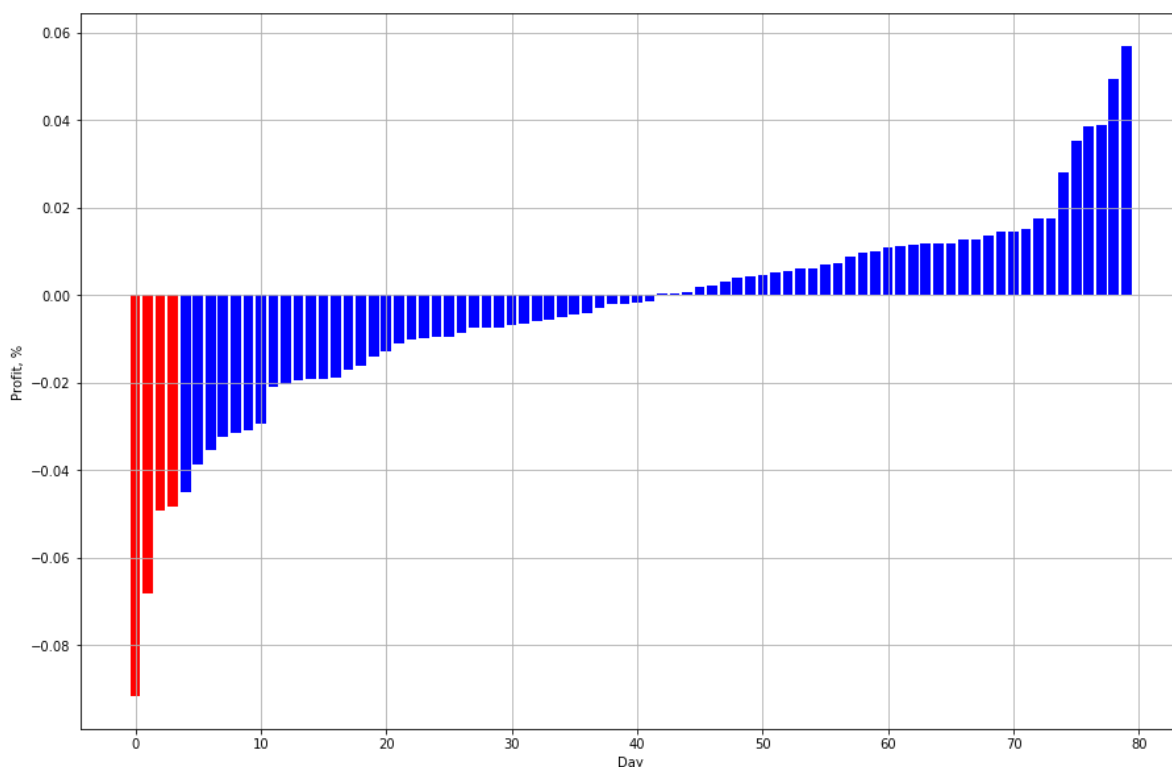
```
In [6]: for company, profit in sorted_data.items():
        print('VaR_st for {name} is {var} %'.format(name=company, var=-
        profit[coef]*100))

VaR_st for Gazprom is 4.49 %
VaR_st for Sberbank is 5.73 %
VaR_st for Qiwi is 4.88 %
VaR_st for MTS is 3.26 %
VaR_st for Yandex is 4.38 %
VaR_st for Rostelecom is 3.85 %
```

Для Газпрома построим гистограмму доходности, красным цветом отмечены отрезанные худшие случаи для заданного  $\alpha$ .

```
In [7]: cut_cases = sorted_data['Gazprom'][:coef]
remain_cases = sorted_data['Gazprom'][coef:len(sorted_data['Gazprom'])]

plt.figure(figsize=(15, 10))
plt.bar(range(len(cut_cases)), cut_cases, color='red')
plt.bar(range(len(cut_cases), len(remain_cases) + len(cut_cases)),
        remain_cases, color='blue')
plt.xlabel('Day')
plt.ylabel('Profit, %')
plt.grid()
plt.show()
```



Теперь перейдем к расчету риска всего портфеля, для этого нам понадобятся значения цен активов:

```
In [8]: for company in classic_var_data.values():
        company['Цена'] = [float((price.replace('.', ''))).replace(',', '.'),
                           for price in company['Цена']]
```

Расчитаем цену портфеля в день  $t$  как сумму цен его инструментов в этот день, а также доходность за день в процентах:

$$profit[t] = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} * 100$$

где  $P_t$  - цена портфеля в день  $t$ .

```
In [9]: portfolio_price = list(classic_var_data['Gazprom']['Цена'] + classic_var_data['Sberbank']['Цена'] + classic_var_data['Qiwi']['Цена'] + classic_var_data['MTS']['Цена'] + classic_var_data['Yandex']['Цена'] + classic_var_data['Rostelecom']['Цена'])

portfolio_profit = [(portfolio_price[i] - portfolio_price[i-1]) * 100 / portfolio_price[i-1] \
                    for i in range(len(portfolio_price)-1)]
```

