**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего образования «Национальный исследовательский университет**

**«Высшая школа экономики»**

**Институт профессиональной переподготовки специалистов**

**Погодин Станислав Владимирович**

**Биржевой рынок срочных контрактов на волатильность**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по направлению подготовки Экономика

образовательная программа «Фондовый рынок и инвестиции»

студента группы № 4БФР

|  |  |
| --- | --- |
|  | Руководитель  *к.э.н.*  *Жарковский Максим Олегович* |

Москва 2016

Оглавление

[**Введение** 2](#_Toc452230882)

[**Глава 1. Введение в опционы** 3](#_Toc452230883)

[1.1. Основные понятия 4](#_Toc452230884)

[1.2. Ценообразование опционов. Модель Блэка-Шоулза 5](#_Toc452230885)

[**Глава 2. Волатильность. Основные виды волатильности** 8](#_Toc452230886)

[2.1. Реализованная и историческая волатильность 8](#_Toc452230887)

[2.2. Подразумеваемая волатильность 9](#_Toc452230888)

[**Глава 3. Общая информация о VIX** 11](#_Toc452230889)

[3.1. История возникновения VIX 11](#_Toc452230890)

[3.2. Развитие VIX 11](#_Toc452230891)

[3.3. VIX как отражение рыночных ожиданий 13](#_Toc452230892)

[**Глава 4. Расчет VIX** 15](#_Toc452230893)

[4.1. Расчет волатильности по котировкам опционов 15](#_Toc452230894)

[4.2. Расчет VIX 16](#_Toc452230895)

[4.3. Пример расчета VIX на реальных рыночных данных 17](#_Toc452230896)

[4.4. Зависимость VIX от параметров T и R 26](#_Toc452230897)

[**Глава 5. Обзор смежных инструментов** 28](#_Toc452230898)

[5.1. Спецификация срочных контрактов на VIX на CBOE 28](#_Toc452230899)

[5.2. Биржевые фонды на волатильность 29](#_Toc452230900)

[**Заключение** 31](#_Toc452230901)

[**Список используемой литературы** 32](#_Toc452230902)

[**Приложение. Расчет VIX на языке Python** 33](#_Toc452230903)

# 

# **Введение**

На сегодняшний день инструменты, прямо или косвенно отражающие волатильность (изменчивость цены) финансовых рынков, играют огромную роль в анализе текущих рыночных реалий, ценообразовании производных финансовых инструментов, торговле и управлении рисками. Высокая волатильность, «биржевые паники» влекут за собой повышенные опасения инвесторов, в связи с чем может снижаться общая инвестиционная и торговая активность.

Целью данной работы является рассмотрение индекса волатильности американского рынка акций - VIX (volatility index), принципов его расчета и использования смежных с ним производных финансовых инструментов. Понимание перечисленных вещей позволит разрабатывать стратегии хеджирования и торговли, используя срочные контракты на волатильность.

Аналогом VIX на российском рынке является запущенный в ноябре 2013 года индекс волатильности российского рынка RVI. Принципы расчета индекса и ценообразования производных инструментов, для которых он является базовым активом, во многом схожи с VIX, поэтому описанные в данной публикации принципы можно с уверенностью применять для инструментов, связанных с волатильностью российского рынка.

Для всех расчетов и визуализации в работе использовался язык программирования Python. В качестве источника рыночных данных использовалась онлайн база данных Quandl, а также сайт биржи Chicago Board Options Exchange.

# **Глава 1. Введение в опционы**

Рассмотрение волатильности и связанных с ней активов невозможно без понимания и использования такого финансового инструмента, как опцион. Поэтому в качестве вступительной части целесообразно раскрыть понятие опциона и связанную с этим терминологию. Отметим, что речь идет исключительно о классических *(vanilla options).* Рассмотрение экзотических разновидностей выходит далеко за рамки данной работы.

* 1. Основные понятия

*Европейским опционом типа «колл»* *(A European call option)* называется контракт, который дает покупателю опциона право купить *базовый* актив (*underlying*) по заранее определенной цене (*страйк* опциона, *strike price*) в определенную дату (дату *экспирации*). *Опцион типа «пут»*, напротив, дает покупателю опциона право продать базовый актив по заранее цене страйк в определенную дату. У продавца опциона при этом возникает не право, а обязательство продать базовый актив (в случае опциона «колл», в случае опциона «пут» - купить) в случае, если покупатель опциона решит воспользоваться своим правом.

Разновидность опциона, покупатель которого может воспользоваться правом покупки или продажи базового актива в любой момент времени до экспирации, называется *американским.* Цену базового активы в произвольный момент времени *t* мы будем называть *ценой спот (spot price).*

В случае, если цена базового актива не меняется, цену (премию), которую должен был бы заплатить покупатель опциона за такой контракт, было бы довольно просто определить:

Где *C – цена опциона колл,*

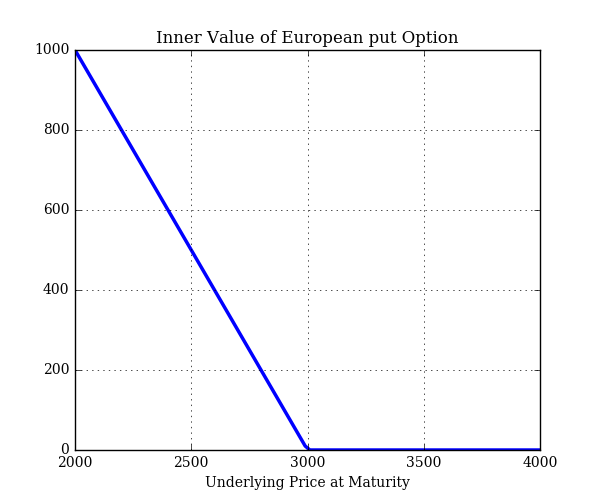
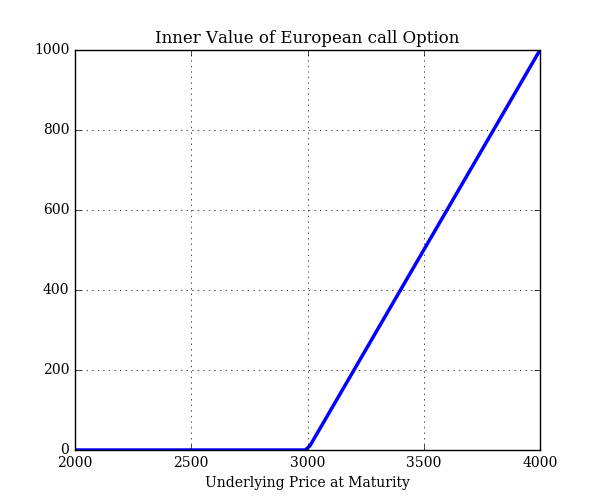
*P – цена опциона пут,*

*K – страйк опциона,*

*S – спот цена.*

Цена опциона при условии, что цена базового актива не меняется, называется *внутренней стоимостью опциона (inner value).*

Зависимость внутренней стоимости опционов «колл» и «пут» от цены базового актива на дату экспирации иллюстируется на рис. 1.

**

*Рис. 1. Внутренняя стоимость европейского опциона «колл» и «пут» со страйком 3000 как функция цены базового актива на дату экспирации.*

Если страйк опциона равен цене спот, то такой опцион называется опционом *«на деньгах»* (*at the money, ATM*). Если внутренняя стоимость опциона положительна, опцион называется опционом *«в деньгах» (in the money, ITM).* Опционы, внутренняя стоимость которых равна нулю, называются опционами *«вне денег*» *(out of the money, OTM).*

Разумеется, цены финансовых активов имеют свойство постоянно меняться. В связи с этим стоимость опционов будет превышать внутреннюю стоимость на величину, называемую *временной стоимостью (time value)*:

* 1. Ценообразование опционов. Модель Блэка-Шоулза

В 1973 году американцы Фишер Блэк и Майрон Шоулз в статье «Оценка опционов и коммерческих облигаций» *(Black, Scholes, 1973),* предложили модель ценообразования европейских опционов. Согласно их модели, цена европейского опциона зависит от следующих параметров:

Где *S – спот цена,*

*K – страйк опциона,*

*T – время до экспирации,*

*r – безрисковая процентная ставка*

*σ – волатильность базового актива*.

Отметим, что простые рассуждения из предыдущего параграфа во многом соответствуют приведенной зависимости.

