МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра дифференциальных уравнений и математической экономики

Теханализ в трейдинге с помощью сплайн-интерполяции индикатора ATR (Средний истинный диапазон)

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента(ки) 2 курса 247 группы

направление **09.04.03 – Прикладная информатика**

механико-математического факультета

Калиниченко Ильи Максимовича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н., доцент ________________ А.Ю.Трынин

Заведующий кафедрой

зав.кафедрой, д.ф.-м.н., профессор________________ С.И.Дудов

Саратов 2024

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы работы. Фондовые рынки имеют значительное влияние на экономику любой страны. Они являются одним из ключевых механизмов привлечения инвестиций и стимулирования роста производства. Вместе с тем мировые рынки ценных бумаг являются источниками масштабной финансовой нестабильности, макроэкономических рисков и социальных потрясений. Особенно проблемными являются формирующиеся фондовые рынки, которые сильно зависимы от внутренней политики. Интерполяция котировок ценных бумаг различными сплайнами является мало изученной темой. В данной работе будет проведено исследование эффективности индикатора ATR (Средний истинный диапазон) при помощи математического метода сплайн-интерполяции.

Объектом исследования в работе являются исторические данные ценных бумаг компаний «Роснефть» и «Газпром».

Предмет исследования - применение индикатора технического анализа ATR (Средний истинный диапазон). **Цель работы** - знакомство с индикатором технического анализа ATR, а также оценка эффективности его приближения при помощи интерполирования сплайнами.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

— Изучить теоретические основы технического анализа.
— Ознакомиться с теорией интерполирования, в частности, изучить метод интерполяции сплайнами.
— Разработать программу, которая с помощью сплайнов будет приближать индикатор ATR для минимизации расхода трафика.
— Осуществить анализ эффективности индикатора ATR.

Для написания теоретической части работы использована учебная и монографическая литература.

Данная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых источников и приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы работы, формулируется цель работы и решаемые задачи, отмечается практическая значимость полученных результатов.

В первой главе «Теоретические основы технического анализа» приводятся основные понятия технического анализа и описания индикаторов.

С помощью технического анализа трейдеры определяют, когда покупать или продавать активы на бирже. Они оценивают не акции и эмитентов, а движения цены. В отличие от инвесторов, трейдерам неважно, покупать или продавать актив, да и сам актив неважен — они зарабатывают сугубо на изменениях цен. Технический анализ изучает движения цены финансовых инструментов и объем их торгов. На основании прошлых данных технические аналитики прогнозируют будущее движение цен.

Самая важная информация в техническом анализе — это биржевые цены и объемы, потому что эти данные исказить нельзя.

Индикаторы подразделяются на три категории: трендовые, осцилляторы и характеристические. К основным трендовым индикаторам относятся скользящие средние, MACD, ADX и т.д. Они предназначены выявлять и показывать зарождение и окончание трендов. Основным их недостатком является работа с временным лагом. То есть они неизбежно запаздывают в силу своей природы, из чего вытекает генерация большого количества ложных сигналов. Тем не менее, они очень важны. Главное владеть навыком их правильного использования.

Самым важным, универсальным и старейшим трендовым индикатором является скользящая средняя – MA (Moving Average). Главная характеристика скользящей средней — порядок: используемый отрезок времени. Как показывает практика, чем меньше таймфрейм, тем сложнее использовать индикатор скользящая средняя. А вот, например, на таймфрейме равному дню, данный индикатор прекрасно демонстрирует свою работу.

Цель применения данного индикатора заключается в том, чтобы определить начало новой тенденции, а также предупредить о ее завершении или повороте. Скользящие средние отслеживают развитие тенденций, их можно рассматривать как искривленные линии тренда. Однако скользящие средние не предназначены для прогнозирования движений на рынке, поскольку они не опережают динамику рынка, а лишь всегда следуют за этой динамикой. Этот показатель всегда следует за движениями цен на рынке и сигнализирует о начале новой тенденции, но только после того как она появилась.

Наиболее распространенными типами скользящей средней являются:

1. простая скользящая средняя (Simple Moving Average – SMA) – при построении всем ценам за рассматриваемый период уделяется одинаковое значение;
2. экспоненциальное скользящее среднее (Exponental Moving Average – EMA) – большее значение имеет последняя цена;
3. взвешенное скользящее среднее (Weighted Moving Average – WMA) – каждой из цен рассматриваемого промежутка присваивается определенный вес.

Во второй главе «Теория интерполирования» описывается метод приближения функции в решении задач, а также общий вид интерполяционного многочлена.

