**Анализ динамической сети акций индекса S&P 500**

Проект подготовлен Алексеевым Леонидом Владимировичем, студентом группы МО23-1М Финансового университета при правительстве РФ.

**Демонстрация проекта**

**Ссылка на проект:**

<https://sp500-d3-graph.vercel.app/>

**Скриншот сайта:**

**Изображение выглядит как снимок экрана, текст

Автоматически созданное описание**

**1. Описание графовой модели структуры сети**

**Общая характеристика:**

Динамическая структура: Самое главное, что нужно отметить - это нестабильность структуры графа. Количество ребер, средняя степень узлов и стандартное отклонение этих степеней сильно меняются от года к году. Это говорит о том, что взаимосвязи между акциями не являются статичными, а зависят от макроэкономических условий, настроений рынка и других факторов. Граф не является ни постоянно плотным, ни постоянно разреженным, а переходит между этими состояниями.

Разреженность: В целом, граф является разреженным. Это означает, что большинство акций не имеют сильных корреляций с большинством других акций. Плотность графа (количество ребер) значительно меньше, чем максимально возможное количество ребер в полном графе. Это говорит о том, что рынок акций не является однородным и состоит из групп акций, которые более тесно связаны между собой, чем с остальными.

Преобладание одной связной компоненты: Несмотря на разреженность, граф в основном состоит из одной большой связной компоненты. Это означает, что большинство акций косвенно связаны друг с другом через цепочки корреляций. Хотя прямые корреляции между многими парами акций могут быть слабыми или отсутствовать, существует сеть косвенных связей, которая объединяет большинство акций в единую систему.

Неравномерное распределение связей: Распределение степеней узлов является неравномерным. Это означает, что есть акции, которые имеют очень мало связей (степень близка к 0), и есть акции, которые имеют много связей (степень значительно выше средней). Это может указывать на наличие "хабов" или "ключевых" акций, которые играют важную роль в распространении рыночных движений.

Цикличность и фазы: Наблюдается цикличность в изменениях структуры графа. Периоды высокой корреляции (большое количество ребер, высокая средняя степень) чередуются с периодами низкой корреляции (малое количество ребер, низкая средняя степень). Это может быть связано с различными фазами рыночного цикла (рост, спад, консолидация) или с изменениями в макроэкономической ситуации.

Влияние внешних факторов: Динамика графа, вероятно, отражает влияние внешних факторов, таких как экономические кризисы, политические события, изменения в процентных ставках, технологические прорывы и т.д. Например, 2013 и 2017 годы с высокой корреляцией могут быть связаны с периодами стабильного роста, а 2012, 2015 и 2018 годы с низкой корреляцией - с периодами неопределенности или коррекции.

Эволюция рынка: Постепенное увеличение количества узлов отражает эволюцию рынка и добавление новых компаний в индекс S&P 500. Это также говорит о том, что модель должна быть способна адаптироваться к изменениям в составе рынка.

**Общие тенденции:**

Рост количества узлов: Наблюдается постепенное увеличение количества узлов (акций) в графе с 439 в 2010 году до 502 в 2024 году. Это отражает естественное развитие рынка и добавление новых компаний в индекс S&P 500.

Волатильность количества ребер: Количество ребер (сильных корреляций) сильно варьируется от года к году. Это говорит о том, что структура корреляций между акциями не является постоянной и меняется в зависимости от рыночных условий.

Низкая плотность графа: Плотность графа, которая равна количеству ребер, относительно невелика по сравнению с количеством узлов. Это означает, что граф является разреженным, и большинство акций не имеют сильных корреляций друг с другом.

Низкое количество компонент связности: Значение количества компонент связности близко к нулю, что говорит о том, что граф в основном состоит из одной большой связной компоненты. Это означает, что большинство акций косвенно связаны друг с другом через цепочки корреляций.