Итак, согласно модели Блэка-Шоулза, цену европейского опциона «колл» можно определить следующим образом:

Цену европейского опциона «пут»:

Где ,

*C, P – стоимость опциона в момент времени t,*

*S – цена базового актива,*

*K – страйк опциона,*

*r – безрисковая процентная ставка,*

*T-t - время до экспирации,*

*σ – волатильность базового актива*

При этом модель Блэка-Шоулза использует ряд допущений:

1. Цена акции меняется постоянно и интервалы изменения цены очень

короткие

1. Цена актива изменяется случайным образом и распределена в соответсвии с логнормальным законом распределения
2. В течение срока действия опциона отсутствуют дивидендные выплаты
3. Отсутствуют транзакционные издержки и несовершенства рынка

Несмотря на очевидную нереалистичность некоторых допущений, модель Блэка-Шоулза благодаря своему удобству стала своего рода стандартом опционного мира.

# **Глава 2. Волатильность. Основные виды волатильности**

В простом представлении волатильность на финансовых рынках – это отражение изменчивости цен финансовых инструментов. На сегодняшний день понятие волатильности имеет множество трактовок и математических методов оценки. В данной работе мы остановимся на понятиях реализованной, исторической и подразумеваемой волатильности.

## 2.1. Реализованная и историческая волатильность

Предположим, что St – цена актива в момент времени t. Реализованная волатильность актива за период [t1, t2], основанная на n+1 количестве наблюдений S0, S1, …, Sn-1, Sn определяется следующим образом:

Где , - логарифмическая дневная доходность актива;

252 – коэффициент, позволяющий привести волатильность к годовому выражению, эквивалентен примерному количеству торговых дней.

Похожим образом определяется историческая волатильность:

Где - средняя дневная доходность.

Нетрудно заметить, что если средняя дневная доходность близка к нулю, то историческая и реализованная волатильность практически эквивалентны.

## 2.2. Подразумеваемая волатильность

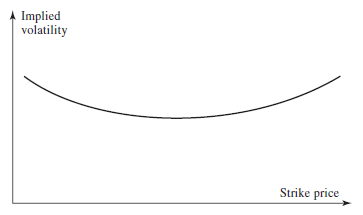
Подразумеваемая волатильность (implied volatility) – это та волатильность, которая при подстановке в формулу Блэка-Шоулза позволяет получить рыночную цену опциона.

.

Где *С\* - известная рыночная цена опциона.*

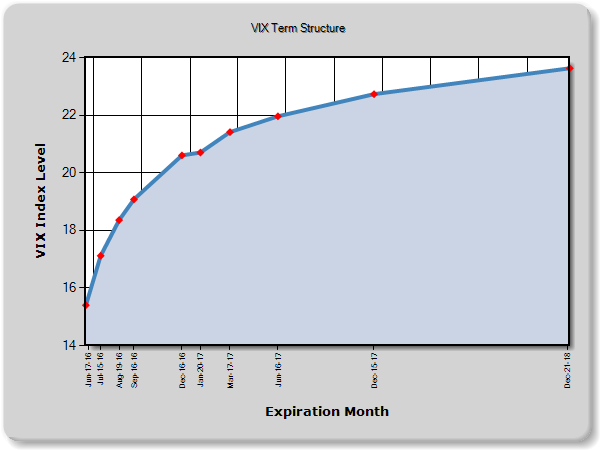
Подразумеваемую волатильность можно рассматривать как ожидания будущей рыночной волатильности, которая определяется текущими котировками опционов.

Подразумеваемая волатильность сама по себе не является константой; она имеет свойство изменяться в зависимости от страйка опциона и даты экспирации. Зависимость подразумеваемой волатильности от страйка опциона ввиду визуальной схожести получила название «*улыбки» волатильности (volatility smile) [1, c. 443].*



*Рис. 2. Общий вид улыбки волатильности*

Зависимость подразумеваемой волатильности от времени до экспирации носит название *временной структуры* волатильности (*volatility term structure*). Ниже приведена зависимость индекса волатильности американского рынка акций VIX (рассчитывается исходя из подразумеваемой волатильности опционов на индекс S&P 500) от времени до экспирации опционов, которые берутся за основу при расчете индекса.



*Рис. 3. Временная структура волатильности*

Познакомившись с основными понятиями, связанными с опционами, волатильностью, ее видами и некоторыми свойствами, мы можем перейти к рассмотрению индекса волатильности американского рынка – VIX.

# **Глава 3. Общая информация о VIX**

* 1. История возникновения VIX

После обвала рынка акций в 1987 году Нью-Йоркская фондовая биржа для стабилизации рынка в подобных ситуациях и защиты инвесторов от больших потенциальных потерь представила механизмы остановки торгов (оригинальное название – «Circuit-breakers»). В случае резкого изменения цены акции торги, в целях снижения волатильности и паники среди инвесторов, временно приостанавливались. Введение механизма сопровождалось изобретением новых методов количественного измерения волатильности.

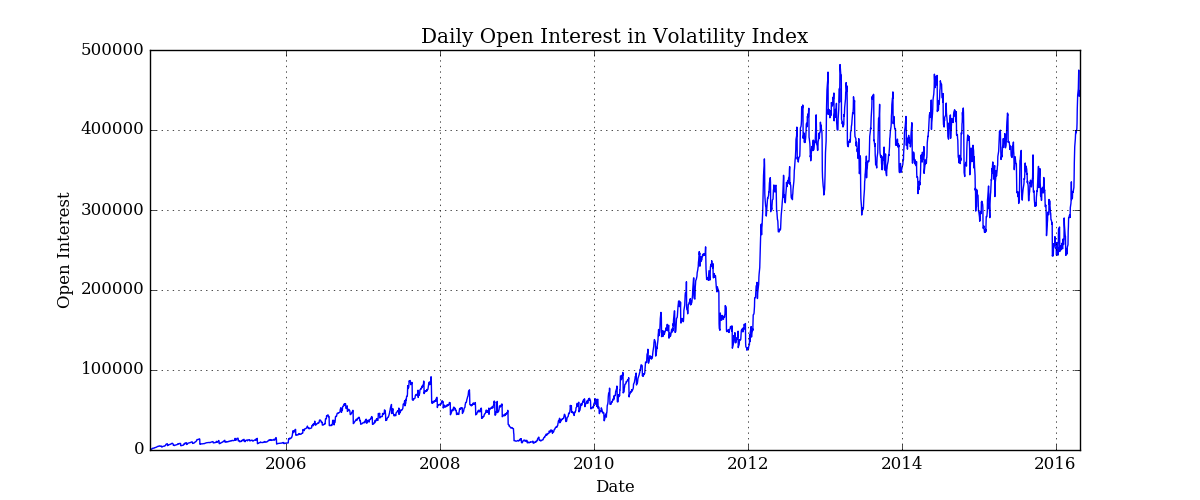
В 1993 году Чикагская Биржа – (Chicago Board Options Exchange - CBOE) представила CBOE Volatility Index (VIX Index), который изначально разрабатывался для измерения ожидаемой волатильности рынка на горизонте 30 дней с помощью расчета подразумеваемой волатильности (implied volatility в модели Блэка-Шоулза-Мертона) ATM опционов на индекс S&P 100. Довольно быстро VIX стал главным индикатором волатильности американского рынка.

* 1. Развитие VIX

10 лет спустя, CBOE совместно с Goldman Sachs представили новый способ измерения волатильности, который широко используется риск-менеджерами, исследователями и трейдерами сегодня. В новом способе для расчета VIX стала использоваться взвешенная подразумеваемая волатильность опционов пут и колл широкого диапазона страйков.

В марте 2004 года CBOE представила первый фьючерсный контракт на VIX. Таким образом, волатильность впервые стала активом, которым можно непосредственно торговать. Двумя годами позднее, в 2006, были представлены первые опционы на VIX. По признанию самой CBOE, опционы на VIX стали самым успешным продуктом в истории биржи. В 2014 году, спустя 10 лет после запуска, суммарный дневной объем торгов фьючерсными и опционными контрактами превышал 800 000 контрактов в день.

На рис. 4 представлен дневной открытый интерес во фьючерсных контрактах на VIX с момента их запуска в марте 2004 г. Нетрудно наблюдать, на быстро возрастал интерес к рассматриваемому инструменту и насколько высок этот интерес на текущий момент.



