Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра теории функций и
стохастического анализа

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 218 группы
направления 01.03.02 — Прикладная математика и информатика
механико-математического факультета
Моруговой Анастасии Владиславовны

Научный руководитель
доцент, к. ф.-м. н. ____________ М. Г. Плешаков

Заведующий кафедрой
доцент, д. ф.-м. н. ____________ С. П. Сидоров

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ

В задачах экономического прогнозирования основной интерес представляют параметры, от которых зависит изучаемый экономический процесс, а они чаще всего нелинейно зависят от времени. Поэтому не все типы экономико-математических методов могут сформировать достоверный прогноз.

Есть два основных подхода для изучения систем: нелинейно-динамический и статистический. Для нелинейно-динамического подхода основой является учёт всех внутренних особенностей изучаемой системы, а для статистического — все факторы считаются неопределёнными или случайными. Да, определенно, что каждый экономический процесс подвержен влиянию неопределённых факторов и явлений. Но даже если найти все статистические закономерности, которые влияют на ход процесса, то предсказать поведение исследуемого процесса с большой вероятностью не получится, но это успешно исследуется в области нелинейной динамики. Из-за нелинейного взаимодействия между исследуемыми переменными, а также из-за влияния внешней среды, для процессов становится характерно хаотическое поведение. Хаос случается в нелинейных динамических системах. Иначе говоря, любой процесс, который протекает со временем, может быть хаотичным (например, высота дерева, температура тела или популяция мадагаскарских тараканов). Поведение экономечеких систем, которые подвержены исследованию, чаще всего определяется не только случайностью внутренней системы, но и сложностью внутри структуры, о чем говорят результаты современных экономических исследований.

Изменение начальных условий и внешних параметров для многих экономических систем могут привести к резким изменениям характера поведения таких систем. Например, если взять традиционную систему экономики, в которой традиции определяют, какие услуги и товары производить, для кого и каким способом. Сменим главный фактор — традиционность, например, на государство, и теперь оно будет решать, какие услуги и товары следует производить, в каких количествах, и для кого. Разумеется, традиционная экономическая система потеряет свой первоначальный облик.

При различных начальных условиях, в таких системах не исключено существование значений, к которым показатели процессов стремятся с течением времени. Структурные изменения, которые вызваны небольшими сдвигами параметров, часто приводят к регулярному поведению (поведение системы, обладающей регулярной структурой, как правило, может быть предсказано), которое зависит от времени — предельным циклам. У экономических систем есть колебания наблюдаемых значений, которые различаются амплитудой, областью распространения и длительностью. Для объяснения колебаний в экономических процессах были выделены две группы явлений, которые влияют на них. Первая группа — это случайные факторы, которые влияют на смещение системы от равновесия. Пока система сохраняет состояние, которое близко к равновесию, получаемая траектория динамики экономического процесса может иметь вид осцилляторных скачков. Вторая группа — осцилляции могут возникнуть из-за сложных нелинейных взаимодействий между внутренними процессами.

Общей мыслью экономических теорий является признание того, что экономические циклы развиваются из-за внутренних причин, то есть уделяется много внимания внутренней динамике экономических систем. Эти теории, в общем, говорят о том, что результат такой динамики для современной экономики дает регулярные закономерности изучаемых процессов. Данная работа посвящена изучению процесса изменения кросс-курса валют, который выражен в виде временного ряда.

Как правило, анализ финансового объекта, представленного временным рядом, осуществляется методами нелинейной динамики, если этот объект характеризуется не слишком большой волатильностью, то есть изменчивостью цены. Однако, в работе в качестве объекта исследуется именно кросс-курс валют, при этом, для сравнения, были выбраны наиболее устойчивые и неустойчивые пары.

В качестве исследуемого экономического процесса рассматривается временной ряд, который представляет собой динамику кросс-курса валют:

1) Швейцарский франк/Российский рубль;
2) Японская иена/Российский рубль;
3) Доллар США/Российский рубль;
4) Евро/Российский рубль;
5) Швейцарский франк/Японская иена;
6) Японская иена/Швейцарский франк;
7) Доллар США/Евро;

8) Евро/Доллар США.