Наличие узлов с нулевой степенью: Во все годы есть узлы со степенью 0, что означает, что есть акции, которые не имеют сильных корреляций ни с одной другой акцией в данный год.

Широкий диапазон степеней узлов: Наблюдается большой разброс в степенях узлов (от 0 до максимального значения), что указывает на наличие как изолированных акций, так и акций, сильно коррелирующих с многими другими.

**Анализ по годам:**

Характеристики графа 2010:  
Количество узлов: 439  
Количество ребер: 718  
Плотность графа: 718  
Количество компонент связности: 0.007468197751219563  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 43  
Степени узлов - среднее: 3.2710706150341684  
Степени узлов - стандартное отклонение: 6.804635573601475

Относительно высокая плотность графа (718 ребер), средняя степень узлов (3.27) и стандартное отклонение (6.80) говорят о том, что в этом году было больше сильных корреляций, но они были распределены неравномерно.

Характеристики графа 2011:  
Количество узлов: 445  
Количество ребер: 478  
Плотность графа: 478  
Количество компонент связности: 0.00483854641158012  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 31  
Степени узлов - среднее: 2.148314606741573  
Степени узлов - стандартное отклонение: 5.232050232034227

Снижение количества ребер (478) и средней степени (2.15) по сравнению с 2010 годом. Это может указывать на снижение общей корреляции между акциями.

Характеристики графа 2012:  
Количество узлов: 453  
Количество ребер: 132  
Плотность графа: 132  
Количество компонент связности: 0.001289339506534607  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 14  
Степени узлов - среднее: 0.5827814569536424  
Степени узлов - стандартное отклонение: 2.0264542988042242

Резкое снижение количества ребер (132) и средней степени (0.58) говорит о том, что в этом году было очень мало сильных корреляций между акциями. Рынок, возможно, был более фрагментированным.

Характеристики графа 2013:  
Количество узлов: 462  
Количество ребер: 2518  
Плотность графа: 2518  
Количество компонент связности: 0.02364519067339024  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 80  
Степени узлов - среднее: 10.9004329004329  
Степени узлов - стандартное отклонение: 19.366396412534225

Резкий рост количества ребер (2518) и средней степени (10.9) по сравнению с 2012 годом. Это указывает на сильное увеличение корреляций между акциями. Возможно, рынок был более синхронизированным.

Характеристики графа 2014:  
Количество узлов: 469  
Количество ребер: 502  
Плотность графа: 502  
Количество компонент связности: 0.00457419860404935  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 29  
Степени узлов - среднее: 2.140724946695096  
Степени узлов - стандартное отклонение: 4.981742768528988

Снижение количества ребер (502) и средней степени (2.14) по сравнению с 2013 годом. Корреляции между акциями снова ослабевают.

Характеристики графа 2015:  
Количество узлов: 474  
Количество ребер: 127  
Плотность графа: 127  
Количество компонент связности: 0.001132906932141551  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 10  
Степени узлов - среднее: 0.5358649789029536  
Степени узлов - стандартное отклонение: 1.3213887685741268

Дальнейшее снижение количества ребер (127) и средней степени (0.54), аналогично 2012 году.

Характеристики графа 2016:  
Количество узлов: 479  
Количество ребер: 599  
Плотность графа: 599  
Количество компонент связности: 0.005232309291498153  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 23  
Степени узлов - среднее: 2.501043841336117  
Степени узлов - стандартное отклонение: 4.941445733528242

Небольшое увеличение количества ребер (599) и средней степени (2.50) по сравнению с 2015 годом.

Характеристики графа 2017:  
Количество узлов: 481  
Количество ребер: 2070  
Плотность графа: 2070  
Количество компонент связности: 0.017931392931392932  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 75  
Степени узлов - среднее: 8.607068607068607  
Степени узлов - стандартное отклонение: 16.043478423667977

Сильный рост количества ребер (2070) и средней степени (8.61), похожий на 2013 год.