*Рис. 4. Дневной открытый интерес в контрактах на индекс волатильности.*

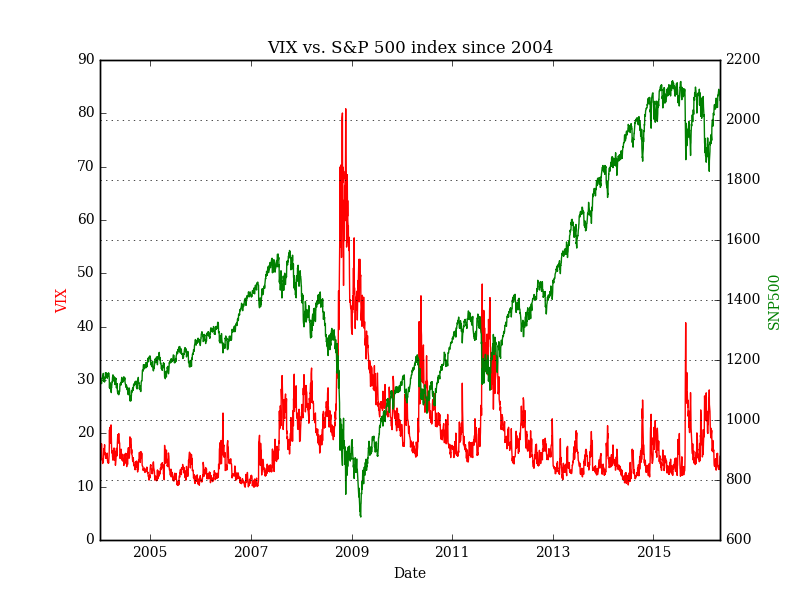
В 2014 году в методологию расчета VIX были включены недельные опционы на индекс S&P 500.

В 2008 году CBOE начала использовать методологию VIX для расчета оценки волатильности на другие индексы, а также на товарно-сырьевых (commodities) и валютных рынках. В частности, были запущены следующие индексы: CBOE ShortTerm Volatility Index (VXST) – отражает девятидневную ожидаемую волатильность индекса S&P 500, CBOE Nasdaq-100 Volatility Index (VXN), CBOE DJIA Volatility Index (VXD), The CBOE Crude Oil ETF Volatility Index (OVX), CBOE Gold ETF Volatility Index (GVZ), CBOE EuroCurrency ETF Volatility Index (EVZ) и множество других.

Отдельно можно выделить запуск индексов волатильности на отдельные акции, например на акции компаний Apple (CBOE Equity VIX on Apple - VXAPL), Amazon (CBOE Equity VIX on Amazon - VXAZN), Goldman Sachs (CBOE Equity VIX on Goldman Sachs - VXGS).

* 1. VIX как отражение рыночных ожиданий

Как уже было сказано выше, VIX изначально создавался для измерения ожидаемой волатильности на ранке акций на горизонте 30 дней. Чем выше значение VIX, тем выше волатильность ожидается инвесторами в будущем; чем ниже значение VIX, тем больше инвесторы верят в низкую волатильность и не ждут резких движений рынка. В связи с этим VIX часто называют «измерителем страха инвесторов» (англ. – “the investor fear gauge”). Это несложно подтвердить, проанализировав взаимосвязь VIX с индексом S&P 500. На рис. 5 приведены обоих индексов с 2004 года.



*Рис. 5. Дневные значение VIX и S&P 500 c 2004 года*

Сразу бросается в глаза, что своих исторических максимумов VIX достигал в период паники и обвала рынка в 2008 году.

Расчет корреляции VIX с индексом S&P 500 на основе дневных данных показывает сильную отрицательную корреляцию во всех фазах рынка. Результаты расчета корреляции на основе дневных данных приведены в таблице 1.

*Таблица 1. Корреляция VIX и S&P 500*

|  |  |
| --- | --- |
| Фаза рынка | Корреляция |
| «Бычий» рынок 2004 - 2007 гг. | -0.55 |
| «Медвежий» рынок 2007 - 2009 гг. | -0.83 |
| «Бычий» рынок 2010 - 2015 гг. | -0.69 |
| «Боковик» 2015 – н.в | -0.89 |

# **Глава 4. Расчет VIX**

Индексы рынка акций, такие как S&P 500 или ММВБ, чаще всего рассчитываются, в основном, как взвешенное среднее арифметическое или геометрические входящих в них компонент. VIX является показателем ожидаемой волатильности и рассчитывается на основании цен опционов. Это делает расчет VIX более сложным, нежели расчет простого индекса рынка акций.

## 4.1. Расчет волатильности по котировкам опционов

Подробный вывод формулы для расчета волатильности, используя котировки опционов*.* Здесь мы приведем готовую формулу (Mao Xin, 2011).

Рассмотрим каждый их параметров приведенной формулы.

*Параметр T*

Параметр *Т*, по сути, представляет собой время до экспирации и выражается следующим образом:

При расчете количества минут до экспирации важно учитывать, что в расчет VIX могут включаться «стандартные» месячные и недельные опционы. Экспирация месячных опционов на SPX происходит каждую в третью пятницу каждого месяца в 8:30 по чикагскому времени. Экспирация недельных опционов происходит каждую неделю в 15:00. Недельные опционы с экспирацией в третью по счету пятницу месяца не включаются в расчет VIX.

*Параметр F*

Параметр *F* является форвардным значение индекса S&P 500 и рассчитывается исходя из цен опционов следующим образом:

*,*

где в качестве модуля разницы цен опционов колл и пут берется минимальное для серии значение этой разницы; в качестве страйка – страйк, соответствующий этому минимальному значению.

*Параметр R*

Параметр R представляет собой безрисковую ставку, эквивалентную доходности американских государственных облигаций с погашением в дату экспирации опционов.

Мы можем определить параметр R из уравнения пут-колл паритета ATM-опционов:

,

Где *T-t* – время до экспирации; *K* – страйк опциона; *St* – текущее значение индекса S&P 500; *Pt, Ct* – текущие цены пут и колл опционов соответственно.

*Прочие параметры*

*K0*– первый страйк ниже форвардного уровня F

*Ki* – страйк *i-ого* OTM опциона: колл, если *Ki> K0*; пут, если *Ki< K0*

; для крайнего страйка определяется как разность крайнего и предшествующего.

– середина бид-аск спреда для опциона страйка *Ki*

## 4.2. Расчет VIX

В расчет VIX включаются две опционные серии: ближняя (near-term) и следующая за ближней (next-term). При этом дата экспирации включаемых расчет серий должна быть не ближе 23 дней не дальше 37 дней от момента расчета индекса. Например, в расчет VIX в течение 13.05.2016 будут включаться следующие серии:

* Недельные опционы с экспирацией 10.06.2016 – 28 дней от даты расчета VIX
* Месячные опционы с экспирацией 17.06.2016 – 35 дней от даты расчета VIX

Числовое значение VIX представляет собой взвешенные по времени до экспирации волатильности входящих в расчет опционных серий:

Где – количество минут до экспирации ближайшей серии опционов

– количество минут до экспирации следующей серии опционов

– количество минут в 30 днях ()

– количество минут в 365 днях ()

Поправочные коэффициенты заменяют в формуле расчета волатильности абсолютное время до экспирации на 30-дневное. Коэффициенты и представляют собой веса опционных серий:

## 4.3. Пример расчета VIX на реальных рыночных данных

Рассчитаем цену VIX на 15:14 13.05.2016 (по чикагскому времени) по реальным котировкам опционов. Согласно правилу отбора опционных серий, в расчет будут включаться:

* Недельные опционы с экспирацией 10.06.2016 – 28 дней от даты расчета VIX
* Месячные опционы с экспирацией 17.06.2016 – 35 дней от даты расчета VIX

Для расчета VIX необходимо рассчитать каждый из параметров, которые вносят вклад в его значение. Отметим также, что для расчета мы будем использовать значение индекса S&P 500 на уровне 2046.60, что является значением закрытия торгов 13.05.2016.

По итогам закрытия торгов с сайта чикагской биржи были взяты котировки опционов указанных серий.