Используются данные из архивов открытых источников «Центральный банк Российской Федерации» и «Investing», в котором данные предоставлены за период с 01.01.2015 по 31.12.2017. Данные взяты за каждый день, за исключением праздников и выходных дней. Решается задача построения и определения максимального времени прогнозируемости кросс-курса валют.

Актуальность темы. Изучение и анализ временных рядов сводится, чаще всего, к вопросу предсказания поведения экономической системы. А для анализа и прогнозирования данных требуется знать, какова природа исследуемых процессов, устойчивы ли они или нет. Что понимать под устойчивостью? Пусть у нас дана динамическое система, и есть решение с заданными начальными условиями. Если поведение решений с условиями близкими к начальным «не сильно отличается» от поведения исходного решения, то поведение можно считать устойчивым. «Не сильно отличается» можно понимать по-разному, в этой работе используется определение устойчивости по Ляпунову.

Вопрос устойчивости может возникнуть при прогнозировании курса валюты. Например, дан график зависимости курса валюты от времени, следует определить, устойчива ли валюта на какой-либо будущий промежуток времени или нет. Проблема заключается в том, что нет математической модели системы, приведена лишь выборка, то есть наблюдения через равные промежутки времени.

Показателем устойчивости является старший показатель Ляпунова; если он положителен, то это критерий того, что данные можно считать неустойчивыми, а порождающая динамическая система хаотическая. Такие системы не поддаются прогнозированию на большой, т.е. имеющий практическую ценность, промежуток времени.

Вообще, в различных физических приложениях знание спектра ляпуновских характеристических показателей полезно как с теоретической точки зрения, так и с практической. В практическом случае наибольший интерес представляет изучение связи ляпуновских показателей динамической системы с параметрами системы, что открывает широкие возможности по управлению статистическими характеристиками колебательных процессов. Такую информацию о связи несомненно хочется получить непосредственно из эксперимента. Однако в определении ляпуновских характеристических показателей из эксперимента есть отставание по сравнению с заметным прогрессом, который достигнут в технике вычислений ляпуновских характеристических показателей с помощью алгоритмов, основанных на численном интегрировании системы модельных дифференциальных уравнений. Это главным образом связано с тем, что лишь сравнительно недавно было получено строгое математическое обоснование возможности восстановления, или реконструкции, структуры аттракторов по одному эксперименту. Использовавшиеся до этого методики основывались на применении очень громоздкого оборудования для одновременной записи временных реализаций большого числа динамических переменных.

Основой алгоритмов вычисления ляпуновских характеристических показателей по одной реализации является процедура реконструкции аттрактора, строгим теоретическим обоснованием которой является теорема Такенса. Суть самой процедуры реконструкции состоит в том, что значение динамической переменной x_i в каждой группе отсчетов объявляется проекцией фазовой точки, связанной с данной группой, на i-ю координатную ось в m-мерном фазовом пространстве. В результате этого одномерная реализация как бы скручивается в m-мерный спиралевидный аттрактор сложной формы, который является метрическим аналогом реального аттрактора при условии равенства их фазовых пространств.

Величина максимального ляпуновского характеристического показателя определяется по изменениям расстояния между двумя соседними витками спирали реконструированного аттрактора в направлении максимального разбегания траектории.

Поведение валюты на рынке является менее предсказуемым, чем поведение акций, поэтому торговать валютой немного сложнее, чем может казаться. Но при разумном подходе при торговле валютой можно не только сохранить свои средства, но и ещё приумножить.

Свободный рынок, регулируемый спросом и предложением, — настолько хорош, насколько и опасен. Поскольку на благополучие страны курсы валют оказывают не последнее влияние, то свободно плавающие курсы валют создают большие проблемы для регулирования и прогнозирования экономики страны. Следовательно, насколько современный валютный рынок привлекателен для спекуляций, настолько же он опасен для бизнеса и мировой экономики.