Характеристики графа 2018:  
Количество узлов: 484  
Количество ребер: 204  
Плотность графа: 204  
Количество компонент связности: 0.0017452902828396899  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 73  
Степени узлов - среднее: 0.8429752066115702  
Степени узлов - стандартное отклонение: 3.535699659501603

Резкое снижение количества ребер (204) и средней степени (0.84), снова видим фрагментированный рынок.

Характеристики графа 2019:  
Количество узлов: 490  
Количество ребер: 936  
Плотность графа: 936  
Количество компонент связности: 0.007812695630399399  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 39  
Степени узлов - среднее: 3.820408163265306  
Степени узлов - стандартное отклонение: 7.785492764338896

Увеличение количества ребер (936) и средней степени (3.82), корреляции снова усиливаются.

Характеристики графа 2020:  
Количество узлов: 494  
Количество ребер: 1401  
Плотность графа: 1401  
Количество компонент связности: 0.011505202388089119  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 63  
Степени узлов - среднее: 5.672064777327935  
Степени узлов - стандартное отклонение: 7.731403061150662

Дальнейший рост количества ребер (1401) и средней степени (5.67), возможно, из-за пандемии и ее влияния на рынок.

Характеристики графа 2021:  
Количество узлов: 494  
Количество ребер: 755  
Плотность графа: 755  
Количество компонент связности: 0.00620016260029071  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 37  
Степени узлов - среднее: 3.0566801619433197  
Степени узлов - стандартное отклонение: 7.189751122802579

Снижение количества ребер (755) и средней степени (3.06) по сравнению с 2020 годом.

Характеристики графа 2022:  
Количество узлов: 496  
Количество ребер: 281  
Плотность графа: 281  
Количество компонент связности: 0.0022890192245030956  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 15  
Степени узлов - среднее: 1.1330645161290323  
Степени узлов - стандартное отклонение: 2.61588687162159

Граф 2022 года характеризуется низкой связностью, с небольшим количеством корреляций между акциями, что указывает на относительно изолированные движения цен на рынке. Средняя степень узла также низкая, что говорит о том, что большинство акций не сильно связаны друг с другом.

Характеристики графа 2023:  
Количество узлов: 498  
Количество ребер: 160  
Плотность графа: 160  
Количество компонент связности: 0.0012928979499486882  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 10  
Степени узлов - среднее: 0.642570281124498  
Степени узлов - стандартное отклонение: 1.5358738460256935

В 2023 году граф становится еще более разреженным, с крайне низким количеством связей между акциями и очень низкой средней степенью узла, что указывает на то, что рынок в целом был слабо скоординирован и акции двигались достаточно независимо друг от друга.

Характеристики графа 2024:  
Количество узлов: 502  
Количество ребер: 767  
Плотность графа: 767  
Количество компонент связности: 0.006099355074711136  
Степени узлов - мин: 0  
Степени узлов - макс: 39  
Степени узлов - среднее: 3.055776892430279  
Степени узлов - стандартное отклонение: 6.944668433749338

Граф 2024 года демонстрирует значительное увеличение связности, с заметным ростом количества корреляций и средней степени узла, что говорит о том, что рынок стал более взаимосвязанным, и движения цен акций стали более скоординированными по сравнению с предыдущими годами.

**Заключение:**

Графовая модель корреляций акций S&P 500 представляет собой динамическую и сложную систему, которая отражает взаимосвязи между акциями и их изменения во времени. Она не является статичной, а постоянно адаптируется к рыночным условиям. Эта модель характеризуется разреженностью, наличием одной большой связной компоненты, неравномерным распределением связей и цикличностью в изменениях. Анализ этой модели может дать ценную информацию о структуре рынка, его уязвимостях и потенциальных возможностях.

**2. Формулировка оптимизационной задачи построения целевого подграфа**

**Задача:**

Найти максимальную клику (подграф, в котором каждая пара вершин связана ребром) в каждом графе траектории динамического графа акций SP500, где графы представляют собой корреляционные сети акций за каждый год с 2010 по 2024.