*Таблица 2. Котировки ближней серии опционов*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Опционы call | | Опционы put | |
| Strike | Bid | Ask | Bid | Ask |
| 300 | 1733.1 | 1752.6 | 0.0 | 0.05 |
| 400 | 1633.1 | 1652.6 | 0.0 | 0.05 |
| 500 | 1532.2 | 1553.0 | 0.0 | 0.05 |
| 600 | 1432.2 | 1453.0 | 0.0 | 0.05 |
| 700 | 1332.3 | 1352.8 | 0.0 | 0.05 |
| … | … | … | … | … |
| 1595 | 443.3 | 455.6 | 0.25 | 0.35 |
| 1600 | 438.4 | 450.7 | 0.25 | 0.35 |
| 1605 | 433.4 | 445.7 | 0.25 | 0.35 |
| 1610 | 428.4 | 440.7 | 0.3 | 0.4 |
| 1615 | 423.4 | 435.7 | 0.3 | 0.5 |
| … | … | … | … | … |
| 1925 | 119.0 | 131.0 | 5.5 | 5.9 |
| 1930 | 119.5 | 121.3 | 5.9 | 6.3 |
| 1935 | 114.9 | 116.7 | 6.3 | 6.7 |
| 1940 | 110.4 | 112.1 | 6.8 | 7.2 |
| 1945 | 105.9 | 107.6 | 7.3 | 7.7 |
| 1950 | 101.5 | 103.1 | 7.9 | 8.3 |
| … | … | … | … | … |
| 2275 | 0.0 | 0.25 | 224.3 | 236.6 |
| 2300 | 0.0 | 0.1 | 249.3 | 261.5 |
| 2325 | 0.0 | 0.1 | 274.2 | 286.5 |
| 2350 | 0.0 | 0.1 | 299.2 | 311.5 |
| 2400 | 0.0 | 0.05 | 349.2 | 362.1 |
| 2450 | 0.0 | 0.05 | 399.0 | 411.7 |
| 2500 | 0.0 | 0.05 | 449.1 | 461.4 |

*Таблица 3. Котировки дальней серии опционов*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Опционы Call | | Опционы Put | |
| Страйк | Bid | Ask | Bid | Ask |
| 300 | 1741.2 | 1743.8 | 0.0 | 0.05 |
| 400 | 1641.2 | 1643.8 | 0.0 | 0.05 |
| 450 | 1591.2 | 1593.8 | 0.0 | 0.05 |
| 500 | 1541.3 | 1543.9 | 0.0 | 0.05 |
| 550 | 1491.3 | 1493.9 | 0.0 | 0.05 |
| 600 | 1441.3 | 1443.9 | 0.0 | 0.05 |
| … | …. | … | … | … |
| 1520 | 522.2 | 524.8 | 0.15 | 0.45 |
| 1525 | 517.2 | 519.8 | 0.25 | 0.35 |
| 1530 | 512.2 | 514.8 | 0.15 | 0.45 |
| 1535 | 507.2 | 509.8 | 0.2 | 0.4 |
| 1540 | 502.2 | 504.8 | 0.2 | 0.45 |
| 1545 | 497.2 | 499.8 | 0.2 | 0.45 |
| 1550 | 492.2 | 494.8 | 0.2 | 0.4 |
| … | … | … | … | … |
| 2020 | 49.0 | 50.4 | 25.6 | 26.8 |
| 2025 | 45.6 | 47.0 | 27.2 | 28.4 |
| 2030 | 42.3 | 43.8 | 28.8 | 29.9 |
| 2035 | 39.1 | 40.4 | 30.6 | 31.7 |
| 2040 | 36.0 | 37.3 | 32.5 | 33.5 |
| 2045 | 32.8 | 34.2 | 34.4 | 35.5 |
| 2050 | 30.0 | 31.0 | 36.6 | 37.7 |
| … | … | … | … | … |
| 2450 | 0.0 | 0.1 | 405.0 | 407.6 |
| 2500 | 0.0 | 0.05 | 454.9 | 457.5 |
| 2800 | 0.0 | 0.1 | 754.7 | 757.3 |
| 3000 | 0.0 | 0.1 | 954.6 | 957.2 |
| 3500 | 0.0 | 0.1 | 1454.3 | 1456.9 |

*Расчет параметра T*

Для расчета параметра T необходимо знать дату и время экспирации опционных серий. В нашем примере:

* Ближайшая серия – 10.06.2016 8:30
* Дальняя серия – 17.06.2016 15:00

Для ближайшей серии количество минут до экспирации от 15:14 13.05.2016 составляет 40952, для дальней серии 51812. Количество минут в году составляет 525600.

Таким образом, параметр Т для ближней серии ; для дальней серии .

*Расчет параметра R*

Для расчета параметра R возьмем котировки ATM опционов. При этом значение страйка равно 2045, в качестве цен опционов данного страйка возьмем средние значение между bid и ask. Взяв в качестве времени до экспирации параметр Т, рассчитанный в предыдущем пункте, мы получим параметр R как безрисковую ставку в годовом выражении.

Для ближней серии параметр , для дальней серии .

Безрисковую процентную ставку, он же параметр R, который будем использовать в дальнейшем, найдем как среднее арифметическое полученных их двух серий параметров. Таким образом,

.

Отметим, что найденная подобным образом безрисковая процентная ставка соответствует доходности 20-летних облигаций правительства США, которая на 13.05.2016 составляла 2.14% годовых.

*Расчет параметра F*

Для расчета параметра F необходимо найти минимальное значение между ценами опционов call и put, рассчитанными как среднее между Bid и Ask, и соответствующий этому значению страйк. Для ближней серии это значение составляет 0.65, для дальней серии – 1.45. В обоих случаях указанным значениям соответствует страйк 2045.

Таким образом, для ближней серии ; для дальней серии .

*Расчет параметра K0*

Для обеих серий ближайшим страйком ниже форвардного значения индекса (т.е. параметра F) является страйк 2045. Таким образом, *K01 = 2045; K02 = 2045*.

*Отбор опционов*

Не все опционы включаются в расчет VIX. Алгоритм отбора можно пошагово описать следующим образом:

1. В расчет не включаются ITM-опционы. К ним относятся все опционы call со страйком ниже текущего значения индекса и все опционы put со страйком выше текущего значения индекса
2. В расчет не включаются опционы с нулевыми значениями котировки Bid
3. Если у опционов двух подряд идущих страйков нулевые значения котировки Bid, то опционы всех следующих за ними страйков в расчет не включаются
4. В качестве значений котировок Bid и Ask опционов со страйком K0 берутся средние значения котировок опционов call и put данного страйка

В таблице 4 приведен пример отбора опцинов call в соответсвии с описанным алгоритмом.

*Таблица 4. Отбор опционов для расчета VIX*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Strike | Bid | Ask | Тип опциона | Внутренняя стоимость | Включение в расчет |
| 300 | 1733.1 | 1752.6 | call | ITM | Нет, поскольку опцион не в деньгах |
| 400 | 1633.1 | 1652.6 | call | ITM |
| 500 | 1532.2 | 1553.0 | call | ITM |
| 600 | 1432.2 | 1453.0 | call | ITM |
| 700 | 1332.3 | 1352.8 | call | ITM |
| 800 | 1232.4 | 1252.9 | call | ITM |
| … | … | … | … | … | …. |
| 2210 | 0.1 | 0.2 | call | OTM | Да |
| 2215 | 0.1 | 0.3 | call | OTM |
| 2220 | 0.0 | 0.2 | call | OTM | Нет, нулевой Bid |
| 2225 | 0.05 | 0.2 | call | OTM | Да |
| 2230 | 0.05 | 0.2 | call | OTM |
| 2240 | 0.00 | 0.25 | call | OTM | Нет, нулевой Bid |
| 2250 | 0.00 | 0.15 | call | OTM |
| 2260 | 0.05 | 0.15 | call | OTM | Нет, поскольку следуют за двумя подряд нулевыми Bid-ами |
| 2400 | 0.0 | 0.05 | call | OTM |
| 2450 | 0.0 | 0.05 | call | OTM |
| 2500 | 0.0 | 0.05 | call | OTM |

В таблицах 5 и 6 приведены итоги отбора включаемых в расчет опционов call и put ближней и дальней серий соответственно.