Интерполяция является одной из классических задач вычислительной математики: по заданной таблице чисел $(x_i, f(x_i)), i = 0, 1, ..., N$ требуется восстановить некоторую функцию $f(x)$ с той или иной точностью на числовом отрезке $[a, b]$. Базовый метод решения задачи заключается в построении единого интерполяционного многочлена. В курсе алгебры доказывается, что если задано N пар чисел $(x_i, f(x_i))$ – узлов интерполяции и значений функции в этих узлах, то существует единственная интерполянта – полином степени не выше $N - 1$.

На биржевом рынке ценная бумага — документ, удостоверяющий, с соблюдением установленной формы и обязательных реквизитов, имущественные права, осуществление или передача которых возможны только при его предъявлении. Котировка ценной бумаги — это механизм выявления цены, ее фиксация в течение каждого дня работы биржи и публикация в биржевых бюллетенях. Умение обрабатывать котировки важно для создания выводов и прогнозов на будущее. Помочь в данном случае может математика, которая способна решить задачу численной обработки котировок, причем решение заключается в вычислении приближенных значений функций, в том случае, когда известны ее значения в определенных узлах.

Аппроксимацией (приближением) функции $f(x)$ называется случай нахождения такой функции $F(x)$, которая была бы близка к заданной. Чаще всего применяется точечная аппроксимация. При этом функция $f(x)$ как правило неизвестна, а связь между параметрами x и y задается в виде некоторой таблицы x_i, y_i. Эти значения представляют собой либо результаты расчетов, либо экспериментальные данные.

Вычисление неизвестных функции в некоторых точках происходит с помощью математического метода вычисления приближенных значений функции и ее производных, когда известны значения функции в фиксированных точках, называемых – узлами интерполяции.

При вычислениях на ЭВМ приходится неоднократно вычислять сложную функцию в различных точках. Вместо такого затратного по времени и силам процесса намного удобнее вычислить значение данной функции в каких-то отдельных точках, а для вычисления в других точках, можно воспользоваться упрощенными формулами, в которых фигурируют известные значения.

Для этого следует указать непрерывную приближающую функцию $g(x)$ на рассматриваемой области определения. При этом, она должна удовлетворять условию, чтобы в каждой точки набора функция принимала значения/

$$g\left(x_k\right) = f_k \tag{1}$$

где $k = 0, 1 \ldots n$.

Такой способ приближения принято назвать интерполяцией, а данное условие называется главным условием интерполяции.

Интерполяция, приближающая значения $f(x)$, представляет собой алгебраический многочлен:

$$P_n(x) = a_n \cdot x^n + a_{n-1} \cdot x^{n-1} + \cdots + a_1 \cdot x + a_0 \tag{2}$$

где a_k его коэффициенты, при $k = 0, 1 \ldots n$.

Необходимо рассмотреть случай попарной различности узлов интерполяции: x_k, где $k = 0, 1 \ldots n$, где $P_n(x)$, представленный (2), определен одним единственным образом, при этом он должен удовлетворять главное условие интерполяции (ГУИ) (1). Нужно определить коэффициенты данного многочлена: a_k, $k = 0, 1 \dots n$, так, чтобы этот многочлен являлся решением задачи интерполирования.

Для этого осуществляется подстановка данного многочлена в левую часть равенства (1). Отсюда получается:

$$\begin{cases} \mathrm{a}_n \cdot x_0^n + a_{n1} \cdot x_0^{n-1} + \cdots + a_1 \cdot x_0 + a_0 = f_0 \\ \mathrm{a}_n \cdot x_1^n + a_{n1} \cdot x_1^{n-1} + \cdots + a_1 \cdot x_1 + a_0 = f_1 \\ \cdots \\ a_n \cdot x_n^n + a_{n1} \cdot x_n^{n-1} + \cdots + a_1 \cdot x_n + a_0 = f_n \end{cases} \tag{3}$$

Данная система (3) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных: $a_n, a_{n-i}, \dots a_i, a_0$. Для того, чтобы СЛАУ (3) имела единственное решение, необходимо, чтобы определитель Вандермонда был отличен от 0. Вычисляется этот определитель по следующей формуле:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \mathrm{x}_0^n & \mathrm{x}_0^{n-1} & \cdots & \mathrm{x}_0 & 1 \\ \mathrm{x}_1^n & \mathrm{x}_1^{n-1} & \cdots & \mathrm{x}_1 & 1 \\ \cdots & & & & \\ \mathrm{x}_n^n & \mathrm{x}_n^{n-1} & \dots & \mathrm{x}_n & 1 \end{vmatrix} = \prod_{j>i;j,i=0,1,\dots,n.} (x_j - x_i) \neq 0 \tag{4}$$

Определитель СЛАУ (3) отличен от 0 в том случае, когда все узлы интерполяции: x_k, $k = 0, 1 \dots n$; будут различными. То есть, $x_j = x_i$ если $j = i$. Соответственно, если узлы интерполяции попарно различны, то определитель будет отличен от 0 и СЛАУ (3) будет иметь единственно решение.