**Формализация:**

Динамический граф: G = {G2010, G2011, ..., G2024}, где Gt - граф корреляций акций за год t.

Вершины: Vt - множество вершин графа Gt, представляющие акции.

Ребра: Et - множество ребер графа Gt, где ребро (u, v) существует, если корреляция между акциями u и v превышает определенный порог (например, 0.7).

Целевая функция: Для каждого графа Gt найти клику Ct ⊆ Vt максимального размера (количества вершин).

Ограничения: Подграф Ct должен быть кликой, то есть для любых двух вершин u, v ∈ Ct должно существовать ребро (u, v) ∈ Et.

**Математическая запись:**

Для каждого графа Gt ∈ G, максимизировать |Ct| при условии, что ∀u, v ∈ Ct, (u, v) ∈ Et.

**Обоснование прикладного аспекта:**

Выявление групп активов с высокой корреляцией: Максимальная клика в графе корреляций акций представляет собой группу активов, которые имеют высокую степень взаимосвязи. Это означает, что их цены движутся в одном направлении, что может быть полезно для различных финансовых задач.

Управление рисками: Зная группы высококоррелированных активов, инвесторы могут более эффективно управлять рисками своего портфеля. Инвестирование в несколько активов из одной клики может не обеспечить желаемой диверсификации, так как они будут реагировать на рыночные изменения схожим образом.

Построение портфелей: Понимание структуры корреляций позволяет строить более сбалансированные портфели. Инвесторы могут избегать перекоса в сторону активов, которые сильно зависят друг от друга.

Торговые стратегии: Выявление клик может помочь в разработке торговых стратегий, основанных на парной торговле (торговле разницей в ценах между коррелированными активами).

Анализ динамики рынка: Изучение изменения максимальных клик во времени (на траектории динамического графа) позволяет отслеживать, как меняются взаимосвязи между акциями с течением времени. Это может дать представление о структурных изменениях на рынке.

Идентификация секторов: Клика может указывать на то, что несколько акций принадлежат к одному сектору экономики, что может быть полезно для анализа рынка.

**Обоснование выбора максимальной клики:**

Максимальная взаимосвязь: Максимальная клика представляет собой группу активов с максимальной степенью взаимосвязи, что делает ее интересной для анализа.

Простота интерпретации: Клика – это относительно простая структура, которую легко интерпретировать.

Широкая применимость: Задача поиска максимальной клики является классической задачей теории графов и имеет множество применений, в том числе и в финансах.

**3. Анализ и интерпретация изменений решения оптимизационной задачи**

**Общие наблюдения:**

Динамика размеров клик: Размер максимальной клики значительно меняется от года к году, что говорит о том, что структура корреляций между акциями не является постоянной и подвержена значительным изменениям.

Периоды высокой и низкой корреляции: Наблюдаются периоды с большими кликами (например, 2013, 2017), что указывает на высокую корреляцию между многими активами, и периоды с малыми кликами (например, 2015, 2018, 2023), что говорит о низкой корреляции.

Плотность графов: Все клики являются полными графами, что означает, что все активы внутри клики сильно коррелируют друг с другом.

Степени вершин: Степени всех вершин в клике равны количеству вершин минус 1, что подтверждает, что это полные графы.

**Анализ изменений по годам:**

Характеристики целевого подграфа 2010:  
Количество узлов: 11  
Количество ребер: 55  
Плотность графа: 55  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 10  
Степени узлов - макс: 10  
Степени узлов - среднее: 10  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Максимальная клика состоит из 11 акций, образуя плотный подграф с высокой степенью связности (каждая акция связана со всеми остальными).

Характеристики целевого подграфа 2011:  
Количество узлов: 9  
Количество ребер: 36  
Плотность графа: 36  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 8  
Степени узлов - макс: 8  
Степени узлов - среднее: 8  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики уменьшился до 9 акций, но по-прежнему сохраняется высокая плотность и связность внутри группы.