*Таблица 5. Отбор опционов ближней серии*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Страйк | Ask | Bid | Тип опциона |
| 1325 | 0.1 | 0.05 | put |
| 1350 | 0.15 | 0.05 | put |
| 1375 | 0.15 | 0.05 | put |
| 1400 | 0.15 | 0.05 | put |
| 1425 | 0.15 | 0.1 | put |
| … | … | … | … |
| 2035 | 26.8 | 26.1 | put |
| 2040 | 28.6 | 27.9 | put |
| 2045 | 30.25 | 29.4 | Call/put – среднее значение котировок |
| 2050 | 27.0 | 26.2 | call |
| 2055 | 24.2 | 23.4 | call |
| … | … | … | … |
| 2225 | 0.2 | 0.05 | call |
| 2230 | 0.2 | 0.05 | call |
| 2240 | 0.25 | 0.05 | call |
| 2250 | 0.15 | 0.05 | call |
| 2260 | 0.15 | 0.05 | call |

*Таблица 6. Отбор опционов дальней серии*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Страйк | Ask | Bid | Тип опциона |
| 1300 | 0.1 | 0.05 | put |
| 1325 | 0.1 | 0.05 | put |
| 1350 | 0.1 | 0.05 | put |
| 1370 | 0.15 | 0.05 | put |
| 1375 | 0.15 | 0.05 | put |
| … | … | … | … |
| 2025 | 28.4 | 27.2 | put |
| 2030 | 29.9 | 28.8 | put |
| 2035 | 31.7 | 30.6 | put |
| 2040 | 33.5 | 32.5 | put |
| 2045 | 34.85 | 33.6 | Call/put – среднее значение котировок |
| 2050 | 31.0 | 30.0 | call |
| 2055 | 28.4 | 27.2 | call |
| 2060 | 25.7 | 24.6 | call |
| 2065 | 23.2 | 22.0 | call |
| … | … | … | … |
| 2245 | 0.3 | 0.05 | call |
| 2250 | 0.25 | 0.1 | call |
| 2275 | 0.15 | 0.05 | call |
| 2300 | 0.1 | 0.05 | call |

*Расчет параметров Q и*

Напомним, что параметр *Q* является средним между Bid и Ask котировкой, параметр - средним между значениями окружающих страйков. Приведем рассчитанные значения указанных параметров для нескольких страйков.

*Таблица 6. Параметры Q и для ближней серии*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Страйк | Ask | Bid | Тип опциона | *Q* |  |
| 1325 | 0.1 | 0.05 | put | 0.075 | 25.0 |
| 1350 | 0.15 | 0.05 | put | 0.1 | 25.0 |
| 1375 | 0.15 | 0.05 | put | 0.1 | 25.0 |
| 1400 | 0.15 | 0.05 | put | 0.1 | 25.0 |
| 1425 | 0.15 | 0.1 | put | 0.125 | 25.0 |
| 1450 | 0.2 | 0.1 | put | 0.15 | 25.0 |
| … | … | … | … | … | … |
| 2215 | 0.3 | 0.1 | call | 0.2 | 5.0 |
| 2220 | 0.2 | 0.1 | call | 0.15 | 5.0 |
| 2225 | 0.2 | 0.05 | call | 0.125 | 5.0 |
| 2230 | 0.2 | 0.05 | call | 0.125 | 7.5 |
| 2240 | 0.25 | 0.05 | call | 0.15 | 10.0 |
| 2250 | 0.15 | 0.05 | call | 0.1 | 10.0 |
| 2260 | 0.15 | 0.05 | call | 0.1 | 10.0 |

*Таблица 7. Параметры Q и для дальней серии*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Страйк | Ask | Bid | Тип опциона | *Q* |  |
| 1300 | 0.1 | 0.05 | put | 0.075 | 25.0 |
| 1325 | 0.1 | 0.05 | put | 0.075 | 25.0 |
| 1350 | 0.1 | 0.05 | put | 0.075 | 22.5 |
| 1370 | 0.15 | 0.05 | put | 0.1 | 12.5 |
| 1375 | 0.15 | 0.05 | put | 0.1 | 5.0 |
| 1380 | 0.25 | 0.05 | put | 0.15 | 5.0 |
| … | … | … | … | … | … |
| 2230 | 0.35 | 0.05 | call | 0.2 | 5.0 |
| 2235 | 0.35 | 0.05 | call | 0.2 | 5.0 |
| 2240 | 0.3 | 0.05 | call | 0.175 | 5.0 |
| 2245 | 0.3 | 0.05 | call | 0.175 | 5.0 |
| 2250 | 0.25 | 0.1 | call | 0.175 | 15.0 |
| 2275 | 0.15 | 0.05 | call | 0.1 | 25.0 |
| 2300 | 0.1 | 0.05 | call | 0.075 | 25.0 |

*Расчет дисперсии*

С помощью найденных на предыдущих этапах параметров рассчитаем значение дисперсий опционных серий.

Для ближней серии ;

Для дальней серии

*Расчет VIX*

Теперь, когда мы знаем значения всех составляющих, рассчитаем значения самого индекса.

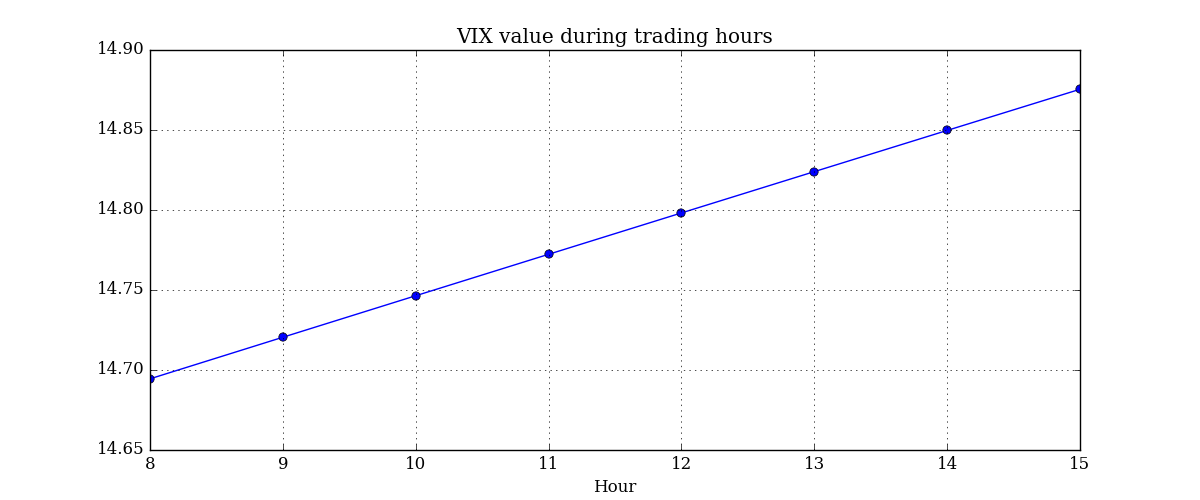
Отметим, что значение VIX, транслируемое CBOE на тот момент составляло *15.04.* Расхождение в 1% между рассчитанным и транслируемым значением ввиду отсутствия рыночных данных в режиме реального времени можно считать приемлемым.

* 1. Зависимость VIX от параметров T и R

Для того, чтобы понять характер зависимости значения VIX от времени до экспирации опционов и безрисковой процентной ставки, смоделируем поведение VIX при изменении каждого из параметров. Для этого сделаем допущение, что небольшие изменения данных параметров гораздо менее значительно, чем значение индекса S&P 500, влияют на сами котировки опционов.

*Зависимость VIX от параметра T*

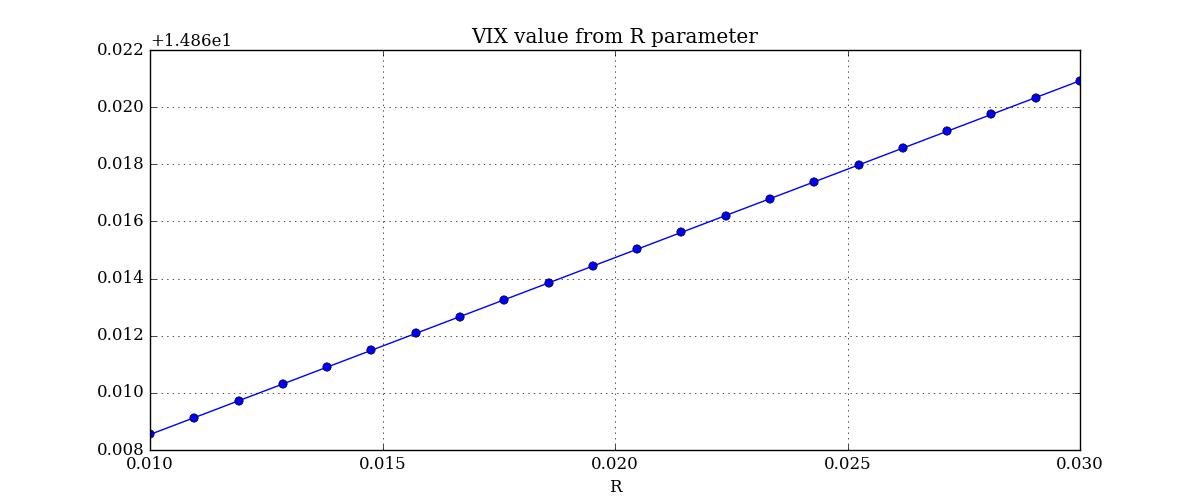
Ниже приведен график того, как меняется значение VIX в течение торгового дня (что равносильно уменьшению количества минут до экспирации опционных серий и уменьшению параметра *Т*) при условии постоянства других параметров. Видно, что за 6 часов значение VIX возрастает на 1%.