После этого, решив систему (3) любым известным численным методом, будет найдено искомое значение коэффициентов: $a_n, a_{n-i}, \dots a_i, a_0$. Полученные коэффициенты подставляются в правую часть (2), что позволяет получить аналитическое представление искомого интерполяционного многочлена $P_n(x)$, который называется интерполяционным многочленом в общем виде.

В третьей главе «Сплайн-интерполяция» рассказывается о кубических сплайнах, алгоритме их построения и свойствах.

Существует строгое определение сплайна. Путь отрезок $[a, b]$ разбит точками $a = x_0 < x_1 < \ldots < x_n = b$ на n частичных отрезков $[x_i, x_{i+1}]$. **Сплайном степени m** называется функция $S_m(x)$, имеющая следующие свойства:

1. функция $S_m(x)$ непрерывна на отрезке $[a, b]$ вместе со всеми своими производными $S_m^{(1)}(x), S_m^{(2)}(x), \ldots, S_m^{(p)}(x)$, до некоторого порядка p;
2. на каждом частичном отрезке $[x_i, x_{i+1}]$ функция $S_m(x)$ совпадает с некоторым алгебраическим многочленом $P_{m,i}(x)$ степени m.

Разность $m-p$ между степенью сплайна и наивысшем порядком непрерывной на отрезке $[a, b]$ производной называется **дефектом сплайна**.

Интерполяционный кубический сплайн $S_3(x)$ - это сплайн третьего порядка, у которого, по крайнем мере, имеется непрерывная первая производная. Значение $s_i = S_3'(x_i)$ является наклоном сплайна в узле x_i.

Существует несколько различных видов граничных условий. При построении интерполяционного сплайна третьего порядка часто используют граничные условия следующих типов:

1. Если известны значения первой производной $f'(a)$ и $f'(b)$ в граничных точках, то естественно положить:

$$S'(a) = f'(a), \qquad S'(b) = f'(b).$$

2. Если известны значения второй производной $f''(a)$ и $f''(b)$ в граничных точках, то можно на сплайн наложить следующие граничные условия:

$$S_3''(a) = P_{3,1}''(x_0) = f''(a), \qquad S_3''(b) = P_{3,n}''(x_n) = f''(b).$$

3. Если функция f является периодической с периодом равным $b-a$, то естественно требовать выполнение следующих условий:

$$S'(a) = S'(b), \qquad S''(a) = S''(b).$$

4. При отсутствии дополнительной информации о значениях производных на концах отрезка, используется подход, который состоит в использовании условия «отсутствия узла». Производится выбор наклонов s_i таким образом, чтобы для получаемого сплайна выполнялись условия

$P_{3,1}(x) \equiv P_{3,2}(x), P_{3,n-1}(x) \equiv P_{3,n}(x)$, для которых достаточно потребовать совпадения в точках x_1 и $xn-1$ их третьих производных:

$$P^{(3)}_{3,1}(x_1) = P^{(3)}_{3,2}(x_1), \qquad P^{(3)}_{3,n?1}(x_{n-1}) = P^{(3)}_{3,n}(x_{n-1}).$$

При практическом использовании сплайнов третьего порядка в целях интерполяции приходится сталкиваться с проблемой выбора граничных условий. Данный выбор делается в зависимости от того, какие данные об интерполируемой функции $f(x)$. Наибольшие трудности возникают, когда заданы только узловые значения f_i без соответствующих производных.

Кубический сплайн дефекта 1 можно рассматривать как эрмитов кубический сплайн, удовлетворяющий условию непрерывности второй производной. Введем обозначения $S'_{3,1}(x_i) = s_i, i = 0, ..., n$. В соответствии с формулой (**??**) получается:

$$S_{3,1}(x) = f_i(1-t)^2(1+2t) + f_{i+1}t^2(3-2t) + s_ih_it(1-t)^2 - s_{i+1}h_it^2(1-t), \quad (5)$$

где h_i и t имеют аналогичные вычисления.