Характеристики целевого подграфа 2012:  
Количество узлов: 7  
Количество ребер: 21  
Плотность графа: 21  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 6  
Степени узлов - макс: 6  
Степени узлов - среднее: 6  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Продолжается уменьшение размера клики до 7 акций, что говорит о снижении количества сильно коррелированных активов.

Характеристики целевого подграфа 2013:  
Количество узлов: 25  
Количество ребер: 300  
Плотность графа: 300  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 24  
Степени узлов - макс: 24  
Степени узлов - среднее: 24  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Происходит резкое увеличение размера клики до 25 акций, что свидетельствует о периоде высокой корреляции между многими активами.

Характеристики целевого подграфа 2014:  
Количество узлов: 8  
Количество ребер: 28  
Плотность графа: 28  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 7  
Степени узлов - макс: 7  
Степени узлов - среднее: 7  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики снова уменьшается до 8 акций, возвращаясь к более умеренному уровню корреляции.

Характеристики целевого подграфа 2015:  
Количество узлов: 4  
Количество ребер: 6  
Плотность графа: 6  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 3  
Степени узлов - макс: 3  
Степени узлов - среднее: 3  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Наблюдается значительное сокращение клики до 4 акций, что может указывать на усиление дифференциации в поведении активов.

Характеристики целевого подграфа 2016:  
Количество узлов: 11  
Количество ребер: 55  
Плотность графа: 55  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 10  
Степени узлов - макс: 10  
Степени узлов - среднее: 10  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики увеличивается до 11 акций, что говорит о возвращении к более высокой корреляции между некоторыми активами.

Характеристики целевого подграфа 2017:  
Количество узлов: 19  
Количество ребер: 171  
Плотность графа: 171  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 18  
Степени узлов - макс: 18  
Степени узлов - среднее: 18  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Происходит значительное увеличение размера клики до 19 акций, что свидетельствует о периоде высокой взаимосвязанности активов.

Характеристики целевого подграфа 2018:  
Количество узлов: 4  
Количество ребер: 6  
Плотность графа: 6  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 3  
Степени узлов - макс: 3  
Степени узлов - среднее: 3  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики снова резко уменьшается до 4 акций, что указывает на период сниженной корреляции между активами.

Характеристики целевого подграфа 2019:  
Количество узлов: 10  
Количество ребер: 45  
Плотность графа: 45  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 9  
Степени узлов - макс: 9  
Степени узлов - среднее: 9  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики увеличивается до 10 акций, что говорит о некотором усилении корреляции между активами.

Характеристики целевого подграфа 2020:  
Количество узлов: 9  
Количество ребер: 36  
Плотность графа: 36  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 8  
Степени узлов - макс: 8  
Степени узлов - среднее: 8  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики остается относительно стабильным, уменьшаясь до 9 акций, что может указывать на сохранение схожих тенденций.

Характеристики целевого подграфа 2021:  
Количество узлов: 13  
Количество ребер: 78  
Плотность графа: 78  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 12  
Степени узлов - макс: 12  
Степени узлов - среднее: 12  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики увеличивается до 13 акций, что свидетельствует о росте взаимосвязанности активов.

Характеристики целевого подграфа 2022:  
Количество узлов: 5  
Количество ребер: 10  
Плотность графа: 10  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 4  
Степени узлов - макс: 4  
Степени узлов - среднее: 4  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики уменьшается до 5 акций, что может говорить о снижении корреляции между активами.

Характеристики целевого подграфа 2023:  
Количество узлов: 4  
Количество ребер: 6  
Плотность графа: 6  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 3  
Степени узлов - макс: 3  
Степени узлов - среднее: 3  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики остается небольшим, 4 акции, что указывает на сохранение низкой корреляции между активами.