*Рис. 6. Изменение значения VIX в течение торгового для при условии постоянства других параметров*

*Зависимость VIX от безрисковой процентной ставки*

Исследование зависимости VIX от безрисковой процентной ставки показывает, что значение VIX при увеличении процентной ставки на 1 процентный пункт растет всего на 0.006 в абсолютном значении, из чего можно сделать вывод о несущественном влиянии параметра R на значение VIX в сравнении с другими параметрами.



*Рис. 7. Зависимость значения VIX от безрисковой процентной ставки*

# **Глава 5. Обзор смежных инструментов**

На сегодняшний день VIX является базовым активом ко множеству биржевых инструментов, от фьючерсных контрактов до сложно структурированных биржевых нот. Рассмотрим спецификацию самых популярных инструментов.

* 1. Спецификация срочных контрактов на VIX на CBOE

В таблице 8 приведены основные параметры фьючерсных контрактов на VIX на CBOE.

*Таблица 8. Спецификация фьючерсов на VIX*

|  |  |
| --- | --- |
| Номенклатура | * VX – для месячных контрактов * VX01 – VX53 – для недельных контрактов. Числовой индекс – номер недели, в которую происходит экспирация контракта |
| Мультипликатор | 1000 USD |
| Шаг цены | 0.05 |
| Стоимость шага цены | 50.00 USD |
| Тип | Расчетный |
| Гарантийное обеспечение по недельным контрактам (на 25.04.2016) | 6 215 USD |
| Экспирация | Каждую неделю, по средам. В случае, если среда не является торговым днем – в следующий ближайший торговый день |

В таблице 9 приведены основные параметры опционных контрактов на VIX на CBOE.

*Таблица 9. Спецификация опционов на VIX*

|  |  |
| --- | --- |
| Номенклатура | VIXWWDDXKK-E  Где WW – номер недели, в которую происходит экспирация  DD – дата экспирации  X – E для Call, Q для Put  KK – страйк  E – указание, что опцион европейский |
| Мультипликатор | 100 USD |
| Шаг цены | 0.05 |
| Стоимость шага цены | 5 USD |
| Тип | Европейские; расчетные |
| Экспирация | Каждую неделю, по средам. В случае, если среда не является торговым днем – в следующий ближайший торговый день |

* 1. Биржевые фонды на волатильность

Популярным инструментом для торговли волатильностью являются биржевые фонды. Самой известной считается нота *iPath S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN* (на Нью-Йоркской бирже фонд котируется по тикером *VXX*). Структура фонда такова, что ее покупка эквивалентна покупке ближайшего и следующего за ним фьючерсного контракта на VIX, но при это является инструментом рынка акций. Инструмент может заинтересовать в первую очередь тех инвесторов, кому инфраструктура рынка акций более привычна и удобна, нежели чем инфраструктура срочного рынка.

На американских биржах обращаются фонды, структура которых подразумевает встроенное «плечо» для инвестора (*VelocityShares Daily two-times VIX Short-Term ETN, NASDAQ тикер TVIX*) и так называемые инверсные ноты (*iPath Inverse S&P 500 VIX Short-Term ETN, NYSE тикер XXV),* покупка которых эквивалентна ставке на снижение индекса волатильности VIX.

# **Заключение**

VIX – опережающий индекс, который отражает ожидаемую волатильность индекса S&P 500 на 30 дневном временном промежутке. Основой расчета VIX являются текущие котировки опционов на индекс S&P 500, из которых можно найти множество параметров, на основании которых рассчитывается индекс волатильности.

В 2004 году VIX стал рассчитываться по современной методологии, которая была описана в данной работе. С тех пор интерес к волатильности как независимому активу неуклонно растет. Достаточно сказать, что дневной открытый интерес в срочных контрактах на волатильность с 2006 года по настоящее время вырос более чем в 10 раз.

Аналогичные VIX индексы были запущены и на рынках других стран. В частности, в ноябре 2013 года Московская Биржа запустила индекс волатильности российского рынка под тикером RVI. Развитие такого инструмента может осуществляться по аналогии с развитием VIX и, несомненно, принесет пользу всем участникам российского рынка.

VIX часто называют «индексом страха» ввиду всплесков волатильности в кризисные для финансовых рынков времена. Отрицательная корреляция VIX с индексом S&P 500, высокая ликвидность инструментов срочного рынка, для которых VIX является базовым активом, и высокая волатильность самого VIX позволяет разрабатывать удобные и эффективные стратегии хеджирования портфелей акций и стратегии торговли самой волатильностью. Разработка и проверка таких стратегий на исторических данных может стать темой дипломной работы.

# **Список используемой литературы**

1. John Hull. Futures, options and other derivatives. 9th edition. University of Toronto, 2014.
2. Collin Bennet. Trading Volatility, Correlation, Term Structure and Skew. 2014.
3. Yves Hilpisch. Derivatives analytics with Python : data analysis, models, simulation, calibration and hedging. The Wiley finance series, 2015.
4. Fisher Black, Myron Scholes. The Pricing of Options and Corporate Liabilities // The Journal of Political Economy. 1973. Vol. 81, No. 3.
5. Mao Xin. The VIX Volatility Index. Uppsala University, 2011.
6. The CBOE Volatility Index – VIX [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://www.cboe.com/micro/vix/vixwhite.pdf>

1. Спецификации срочных контрактов на VIX [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://cfe.cboe.com/products/spec_vix.aspx>

1. Котировки опционов на индекс S&P 500 [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://www.cboe.com/delayedquote/quotetable.aspx>

1. Индекс RVI. Фьючерс на волатильность. Торговые стратегии [Электронный ресурс].

Режим доступа: fs.moex.com/files/8262.

# **Приложение. Расчет VIX на языке Python**

1. Код для расчета значения VIX

*Импортируем нужные нам библиотеки*

import pandas as pd

import numpy as np

import Quandl

import datetime as dt

import re

*Создадим класс SNPValue, который будет получать и хранить значение индекса S&P 500 на указанную дату. Метод get\_snp возвращает значение индекса.*

class SNPValue:

def \_\_init\_\_(self, calculation\_date):

self.calculation\_date = calculation\_date

self.snp = float(

Quandl.get('YAHOO/INDEX\_GSPC.6', rows=10, authtoken='H-hAL\*\*\*\*3AtEpU-s').loc[self.calculation\_date])

def get\_snp(self):

return self.snp

*Создадим класс OptionSeries, который будет считывать и хранить заранее сохраненные в csv файл котировки опционов. При инициализации класс также преобразовывает котировки в удобный для дальнейшей работы формат. Методы get\_calls и get\_puts возвращаю котировки опционов колл и пут соответственно.*

class OptionSeries:

def \_\_init\_\_(self, calls, puts):

self.calls = pd.read\_csv(calls, sep=';', index\_col='Strike')[['Bid', 'Ask']]

self.puts = pd.read\_csv(puts, sep=';', index\_col='Strike')[['Bid', 'Ask']]

for item in [self.calls, self.puts]:

new\_index = []

for \_index in item.index.values:

new\_index.append(int(re.findall('(\d+)\-', \_index)[0]))

item.index = new\_index

item.index.name = 'Strike'

def get\_calls(self):

return self.calls

def get\_puts(self):

return self.puts

*Создадим класс VIXParemeters, который будет наследовать все элементы классов OptionSeries и SNPValue. Каждый метод класса, в соответствии с названием, рассчитывает один из параметров, необходимых для расчета VIX. Метод select\_options отбирает опционы в соответсвие с описанным в разделе 4.2 алгоритмо*

class VIXParameters(OptionSeries, SNPValue):

def \_\_init\_\_(self, calls, puts, expiration\_time, calculation\_date):

OptionSeries.\_\_init\_\_(self, calls, puts)