Вопросы волатильности и предсказуемости рынка широко изучаются в современных научных исследованиях применительно к теории эффективности рынка. Фундаментальная теория финансовых рынков, восходящая к трудам Г. Марковица, Дж. Тобина и др., утверждает, что текущая рыночная цена учитывает всю имеющуюся информацию, поэтому рынок можно назвать эффективным в том смысле, что любые краткосрочные изменения котировок являются случайными и выявить какие-либо закономерности невозможно. Иными словами, рынок представляется непредсказуемым, и любые спекуляции на нем закончатся чистыми убытками для их участников.

Особый интерес представляет проблема волатильности валютного курса, которая затрагивает всё население, а не только участников биржевого рынка.

Актуальность проблемы устойчивости экономики генетически связана с природой рынка, динамизм которого порождает неустойчивость. Данная неустойчивость может принять угрожающий характер под воздействием внешних и внутренних факторов развития. Главным критерием оценки устойчивости экономической системы является сохранение её параметров при неблагоприятных воздействиях внешней и внутренней среды развития. Как многогранное явление, устойчивость экономики проявляется через стабильность показателей и сбалансированность пропорций развития. Устойчивая экономическая система может успешно противостоять угрозам экономического, политического, социального плана.

Устойчивость экономической системы в целом — это ее способность противостоять неблагоприятным внутренним и внешним силам, сохраняя при этом параметры развития, стабильные показатели и оптимальные пропорции, динамизм развития и эффективное использование ресурсов, сохраняемых и воспроизводимых для нужд страны и будущих поколений. Совокупная устойчивость экономической системы может складываться за счет устойчивости ее элементов и уровней, обеспечиваться за счет ее разновидностей (финансовой, экологической, инвестиционной и пр.). Главным показателем и условием обеспечения устойчивости экономической системы является устойчивый экономический рост.

В ряде работ показатель Ляпунова используется при анализе экономических временных рядов, например, в статьях: «Комплексная методика анализа экономических временных рядов методами нелинейной динамики», «Методы нелинейной динамики в исследовании эндогенных факторов развития российского фондового рынка в конце XX — начале XXI в.», «Модели хаоса для процессов изменения курса акций».

Целью данной работы является реализация модуля, который по рыночным данным определяет, являются ли они устойчивыми, и определение максимального времени предсказуемости динамики кросс-курса валют как величину, обратную для старшего показателя Ляпунова. Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

— анализ предметной области;
— реализация подходящего алгоритма;
— тестирование на реальных данных.

Определение старшего показателя Ляпунова можно условно разделить на две части:

— реконструирование аттрактора исходной системы;
— непосредственное вычисление старшего показателя Ляпунова.

Работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, библиографического списка и приложений.

1 Основная часть

Первый раздел *Основные понятия теории хаоса* посвящён общим понятиям динамической системы, хаоса, характеристикам динамических систем с хаотическим поведением, обоснованности применения таких моделей в экономике и сложностям, которые при этом возникают.

Дано общее понятие динамической системы. Под динамической системой обычно понимается система произвольной природы (физической, химической, биологической и т.д.), которая изменяется со временем.

Изменение её состояния со временем называют эволюцией динамической системы, а уравнения, которые описывают эти изменения — уравнениями эволюции системы. Величины в таких уравнениях описывают состояние динамической системы и названы фазовыми координатами. Фазовое пространство — это множество значений фазовых координат, то есть пространство, где «живет» динамическая система.

Динамическая система называется хаотической, если она имеет долговременное апериодическое поведение и имеет высокую чувствительность к значениям начальных условий. Чувствительность к значениям начальных условий означает, две очень близкие точки фазового пространства имеют траектории, намного отдаляющиеся друг от друга с течением времени. Таким образом, малые причины могут приводить к большим последствиям. Как меру скорости расхождения близких траекторий вводят старший показатель Ляпунова (экспоненту Ляпунова). Наличие у динамической системы положительного показателя представляет собой признак хаотичности данной системы.

Хаотические системы в основном являются диссипативными системами. Любая диссипативная динамическая система, имеет аттрактор — компактное подмножество фазового пространства, к которому асимптотически «притягиваются» траектории эволюции всех точек системы, расположенных недалеко от этого подмножества. Основная задача анализа хаотических сигналов состоит в нахождении таких параметров системы, как размерность пространства вложения и временная задержка сигнала.