Кубический сплайн такого вида на каждом из промежутков $[x_i, x_{i+1}]$, непрерывен вместе со своей первой производный на всем интервале $[a, b]$, поэтому требуется выбрать такие значения s_i, чтобы и вторая производная также была непрерывной. Так как:

$$S''_{3,1}(x) = \frac{(f_{i+1} - f_i)(6-12t)}{h_i^2} + \frac{s_i(6t-4)}{h_i} + \frac{s_{i+1}(6t-2)}{h_i}, \quad (6)$$

то при подстановке $x = x_i$ на промежутках $[x_{i-1}, x_i]$ и $[x_i, x_{i+1}]$ вычисляются левая и правая производные второго порядка:

$$S''_{3,1}(x_i - 0) = 2\frac{s_{i-1}}{h_{i-1}} + 4\frac{s_i}{h_{i-1}} - 6\frac{f_i - f_{i-1}}{h_{i-1}^2},$$

$$S''_{3,1}(x_i + 0) = -4\frac{s_i}{h_i} - 2\frac{s_{i+1}}{h_i} + 6\frac{f_{i+1} - f_i}{h_i^2}.$$

Исходя из этих вычислений, условие непрерывности второй производной $S''_{3,1}(x)$ в точках x_i, являющихся внутренними, при $i = 1, ..., n-1$ выглядит следующим образом:

$$\lambda_i \mu_{i-1} + 2s_i + \mu_i s_{i+1} = 3(\mu_i \frac{f_{i+1} - f_i}{h_i} + \lambda_i \frac{f_i - f_{i-1}}{h_{i-1}}), \qquad (7)$$

где в данном случае $\mu = h_{i-1} \times (h_{i-1} + h_i)^{-1}, \lambda = 1 - \mu_i$.

К уравнениям вида (7) следует добавить уравнения из краевых условий. Получится следующая система из $n+1$ уравнений для определения $n+1$ неизвестных $s_i, i = 0, .., n$.

Таким образом, построение кубического интерполяционного сплайна по формуле (5) сводится к нахождению значений s_i при помощи системы (7), дополненной двумя различными граничными условиями из четырех типов. Во всех четырех случаях матрицы систем являются матрицами с диагональным преобладанием. Данные матрицы считаются невырожденными, следовательно, системы имеют решение и для каждой оно единственно. То есть, кубический сплайн для функции $f(x)$ существует и единственен.

Аппроксимационные свойства интерполяционного сплайна зависят от гладкости функции f, то есть чем выше гладкость интерполируемой функции, тем порядок аппроксимации выше и тем выше скорость сходимости при измельчении сетки. Если интерполируемая функция $f(x)$ непрерывна на $[a, b]$, то есть $f(x) \in C^0[a, b]$, то

$$||f(x) - S(x)||_C = \max_{x \in [a,b]} |f(x) - S(x)| \to 0$$

при

$$h = \max_{0 \leqslant i \leqslant N-1} h_i \to 0.$$

Если интерполируемая функция $f(x)$ имеет на $[a, b]$ непрерывную первую производную, то есть выполняется $f(x) \in C'[a, b]$, а $S(x)$ - интерполяционный сплайн, который удовлетворяет граничным условиям 1-го или 4-го типа, то при $h \to 0$ имеем следующее:

$$||f(x) - S(x)||_C = o(h), \qquad ||f'(x) - S'(x)||_C = o(1).$$

В данной ситуации не только сплайн сходится к интерполируемой функции, но и сама производная сплайна сходится к производной этой функции. Если же $f(x) \in C^4[a, b]$, а сплайн $S(x)$ аппроксимирует функцию $f(x)$ на отрезке $[a, b]$ и при этом его 1-я и 2-я производные аппроксимируют соответственно функции $f'(x)$ и $f''(x)$, то

$$||f(x)-S(x)||_C = o(h^4), \quad ||f'(x)-S'(x)||_C = o(h^3), \quad ||f''(x)-S''(x)||_C = o(h^2).$$

Для сплайна с дефектом 1 два свободных параметра обычно фиксируют двумя граничными условиями. Общая точность аппроксимации находится в зависимости от этих условий. Максимально достижимая точность для кубического сплайна составляет $o(h^4)$ (где h – расстояние между узлами). Часто в качестве граничных условий выбирают нулевые граничные условия на вторые производные на концах, потому как это соответствует минимизации кривизны графика. Однако, погрешность аппроксимации при этом резко ухудшается – достигая порядка $o(h^2)$. Заметить данное ухудшение можно на крайних отрезках.