SNPValue.\_\_init\_\_(self, calculation\_date)

self.expiration\_time = dt.datetime.strptime(expiration\_time, '%Y-%m-%d %H:%M') # parsing dates

self.ATM\_strike = min(self.calls.index, key=lambda x: abs(x - self.snp)) # ATM strike

def T\_parameter(self, current\_time=dt.datetime.now()):

# current\_time = dt.datetime(2016, 05, 13, 23, 14) # dt.datetime.now()

M\_current\_day = 24 \* 60 - (current\_time.hour \* 60 + current\_time.minute) # minutes in current day

M\_Settlement = self.expiration\_time.hour \* 60 + self.expiration\_time.minute # minutes in settlement days

M\_other\_days = int((self.expiration\_time - current\_time).total\_seconds() / 60)

Minutes\_in\_year = dt.timedelta(365).total\_seconds() / 60 # total minutes in year

T = (M\_current\_day + M\_Settlement + M\_other\_days) / Minutes\_in\_year

return T

def R\_parameter(self, T):

C = self.calls.loc[self.ATM\_strike].mean() # call price

P = self.puts.loc[self.ATM\_strike].mean() # put price

R = (-1 / T) \* np.log2(self.ATM\_strike / (self.snp + P - C)) # calculates T

return R

def F\_parameter(self, R, T):

C\_P\_diff = abs(self.calls.mean(axis=1) - self.puts.mean(axis=1))

strike = C\_P\_diff.idxmin() # index of minimal difference

abs\_dif = C\_P\_diff.min() # minimal difference

F = strike + np.exp(R \* T) \* abs\_dif

return F

def K0\_parameter(self, F):

K0 = max(self.calls.loc[self.calls.index < F].index)

return K0

def select\_options(self, K0):

avg\_bid = (self.calls['Bid'].loc[K0] + self.puts['Bid'].loc[K0]) / 2 # average bid-ask for K0 strike

avg\_ask = (self.calls['Ask'].loc[K0] + self.puts['Ask'].loc[K0]) / 2

self.calls = self.calls.loc[K0 + 1:] # selecting OTM

self.puts = self.puts.loc[:K0 - 1]

# selecting calls

for i in range(len(self.calls.index)):

if self.calls['Bid'].iloc[i] == 0 and self.calls['Bid'].iloc[i + 1] == 0: # checkin two zero-bid condition

to\_drop = range(i, len(self.calls.index))

self.calls = self.calls.drop(self.calls.index[to\_drop])

break

self.calls = self.calls[self.calls['Bid'] > 0] # drop remaining zero-bids

# selecting puts

for i in range(len(self.puts.index), 0):

print i

if self.puts['Bid'].iloc[i] == 0 and self.puts['Bid'].iloc[i + 1] == 0:

to\_drop = range(i, 0)

self.puts = self.puts.drop(self.puts.index[to\_drop])

break

self.puts = self.puts[self.puts['Bid'] > 0]

self.calls['type'] = 'call'

self.puts['type'] = 'put'

df\_atm = pd.DataFrame(data={'Bid': [avg\_bid], 'Ask': [avg\_ask], 'type': ['call put average'], 'Strike': [K0]})

df\_atm = df\_atm.set\_index('Strike')

df\_final\_series = pd.concat([self.puts, df\_atm, self.calls]) # concatenating puts and calls

return df\_final\_series

def Q\_parameter(self, final\_series):

final\_series['Q'] = final\_series.mean(1)

return final\_series

def dK\_parameter(self, final\_series):

final\_series['dK'] = 0

for i in range(len(final\_series.index)):

if i == 0:

dk = final\_series.index[i + 1] - final\_series.index[i]

elif i == len(final\_series.index) - 1:

dk = final\_series.index[i] - final\_series.index[i - 1]

else:

dk = (final\_series.index[i + 1] - final\_series.index[i - 1]) / float(2)

final\_series['dK'].iloc[i] += dk

return final\_series

*Функция calculate\_volatility по найденным ранее пареметрам считает волатильность по формуле из раздела 4.1.*

def calculate\_volatility(T, R, F, K0, final\_series):

cum\_sum = 0

for i in final\_series.index:

cum\_sum += (final\_series['dK'].loc[i] / (i \*\* 2)) \* np.exp(R \* T) \* final\_series['Q'].loc[i]

variance = (2 / T) \* cum\_sum - (1 / T) \* (F / K0 - 1) \*\* 2

return variance

*Функция calculate\_vix рассчитывает само значение VIX по найденным волатильностям опционных серий и времени до экспирации.*

def calculate\_vix(variance1, variance2, T1, T2):

N365 = dt.timedelta(365).total\_seconds() / 60.0

N30 = dt.timedelta(30).total\_seconds() / 60.0

NT1 = T1 \* N365

NT2 = T2 \* N365

VIX = 100 \* np.sqrt(

(T1 \* variance1 \* ((NT2 - N30) / (NT2 - NT1)) + T2 \* variance2 \* ((N30 - NT1) / (NT2 - NT1))) \* (

N365 / N30))

return round(VIX, 2)

*После того, как мы создали необходимые классы и методы для рассчета, можем применить их для рассчета VIX по реальным рыночным данным.*

if \_\_name\_\_ == '\_\_main\_\_':

*Считываем нужные нам опционные котировки дальней и ближней серий:*

near\_options = VIXParameters('1006\_calls.csv', '1006\_puts.csv', '2016-06-10 08:30', '2016-05-13')

next\_options = VIXParameters('1706\_calls.csv', '1706\_puts.csv', '2016-06-17 15:00', '2016-05-13')

print 'Current S&P 500 index value:', near\_options.get\_snp()

print

print 'Importing results, near-term calls example:'

print near\_options.get\_calls()

print

*Теперь, используя методы класса VIXParameters, рассчитаем каждый из необходимых для расчета VIX параметров и для дальней, и для ближней серии.*

T1 = near\_options.T\_parameter(dt.datetime(2016, 05, 13, 15, 14)) # we calculating VIX on 13.05.2016 15:14 Chicago time

T2 = next\_options.T\_parameter(dt.datetime(2016, 05, 13, 15, 14))

print 'T parameter calculations results:'

print 'T for near-term series:', T1

print 'T for next-term series:', T2

print

R1 = near\_options.R\_parameter(T1)

R2 = next\_options.R\_parameter(T2)

R = (R1 + R2) / 2

print 'R parameter calculation results:'

print 'R for near-term series:', R1

print 'R for next-term series:', R2

print 'R as average of near- and next-term:', R

print

F1 = near\_options.F\_parameter(R, T1)

F2 = next\_options.F\_parameter(R, T2)

print 'F parameter calculation results:'

print 'F for near-term series:', F1

print 'F for next-term series:', F2

print

K01 = near\_options.K0\_parameter(F1)

K02 = next\_options.K0\_parameter(F2)

print 'K0 parameter calculation results:'

print 'K0 for near-term series:', K01

print 'K0 for next-term series:', K02

print

near\_series = near\_options.select\_options(K01)

next\_series = next\_options.select\_options(K02)

near\_series = near\_options.Q\_parameter(near\_series)

next\_series = next\_options.Q\_parameter(next\_series)

near\_series = near\_options.dK\_parameter(near\_series)

next\_series = next\_options.dK\_parameter(next\_series)

print 'Q and dK calculation resuts'

print 'Near-term series:'

print near\_series

print 'Next-term series:'

print next\_series

print

*Рассчитаем дисперсии опционных серий:*

variance1 = calculate\_volatility(T1, R, F1, K01, near\_series)

variance2 = calculate\_volatility(T2, R, F2, K02, next\_series)

print 'Variance calculation resuts'

print 'Variance for near-term series:', variance1

print 'Variance for next-term series:', variance2

print

*Рассчитаем VIX:*

vix = calculate\_vix(variance1, variance2, T1, T2)

print '==========='

print 'VIX =', vix

print '==========='

1. Результаты расчетов

*Значение индекса S&P 500 на дату расчета:*

2046.609985

*Результаты импорта котировок опцинов, на примере опционов колл ближайшей серии*:

Bid Ask

Strike

300 1733.10 1752.60

400 1633.10 1652.60

500 1532.20 1553.00

600 1432.20 1453.00

700 1332.30 1352.80

800 1232.40 1252.90

900 1132.40 1152.90

1000 1032.50 1053.00

1100 932.60 953.10

1200 832.90 853.10

1225 807.70 828.20

1250 782.40 803.50

1275 757.70 778.20

1300 738.00 750.20

1325 712.90 725.30

1350 687.30 700.30

1375 662.40 675.30

1400 638.00 650.30

1425 613.10 625.40

1450 588.10 600.40

1475 563.10 575.40

1500 538.20 550.50

1525 513.20 525.50

1550 488.30 500.60

1560 478.30 490.60

1570 468.30 480.60

1575 463.30 475.60

1580 458.30 470.60

1590 448.40 460.60

1595 443.30 455.60

... ... ...