Введены основные свойства и классификация, а так же способы задания динамических систем.

Подраздел *Теория хаоса* гласит, что сложные системы чрезвычайно зависимы от первоначальных условий, и небольшие изменения в окружающей среде могут привести к непредсказуемым последствиям.

Математические системы с хаотическим поведением являются детерминированными, то есть подчиняются некоторому строгому закону, и, в некотором смысле, являются упорядоченными. Такое использование слова «хаос» отличается от его обычного значения (например, хаос в мифологии). Отдельная область физики — теория квантового хаоса — изучает недетерминированные системы, подчиняющиеся законам квантовой механики.

Пионерами теории считаются французский физик и философ Анри Пуанкаре (доказал теорему о возвращении), советские математики А. Н. Колмогоров и В. И. Арнольд и немецкий математик Ю. К. Мозер, построившие теорию хаоса, называемую КАМ (теория Колмогорова — Арнольда — Мозера). Теория вводит понятие аттракторов (в том числе, странных аттракторов как притягивающих канторовых структур).

В 1987 году Пер Бак, Чао Тан и Курт Висенфелд напечатали статью в газете, где впервые описали систему самодостаточности (СС), которая является одним из природных механизмов. Многие исследования тогда были сконцентрированы вокруг крупномасштабных естественных или социальных систем. Система самодостаточности стала сильным претендентом на объяснение множества естественных явлений, включая землетрясения, солнечные всплески, колебания в экономических системах.

Теория хаоса прогрессировала как межпредметная дисциплина, для которой важнейшим содержанием и некоторым девизом был «анализ нелинейных систем».

Доступность более дешёвых, более мощных компьютеров расширяет возможности применения теории хаоса. В настоящее время теория хаоса продолжает быть очень активной областью исследований, вовлекая много разных дисциплин (математика, топология, физика, биология, метеорология, астрофизика, теория информации, и т. д.).

Во втором разделе рассмотривается основная часть, которая посвящена характерическим показателям Ляпунова для систем, заданных дифференциальным уравнением, отображений, и для случая временных рядов. Так же рассматривается авторегрессионный анализ как основа для методов нелинейной динамики.

Поскольку предполагается, что известен лишь сам временной ряд x_i, а также всегда можно создать «шум» — последовательность некоррелированных и одинаково распределенных случайных величин ξ_i с нулевым средним ($E\xi_i = 0$, где $E\xi_i$ — математическое ожидание, от англ. *Expected value*), то возможностей немного. Остается только предположить, что i-й элемент ряда x_i можно представить как некоторую функцию m предшествующих элементов $x_i, \ldots, x_{i-m}$ и $k+1$ случайных величин $\xi_{i-1}, \ldots, \xi_{i-k}$

$$x_i = F(x_i, \ldots, x_{i-m}, \xi_i, \ldots, \xi_{i-k}). \tag{1.1}$$

Раньше, примерно до 1980 г. чаще всего ограничивались линейными функциями F, т.е. моделями вида

$$x_i = a_0 + \sum_{j=1}^{m} a_i x_{i-j} + \sum_{j=0}^{k} b_j \xi_{i-j}. \tag{1.2}$$

Для них было изобретено специальное название: ARMA, от слов AutoRegression — авторегрессия, первая сумма в 1.2, и Moving Average — скользящее среднее, вторая сумма. Коэффициенты a_j и b_j определяют, например, методом наименьших квадратов.

Приводится теорема Такенса, которая основана на тех же идеях, что и известная теорема Уитни из курсов дифференциальной геометрии.

Далее приводится методика построеня аттрактора и метод Паккарда для этой цели.

Согласно теореме Такенса найдётся векторная функция Λ, отображающая пространство состояний системы в евклидово пространство размерности m:

$$z_i = \Lambda(x_i), \quad z_i \in \mathbb{R}^m, \tag{1.3}$$

при этом характеристики обеих систем являются инвариантными, что позволяет определять их по эксперементальным данным, не зная всех переменных системы.