Пускай функция f на отрезке $[a, b]$ имеет непрерывную производную четвертого порядка и $M_4 = max_{[a,b]}|f^4(x)|$. Тогда для интерполяционного кубического сплайна $S_3(x)$, который удовлетворяет граничным условиям из четырех типов, существует следующая оценка погрешности:

$$\max_{[a,b]} |f(x)^{(r)} - S_3^{(r)}(x)| \leqslant C_r M_4 h_{max}^{4-r}, \quad r = 1, 2, 3. \tag{8}$$

При этом стоит обратить внимание на то, что сплайн $S_3(x)$ сам аппроксимирует функцию $f(x)$, а его производные приближают соответствующие производные этой же функции.

В четвертой главе «Индикатор ATR» рассказывается об индикаторе ATR (Средний истинный диапазон), что показывает данный индикатор и как использовать его в трейдинге.

Индикатор ATR отображает средний истинный диапазон движения эмитента. На рынке данный индикатор помогает трейдерам в расчете необходимого значения ордера Stop-loss, а также используется в позиционных стратегиях торговли.

Индикатор среднего истинного диапазона был разработан Дж. Уэллсом Уайлдером в 1978 году. Изначально Average True Range разрабатывался для товарных рынков с целью определения волатильности движения цены. Однако позже, индикатор ATR стал успешно использоваться трейдерами.

Уайлдер изначально изучал истинный диапазон цен (True Range) путем вычисления разницы между максимумом и минимумом цены, либо между максимумом (минимумом) текущей цены и цены предыдущего закрытия. При этом, у Уайлдера был двоякий подход к измерению истинного диапазона цен: если расстояние между максимумом и минимумом цены была небольшой, то он высчитывал TR в зависимости от цены закрытия предыдущего периода, в противном случае этот индикатор брал в расчет только разницу между максимумом и минимумом текущей цены.

Однако в этом подходе определения истинного диапазона цен были свои недостатки, поскольку он не учитывал возможные разрывы цены (гэпы). Поэтому, в дальнейшем истинный диапазон цен дополнился усреднением значений каким-либо из методов: экспоненциальной или простой средней. Так возник индикатор ATR, который показывает волатильность движения цены эмитента.

Поскольку инструмент представляет собой индикатор волатильности, ATR отражает только один показатель - активность цены за заданный временной интервал. По его линии можно судить только о волатильности актива. Это означает, что данные индикатора показывают возможный диапазон движения цен на текущем периоде ценового графика.

Индикатор ATR не показывает:

— Направление тренда. Хотя иногда направление его линии и совпадает с направлением движения ценового графика, судить по ней о господствующей на рынке тенденции невозможно.
— Силу тренда. Нередко бывает так, что тренд продолжает развиваться, а линия индикатора уже прошла максимум и снижается.
— Области перекупленности и перепроданности. Индикатор рассчитывается в абсолютных, а не относительных единицах, поэтому, хотя его и относят к осцилляторам, зон насыщения (перекупленности или перепроданности) он не формирует. Не может он их формировать и по

другой причине - направление движения цены он не отражает.

В результате ATR не относят к сигнальным индикаторам - по его показаниям практически невозможно определять точки входа и выхода. Хотя он может оказать в решении этой задачи очень серьезную помощь.

В трейдинге ATR нашел применение именно как индикатор флэтовых и трендовых движений. Он часто используется в этом качестве непосредственно в торговых системах (ТС) и для разработки других индикаторов. Рассматривают ситуации:

— **ATR на минимальных значениях**. Волатильность низкая, малый диапазон движения цен, скорее всего, флэт.
— **ATR растет**. Волатильность, а значит, активность торгов повышается, возможны сильные движения и зарождение тренда.
— **ATR прошел максимум**. Волатильность начинает снижаться, что говорит о потере интереса трейдеров к торгам. Возможен переход во флэт или к коррекции

Однако трактовать таким образом его показания не лучший вариант - понятия минимумов и максимумов неоднозначны, особенно если принимать во внимание расчет показаний индикатора в абсолютных единицах.

Нередко трейдеры пытаются справиться с этой проблемой, размечая в окне индикатора некоторый граничный уровень. Значения ATR ниже него говорят о низкой волатильности и, естественно, отсутствии активности на рынке. Всплеск волатильности выше порогового значения рассматривается как предупреждение о возрастающей активности и возможностях поиска моментов для заключения сделок.