2140 0.95 1.15

2145 0.75 0.95

2150 0.60 0.80

2155 0.50 0.65

2160 0.40 0.55

2165 0.35 0.50

2170 0.30 0.45

2175 0.25 0.40

2180 0.20 0.35

2185 0.20 0.30

2190 0.15 0.30

2195 0.15 0.25

2200 0.15 0.25

2205 0.10 0.25

2210 0.10 0.20

2215 0.10 0.30

2220 0.10 0.20

2225 0.05 0.20

2230 0.05 0.20

2240 0.05 0.25

2250 0.05 0.15

2260 0.05 0.15

2270 0.00 0.25

2275 0.00 0.25

2300 0.00 0.10

2325 0.00 0.10

2350 0.00 0.10

2400 0.00 0.05

2450 0.00 0.05

2500 0.00 0.05

[168 rows x 2 columns]

*Результаты вычисления каждого из параметров для двух серий:*

T parameter calculations results:

T for near-term series: 0.0779147640791

T for next-term series: 0.0985768645358

R parameter calculation results:

R for near-term series: 0.0204515938003

R for next-term series: 0.0218826948077

R as average of near- and next-term: 0.021167144304

F parameter calculation results:

F for near-term series: 2045.65107289

F for next-term series: 2046.45302872

K0 parameter calculation results:

K0 for near-term series: 2045

K0 for next-term series: 2045

Q and dK calculation resuts

Near-term series:

Ask Bid type Q dK

Strike

1325 0.10 0.05 put 0.075 25.0

1350 0.15 0.05 put 0.100 25.0

1375 0.15 0.05 put 0.100 25.0

1400 0.15 0.05 put 0.100 25.0

1425 0.15 0.10 put 0.125 25.0

1450 0.20 0.10 put 0.150 25.0

1475 0.35 0.10 put 0.225 25.0

1500 0.25 0.15 put 0.200 25.0

1525 0.25 0.15 put 0.200 25.0

1550 0.25 0.20 put 0.225 17.5

1560 0.30 0.20 put 0.250 10.0

1570 0.30 0.20 put 0.250 7.5

1575 0.35 0.20 put 0.275 5.0

1580 0.35 0.25 put 0.300 7.5

1590 0.35 0.25 put 0.300 7.5

1595 0.35 0.25 put 0.300 5.0

1600 0.35 0.25 put 0.300 5.0

1605 0.35 0.25 put 0.300 5.0

1610 0.40 0.30 put 0.350 5.0

1615 0.50 0.30 put 0.400 5.0

1620 0.40 0.30 put 0.350 5.0

1625 0.40 0.35 put 0.375 5.0

1630 0.40 0.30 put 0.350 5.0

1635 0.45 0.35 put 0.400 5.0

1640 0.45 0.35 put 0.400 5.0

1645 0.45 0.35 put 0.400 5.0

1650 0.45 0.35 put 0.400 5.0

1655 0.60 0.35 put 0.475 5.0

1660 0.50 0.35 put 0.425 5.0

1665 0.50 0.40 put 0.450 5.0

... ... ... ... ... ...

2100 6.20 5.80 call 6.000 5.0

2105 5.10 4.80 call 4.950 5.0

2110 4.20 3.80 call 4.000 5.0

2115 3.40 3.10 call 3.250 5.0

2120 2.70 2.45 call 2.575 5.0

2125 2.20 1.95 call 2.075 5.0

2130 1.75 1.55 call 1.650 5.0

2135 1.40 1.20 call 1.300 5.0

2140 1.15 0.95 call 1.050 5.0

2145 0.95 0.75 call 0.850 5.0

2150 0.80 0.60 call 0.700 5.0

2155 0.65 0.50 call 0.575 5.0

2160 0.55 0.40 call 0.475 5.0

2165 0.50 0.35 call 0.425 5.0

2170 0.45 0.30 call 0.375 5.0

2175 0.40 0.25 call 0.325 5.0

2180 0.35 0.20 call 0.275 5.0

2185 0.30 0.20 call 0.250 5.0

2190 0.30 0.15 call 0.225 5.0

2195 0.25 0.15 call 0.200 5.0

2200 0.25 0.15 call 0.200 5.0

2205 0.25 0.10 call 0.175 5.0

2210 0.20 0.10 call 0.150 5.0

2215 0.30 0.10 call 0.200 5.0

2220 0.20 0.10 call 0.150 5.0

2225 0.20 0.05 call 0.125 5.0

2230 0.20 0.05 call 0.125 7.5

2240 0.25 0.05 call 0.150 10.0

2250 0.15 0.05 call 0.100 10.0

2260 0.15 0.05 call 0.100 10.0

[146 rows x 5 columns]

Next-term series:

Ask Bid type Q dK

Strike

1300 0.10 0.05 put 0.075 25.0

1325 0.10 0.05 put 0.075 25.0

1350 0.10 0.05 put 0.075 22.5

1370 0.15 0.05 put 0.100 12.5

1375 0.15 0.05 put 0.100 5.0

1380 0.25 0.05 put 0.150 5.0

1385 0.15 0.05 put 0.100 5.0

1390 0.15 0.05 put 0.100 5.0

1395 0.25 0.05 put 0.150 5.0

1400 0.15 0.10 put 0.125 5.0

1405 0.15 0.05 put 0.100 5.0

1410 0.15 0.05 put 0.100 5.0

1415 0.15 0.05 put 0.100 5.0

1420 0.30 0.05 put 0.175 5.0

1425 0.20 0.15 put 0.175 5.0

1430 0.20 0.10 put 0.150 5.0

1435 0.20 0.10 put 0.150 5.0

1440 0.20 0.10 put 0.150 5.0

1445 0.30 0.15 put 0.225 5.0

1450 0.20 0.10 put 0.150 5.0

1455 0.20 0.10 put 0.150 5.0

1460 0.35 0.10 put 0.225 5.0

1465 0.25 0.10 put 0.175 5.0

1470 0.25 0.10 put 0.175 5.0

1475 0.25 0.10 put 0.175 5.0

1480 0.35 0.10 put 0.225 5.0

1485 0.25 0.10 put 0.175 5.0

1490 0.30 0.10 put 0.200 5.0

1495 0.30 0.10 put 0.200 5.0

1500 0.30 0.25 put 0.275 5.0

... ... ... ... ... ...

2115 5.60 4.80 call 5.200 5.0

2120 4.70 4.00 call 4.350 5.0

2125 3.90 3.30 call 3.600 5.0

2130 3.20 2.70 call 2.950 5.0

2135 2.65 2.15 call 2.400 5.0

2140 2.05 1.75 call 1.900 5.0

2145 1.60 1.40 call 1.500 5.0

2150 1.50 1.10 call 1.300 5.0

2155 1.30 0.95 call 1.125 5.0

2160 1.10 0.75 call 0.925 5.0

2165 0.95 0.60 call 0.775 5.0

2170 0.70 0.50 call 0.600 5.0

2175 0.75 0.50 call 0.625 5.0

2180 0.70 0.40 call 0.550 5.0

2185 0.60 0.30 call 0.450 5.0

2190 0.60 0.25 call 0.425 5.0

2195 0.55 0.30 call 0.425 5.0

2200 0.35 0.15 call 0.250 5.0

2205 0.45 0.15 call 0.300 5.0

2210 0.45 0.15 call 0.300 5.0

2215 0.40 0.10 call 0.250 5.0

2220 0.40 0.10 call 0.250 5.0

2225 0.35 0.15 call 0.250 5.0

2230 0.35 0.05 call 0.200 5.0

2235 0.35 0.05 call 0.200 5.0

2240 0.30 0.05 call 0.175 5.0

2245 0.30 0.05 call 0.175 5.0

2250 0.25 0.10 call 0.175 15.0

2275 0.15 0.05 call 0.100 25.0

2300 0.10 0.05 call 0.075 25.0

[182 rows x 5 columns]

*Результаты вычисления дисперсий опционов:*

Variance calculation resuts

Variance for near-term series: 0.0218317253256

Variance for next-term series: 0.0230247777096

*В итоге значение VIX получилось равным:*

===========

VIX = 14.88

===========