Для нахождения векторов z_i пространства $\mathbb{R}^m$ по временному ряду Паккардом было предложено использовать векторы, получаемые из элементов ряда по тому же принципу, что и в задачах авторегрессии

$$z(t) = [x(t), x(t+\tau), x(t+2\tau), \ldots, x(t+(m-1)\tau)], \tag{1.4}$$

где $x(t)$ — элемент временного ряда, m — размерность пространства вложения, τ — временная задержка (в дискретах времени).

Приводятся основные методы для выбора временной задержки τ:

— метод взаимной информации;

— метод среднего отклонения;

— метод автокорреляционной функции.

А так же методы выбора размерности пространства вложения m:

— метод корреляционной размерности;

— метод ложных ближайших соседей;

— гамма-тест.

В качестве следующего этапа обработки хаотических процессов осуществляется идентификация хаотического процесса путем вычисления максимального показателя Ляпунова.

Понятие устойчивости системы и его меры — показателей Ляпунова — занимает центральное место в теории нелинейных динамических систем. Показатели Ляпунова λ являются количественной мерой расхождения первоначально бесконечно близких траекторий X_0 и $\mathrm{X}_0+\Delta x_0$ в фазовом пространстве (рисунок 1.1). В случае нелинейной хаотической динамики показатели Ляпунова помогают при оценке степени хаотичности системы, ее предсказуемость и чувствительность к начальным условиям.

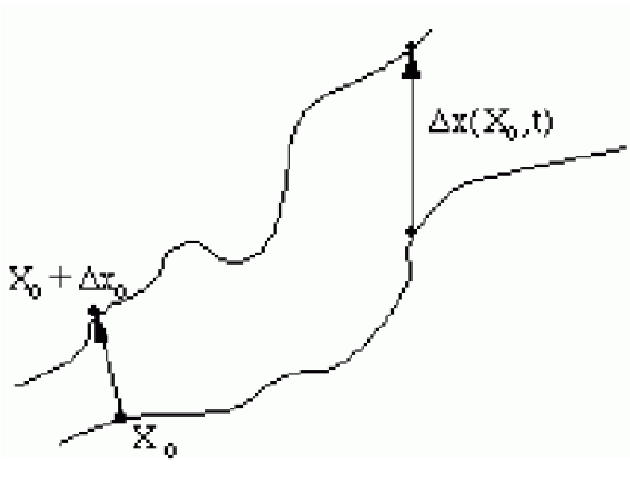

Рисунок 1.1 – Показатели Ляпунова

Рассматриваются пара методов расчета показателей Ляпунова.

1. Расчёт старшего показателя по выборке из единственной координаты.

Этот алгоритм носит имя Вольфа и позволяет рассчитать старший показатель Ляпунова по выборке из единственной координаты. Его использует, когда неизвестны уравнения эволюции системы, и все её фазовые координаты нельзя измерить. Алгоритм Вольфа даёт хорошие результаты, но требует очень большие выборки, что является проблемой для реальных данных.

2. Алгоритм Бенеттина.

Алгоритм Бенеттина применяется для вычисления старшего показателя Ляпунова (более подробно он будет рассмотрен далее). Обобщённый алгоритм позволяет вычислять полный спектр Ляпуновских показателей. К его недостаткам относится то, что он применим, только когда известны уравнения эволюции системы, и можно измерить все её фазовые координаты, что не всегда представляется возможным.

В третьем разделе описана разработка программного алгоритмического обеспечения для вычисления старшего показателя Ляпунова, в котором даётся информация о времени ляпунова.

Проведено исследование, при котором были получены результаты предсказуемости кросс-курсов валют. В ходе исследования хаотических свойств финансовых временных рядов первоначально выдвинута гипотеза о том, что свои деньги лучше хранить в устойчивой валюте, например, швейцарский франк или японская иена, так как именно эти валюты считаются устойчивыми, впоследствии эта информация подтверждена.

Рассмотривается изменение кросс-курса валют (рисунок 1.2, остальные можно посмотреть в приложении Б). Представлен период с 01.01.2015 по 31.12.2017.