Однако и этот вариант сложно считать удачным. Он подходит только для активов, которые слабо реагируют на изменения обстановки на рынках. Для остальных же такие перемены могут означать значительный рост или уменьшение волатильности даже во время боковых движений. Поэтому опытные трейдеры предлагают использовать не статический уровень, а динамический, например, скользящую среднюю с периодом больше периода усреднения ATR.

В этом случае о растущей активности на рынке говорят, когда его линия находится выше MA, а о ее снижении - при расположении линии ATR под скользящей средней.

Еще один более практичный вариант применения ATR - размещение стоп-приказов. Логично предполагать, что от цены открытия свечи смещение максимума или минимума на уровень, превышающий ATR, маловероятно. Например, трейдер покупает акции условной компании ABC по 100 рублей за штуку на открытии свечи. Показания ATR составляют 4 рубля. Соответственно, если выставить стоп-лосс на уровне 96 рублей (цена открытия и покупки - ATR), он не будет сорван рыночным шумом.

На практике при расчете уровня стоп-лосс используют значение ATR с коэффициентом от 2 до 4. Это еще больше снижает вероятность срабатывания ордера от случайных движений цены, но увеличивает риски инвестора.

Такие рассуждения легли в принцип построения ценовых каналов на базе ATR. Используется та же идея, что в полосах Боллинджера - ось канала представляет собой скользящую среднюю, а границы располагаются от нее на расстоянии от 1 до 4 ATR. Вариант реализации такого канала получил названия канала Кельтнера.

Таким образом, индикатор волатильности ATR, хоть и не является сигнальным инструментом технического анализа, но несет значительный объем полезной информации. Его в комбинации с другими индикаторами можно использовать для идентификации удачных точек входа, а также расстановки ордеров для ограничения убытков и фиксации прибыли.

Расчет индикатора ATR:

$$ATR = MovingAverage(TR_i, N),$$

где TR_i - выбор вероятностной модели расчета из трех: $(High-Low)$, $(High-Close_i-1)$, $(Low-Close_i-1)$. N – период расчета.

В пятой главе «Применение сплайн-интерполяции при приближении индикатора ATR» поставлена практическая задача дипломной работы и описана ее реализация.

Задача заключается в том, чтобы на языке программирования реализовать эксперимент по приближению функции индикатора ATR с помощью кубического сплайна. Реализация эксперимента будет осуществляться с помощью программного кода на языке Python. Данный язык является очень удобным и применим для широкого перечня задач. Так же у языка программирования Python имеется множество библиотек, с помощью которых можно достичь решение намного быстрее. В частности, для поставленной задачи лучше всего справляются библиотеки:

1. **scipy.interpolate.CubicSpline** - данная библиотека интерполирует данные с помощью кусочно-кубического полинома, который дважды непрерывно дифференцируется. Результат представляется в виде экземпляра PPoly с точками остановки, соответствующими заданным данным.
2. **mplfinance.original_flavor** - данная библиотека необходима для построения финансовых графиков.

Для проверки эффективности приближения индикатора ATR при помощи интерполирования сплайнами используются исторические данные о котировках акций по нескольким компаниям за временной интервал с 01.04.2020г по 01.04.2024г. На основании данных котировок строятся графики: свечной график, гистрограмма объектов и график ATR.

С помощью кубического сплайна приближенно представляется функция индикатора ATR по более разряженным данным и определяется погрешность равномерного приближения. По имеющимся инструментам собираются статистические данные и производится подсчет успешных прогнозов, по которым будут сформулированы выводы об эффективности.

Для проведения численного эксперимента данные о котировках будут автоматически закачиваться с сайта www.finam.ru при помощи запроса, реализованного в коде. Результаты работы программы представлены в таблицах ниже.

Таблица 1 – Результаты экспериментов компании «Газпром»

Газпром						
	D	W	D	W	D	W
Кол-во точек	k = 3	k = 3	k = 5	k = 5	k = 8	k = 8
Погрешность	39,6	52,9	17,7	26	10,1	14,5
Успешные прогнозы	96%	93%	96%	92%	94%	91%

Таблица 2 – Результаты экспериментов компании «Роснефть»

Роснефть						
	D	W	D	W	D	W
Кол-во точек	k = 3	k = 3	k = 5	k = 5	k = 8	k = 8
Погрешность	72,3	77,5	34,7	45,9	17,5	21,6
Успешные прогнозы	97%	93%	96%	93%	95%	91%

В заключении подведены итоги работы, сказано о выполнении поставленных целей и задач.