Далее отсортируем данные и найдем VaR аналогично случаю одного актива

```
In [10]: portfolio_profit = np.sort(portfolio_profit)
portfolio_coef = int(len(portfolio_profit)*alpha)

VaR_st = -portfolio_profit[portfolio_coef]

print('VaR for portfolio is {var} %'.format(var=VaR_st))

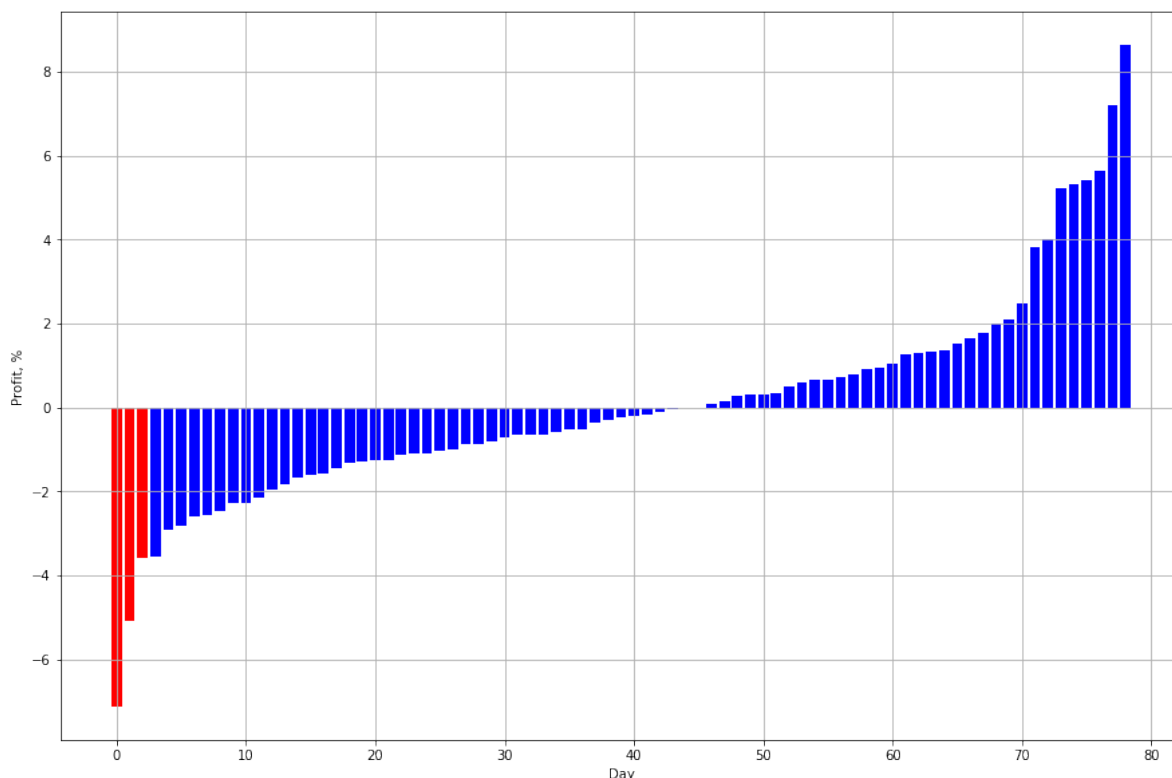
VaR for portfolio is 3.556615999623962 %
```

Для гистограммы доходности портфеля имеем:



```
In [11]: cut_cases = portfolio_profit[:portfolio_coef]
remain_cases = portfolio_profit[portfolio_coef:len(portfolio_profit)]

plt.figure(figsize=(15, 10))
plt.bar(range(len(cut_cases)), cut_cases, color='red')
plt.bar(range(len(cut_cases), len(remain_cases) + len(cut_cases)),
remain_cases, color='blue')
plt.xlabel('Day')
plt.ylabel('Profit, %')
plt.grid()
plt.show()
```



## Расчет суммарного VaR

Теперь посчитаем суммарный VaR согласно описанной модели, которая задается параметрами  $T$ ,  $h$  и  $\alpha$ , а также использует значения средней цены между спросом и предложением за  $T + h$  дней.

```
In [12]: T = len(portfolio_price)
h = 2

mid_bid_ask_prices = dict.fromkeys(['Gazprom', 'Sberbank', 'Qiwi',
'MTS', 'Yandex', 'Rostelecom'])
```