Строится фазовый портрет динамической системы. На рисунке 1.3 показаны точки траекторий движения системы в пространстве, которое является инвариантным к фазовому пространству (остальные фазовые портреты для других исследуемых систем можно посмотреть в Приложении В). Каждая точка на рисунках представляет собой точку в пространстве вложений в каждый момент времени t. Можно отметить, что фазовый портрет предполагаемой устойчивой пары валют расположен более компактно, чем предполагаемая неустойчивая.

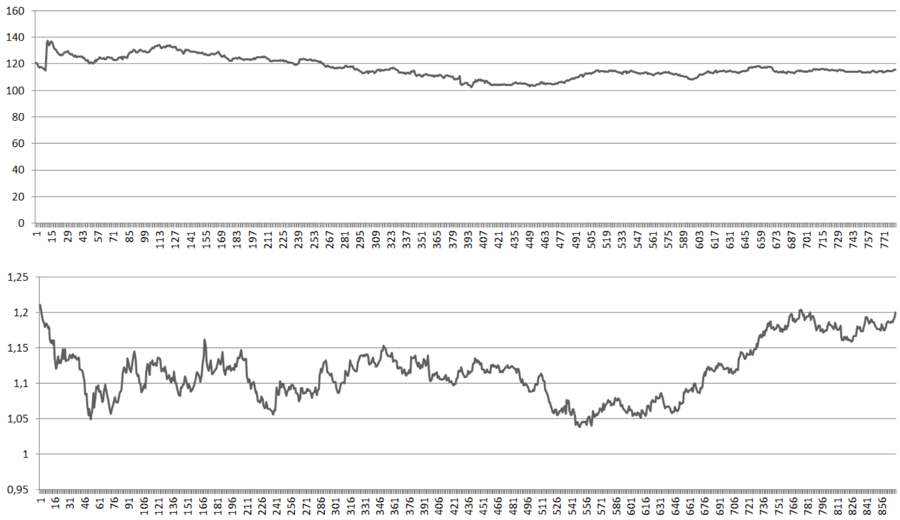

Рисунок 1.2 – Динамика кросс-курсов валют: сверху «Швейцарский франк/Японская иена», снизу «Евро/Доллар США»

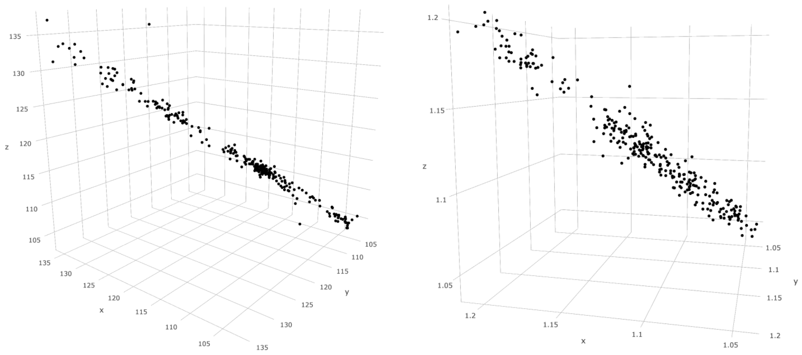

Рисунок 1.3 – Фазовые портреты дискретных систем, определяющих кросс-курс валют: слева «Швейцарский франк/Японская иена», справа «Евро/Доллар США»

Производится расчёт временной задержки методом средней взаимной информации. Для всех кросс-курсов была вычислена временная задержка методом средней взаимной информации (Приложение Г) как наиболее оптимальным из рассмотренных методов. Построение выполнено при помощи программы Fractan. Графики функций средней взаимной информации можно увидеть на рисунке 1.4. Оптимальная временная задержка выбирается тогда, когда достигается первый минимум этой функции, т.е. функция убывает, достигает какой-то минимальной точки, а потом график начинает возрастать, и вот эта первая точка минимума и обозначается как необходимое τ.

Для кросс-курса «Швейцарский франк/Японская иена» τ равняется 19, для кросс-курса «Евро/Доллар США» $\tau = 11$.

Затем производится расчёт пространства вложения методом ложных ближайших соседей.

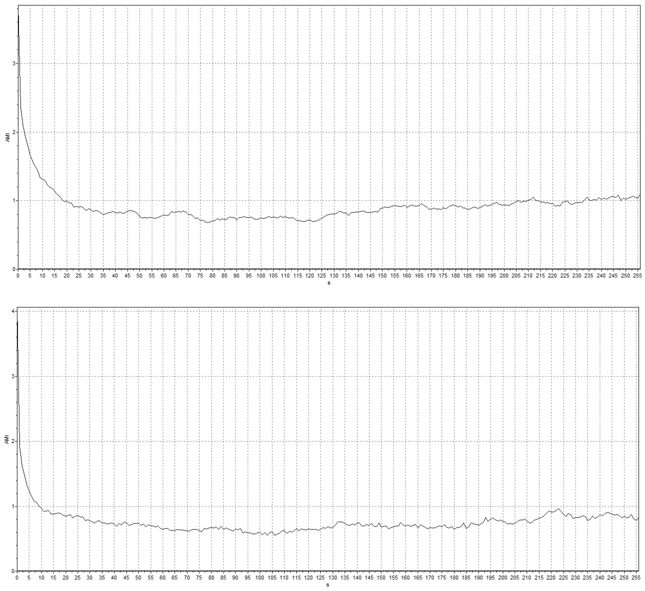

Рисунок 1.4 – Графики функций средней взаимной информации для кросс-курсов валют: сверху «Швейцарский франк/Японская иена» ($\tau = 19$), снизу «Евро/Доллар США» ($\tau = 11$)

На основе метода «ложных ближайших соседей» (алгоримт описан в приложении Д для реализации в среде Matlab) были вычислены размерности пространства вложения для всех временных рядов кросс-курса валют (рисунок 1.5 и приложение Е).

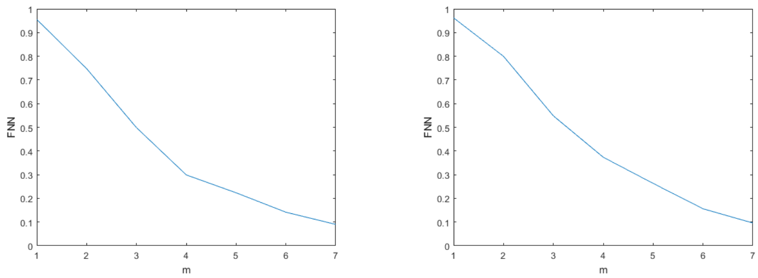

Рисунок 1.5 – Расчет размерности пространства вложения системы методом «Ложных ближайших соседей» для кросс-курсов валют: слева «Швейцарский франк/Японская иена», справа «Евро/Доллар США»

Для всех финансовых временных рядов пространство вложения равно семи. Визуализовать реконструированный аттрактор используя полученные результаты невозможно, так как изображение семимерного пространства нам недоступно, то можно немного упростить и привести некую аналогию восстановленного аттрактора, взяв размерность пространства вложения равным трём, а также взяв вместо рассчитанной оптимальной временной задержки, неоптимальную. Это только для иллюстративности материала, это не настоящие аттракторы для исходных финансовых систем.

В авторской программе из Приложения И построены такие графики. Посмотреть можно на рисунке 1.6, а остальные в Приложении Ж.

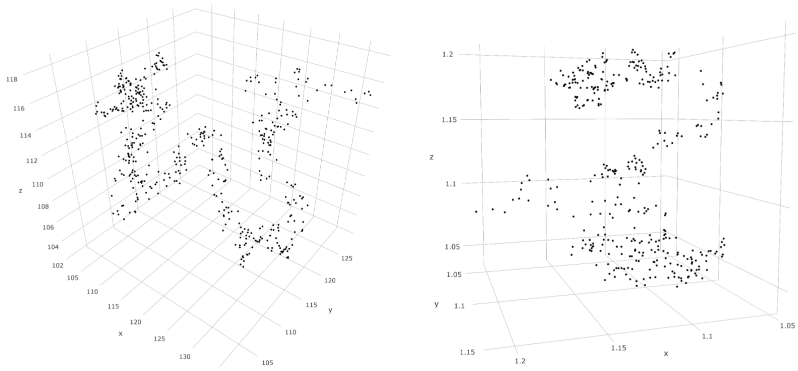

Рисунок 1.6 – Аттракторы, построенные при помощи неоптимальной временной задержки и упрощения размерности вложения для кросс-курсов валют: слева «Швейцарский франк/Японская иена», справа «Евро/Доллар США»

Алгоритм вычисления старшего показателя Ляпунова был разработан на основе метода, предложенного Вульфом для оценки старшего показателя Ляпунова по выборке из одной наблюдаемой координаты.