Сгенерируем искусственно среднее цены спроса и предложения актива за день как случайное число в интервале [Цена - 10, Цена + 10]

```
In [13]: import random

for company, data in classic_var_data.items():
    mid_bid_ask_prices[company] = [random.uniform(price - 10, price
+ 10)
                                for price in classic_var_data[company]['Ц
ена']]
```

Рассчитаем  $VaR_{sum}$  для каждого из входящих в портфель инструментов:

```
In [14]: U = dict.fromkeys(['Gazprom', 'Sberbank', 'Qiwi', 'MTS', 'Yandex',
'Rostelecom'])
U_star = dict.fromkeys(['Gazprom', 'Sberbank', 'Qiwi', 'MTS', 'Yand
ex', 'Rostelecom'])

for company in ['Gazprom', 'Sberbank', 'Qiwi', 'MTS', 'Yandex', 'Ro
stelecom']:
    U[company] = np.log(mid_bid_ask_prices[company][h:]) - np.log(m
id_bid_ask_prices[company][:T-h])
    U[company] = np.sort(U[company])
    U_star[company] = -U[company][int(alpha*(T-h))]
    print('VaR_sum for {name} is {val} %'.format(name=company, val=
U_star[company]*100))
```

```
VaR_sum for Gazprom is 8.591440069742617 %
VaR_sum for Sberbank is 9.249757309656914 %
VaR_sum for Qiwi is 5.885630683092913 %
VaR_sum for MTS is 6.097740372380933 %
VaR_sum for Yandex is 5.5116669098357995 %
VaR_sum for Rostelecom is 17.215294680464854 %
```

Теперь найдем суммарный риск всего инвестиционного портфеля. Как и в случае с ценой портфеля, посчитаем его среднюю цену спроса и предложения как сумму соответствующих цен входящих активов.

```
In [15]: mid_bid_ask_portfolio = np.array(mid_bid_ask_prices['Gazprom']) + n
p.array(mid_bid_ask_prices['Sberbank']) \
+ np.array(mid_bid_ask_prices['Qiwi']) + np.array(mid_bid_ask_price
s['MTS']) \
+ np.array(mid_bid_ask_prices['Yandex']) + np.array(mid_bid_ask_pri
ces['Rostelecom'])
```

Расчитаем  $U_t^*$  портфеля:

```
In [16]: U_portfolio = np.log(mid_bid_ask_portfolio[h:]) - np.log(mid_bid_ask_portfolio[:T-h])
U_portfolio = np.sort(U_portfolio)
U_portfolio_star = U_portfolio[int(alpha*(T-h))]

VaR_sum = -U_portfolio_star*100

print('VaR_sum for portfolio is {val} %'.format(val=VaR_sum))

VaR_sum for portfolio is 4.657107390321791 %
```

## Оценка риска ликвидности портфеля

Получив значения суммарного  $VaR_{sum}$  и стандартного  $VaR_{st}$ , можем получить абсолютную ( $COL$ ) и относительную ( $ML$ ) оценку риска рыночной ликвидности согласно формулам, приведенным в части теоретического описания модели..

```
In [17]: for company in ['Gazprom', 'Sberbank', 'QIWI', 'MTS', 'Yandex', 'Rostelecom']:
    col = (U_star[company] + sorted_data[company][coef])*100
    ml = U_star[company] / (-sorted_data[company][coef])
    print('COL for {company} : {val} %'.format(company=company, val=col))
    print('ML for {company} : {val} %'.format(company=company, val=ml))

COL for Gazprom : 4.101440069742617 %
ML for Gazprom : 1.9134610400317633
COL for Sberbank : 3.5197573096569137 %
ML for Sberbank : 1.614268291388641
COL for QIWI : 1.0056306830929131 %
ML for QIWI : 1.2060718612895314
COL for MTS : 2.8377403723809334 %
ML for MTS : 1.8704725068653172
COL for Yandex : 1.1316669098357997 %
ML for Yandex : 1.2583714406017807
COL for Rostelecom : 13.365294680464853 %
ML for Rostelecom : 4.471505111809053
```

```
In [18]: COL = VaR_sum - VaR_st
          ML = VaR_sum / VaR_st

          print('portfolio COL : {val} %'.format(val=COL))
          print('portfolio ML : {val}'.format(val=ML))

portfolio COL : 1.1004913906978286 %
portfolio ML : 1.3094209188774337
```

## Вывод

В проведенных вычислениях последней секции спреда для различных активов предполагались независимыми, а значит для полученных результатов справедлив вывод о том, что в условии независимости спредов риск ликвидности портфеля меньше рисков ликвидности его инструментов по отдельности. Также стоит заметить, что ликвидность может вносить существенный вклад в оценку рисков инвестиционного портфеля, более того, риск ликвидности чаще всего проявляется в кризисных ситуациях. Поэтому его стоит брать во внимание при управлении портфелем ценных бумаг, особенно на рынках в странах с развивающейся экономикой.