С учетом вычисленных выше параметров на основании теоремы Такенса восстанавливается последовательность отсчётов в m-мерном пространстве:

$$x_i = [x(i), x(i+\tau), ..., x(i+(m-1)\tau)], \tag{1.5}$$

где $i = \overline{1, N-(m-1)\tau}$.

С учетом полученных параметров реконструкции сигнала, в авторской программе были рассчитаны старшие показатели Ляпунова для всех сигналов, при значении размерности фазового пространства $m = 7$ и для рассчитанной для каждого временного ряда временной задержки τ. Полученные значения рассчитанных показателей Ляпунова в таблице 1.1 таковы, что для кросс-курса «Швейцарский франк/Японская иена» значение $\lambda = -0.0207$, а для «Евро/Доллар США» $\lambda = 0.0069$.

По полученным результатам видно, что показатель Ляпунова принимает отрицательное значение для кросс-курса «Швейцарский франк/Японская иена». Это означает, что система устойчива, и что у неё есть устойчивый периодический режим, то есть при любых начальных условиях система рано или поздно эволюционирует к своей траектории — «предельному циклу».

Таблица 1.1 – Результат работы авторской программы

Швейцарский франк/Японская иена	Евро/Доллар США
Входные данные $m = 7$ $\tau = 19$ Результат вычислений λ = -0.0207	Входные данные $m = 7$ $\tau = 11$ Результат вычислений $\lambda = 0.0069$ $T_L = 144.16$ дня

Положительное значение в случае кросс-курса валют «Евро/Доллар США», что говорит о присутствии хаотической динамики в системе.

Согласно полученным результатам в Приложении З, устойчивые кросс-курсы — это те, которые имеют отрицательное значение, а именно:

1) «Швейцарский франк/Российский рубль»,
2) «Японская иена/Российский рубль»,
3) «Японская иена/Швейцарский франк».

А другие пары валют являются неустойчивыми:

1) «Доллар США/Российский рубль»,
2) «Евро/Российский рубль»,
3) «Доллар США/Евро»

Максимальное время предсказания будет самым большим из исследуемых финансовых временных рядов у «Евро/Доллар США» — 144.16 дня, а самым маленьким у «Евро/Российский рубль» — 8.51 дней.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что те валюты, которые на мировом уровне считаются устойчивыми, являются устойчивыми в смысле ляпунова, неустойчивые — неустойчивыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На языке программирования JavaScript была разработана компьютерная модель, позволяющая выяснять максимальное время предсказуемости поведения динамики курса валют на основе известных данных пространства вложения и оптимальной временной задержки.

На основе показателя Ляпунова можно говорить о максимальном времени предсказуемости поведения экономических систем (в данном случае курса валют) с большой достоверностью за счет учета структурной сложности самих систем. Были получены результаты, которые говорят о том, что если хочется хранить валюту в более-менее стабильном варианте, то лучше всего это делать в Швейцарском франке или Японской иене. Если же хочется заработать и преумножить свои накопления, тогда это лучше подходит для неустойчивой валюты такой, как Евро или Доллар США.

В данной работе был реализован алгоритм одного из методов, целью которых является прогноз поведения финансовых рынков, а именно рынка валют. Полученные знания о временном горизонте, который в каждом конкретном случае отчерчивает границы предсказуемого поведения цен, позволяет принимать решения инвестору. При этом указанные сведения оказываются полезными как инвестору, ориентированному на длительное хранение денежных средств, так и инвестору, ориентированному на биржевую игру. Информация, добытая с помощью показателя Ляпунова, оказывается ощутимым подспорьем в решении перечисленных задач.