Характеристики целевого подграфа 2024:  
Количество узлов: 8  
Количество ребер: 28  
Плотность графа: 28  
Количество компонент связности: 1.0  
Степени узлов - мин: 7  
Степени узлов - макс: 7  
Степени узлов - среднее: 7  
Степени узлов - стандартное отклонение: 0.0

Размер клики увеличивается до 8 акций, что может свидетельствовать о некотором усилении корреляции между активами.

**4. Отчет о технической реализации проекта**

**Введение:**

Данный проект посвящен анализу динамики корреляций между акциями, входящими в индекс S&P 500, с использованием графовых моделей. Целью проекта является визуализация и анализ изменений в структуре корреляций акций на протяжении времени (с 2010 по 2024 год) посредством выделения максимальных клик в графах корреляций за каждый год.

**Технологии и инструменты:**

Данные:  
Датасет: Использован датасет исторических данных по акциям S&P 500, доступный на Kaggle andrewmvd/sp-500-stocks.  
Формат данных: CSV-файлы с ценами акций за каждый год.

Библиотеки Python:  
pandas: Для обработки и анализа данных, загрузки данных из CSV-файлов.  
numpy: Для математических вычислений, в частности, для расчета корреляционных матриц.  
networkx: Для построения и анализа графов, включая поиск максимальных клик.

Фронтенд:  
React: Для создания пользовательского интерфейса.  
Next.js: Фреймворк React для серверного рендеринга и маршрутизации.  
d3.js: Библиотека для визуализации данных, в частности, для отображения графов.

Развертывание:  
Vercel: Платформа для развертывания веб-приложений.

**Этапы реализации:**

1. Сбор и подготовка данных:  
Загрузка исторических данных по акциям S&P 500 из датасета Kaggle.  
Обработка данных:  
Фильтрация данных для каждого года с 2010 по 2024.  
Расчет корреляционных матриц между акциями за каждый год.  
Создание графов корреляций: ребро между двумя акциями добавляется, если их корреляция превышает заданный порог (например, 0.7).

2. Построение и анализ графов:  
Использование networkx для создания графов корреляций для каждого года.  
Реализация алгоритма поиска максимальной клики в каждом графе.  
Расчет характеристик максимальных клик: количество узлов, количество ребер, плотность графа, количество компонент связности, степени узлов.

3. Фронтенд разработка:  
Создание React-приложения с использованием Next.js.  
Разработка компонентов для визуализации графов с использованием d3.js.  
Реализация интерактивности: возможность выбора года для просмотра соответствующего графа и его характеристик.

4. Развертывание:  
Деплой приложения на платформу Vercel.

**Оптимизационная задача:**

Задача: Найти максимальную клику в каждом графе корреляций акций за каждый год.  
Целевая функция: Максимизировать количество вершин в клике.  
Алгоритм: Использован встроенный в networkx алгоритм поиска максимальной клики.

**Визуализация:**

Визуализация графов корреляций с использованием d3.js.  
Минимизация пересечений ребер при визуализации.  
Отображение максимальной клики в каждом графе.  
Отображение характеристик максимальной клики (количество узлов, ребер, плотность и т.д.).

**Результаты:**

Получены максимальные клики для каждого года с 2010 по 2024.  
Проведен качественный и количественный анализ изменений размеров клик и их характеристик.  
Сделана интерпретация результатов с учетом экономических циклов и кризисных периодов.

**Заключение:**

Данный проект успешно демонстрирует применение графовых моделей и алгоритмов оптимизации для анализа динамики корреляций на рынке акций S&P 500. Использование библиотеки networkx позволило эффективно построить и проанализировать графы корреляций, а алгоритм поиска максимальной клики выделил группы наиболее взаимосвязанных активов. Визуализация результатов с помощью d3.js в React-приложении, развернутом на Vercel, обеспечивает наглядное представление динамики изменений в структуре рынка. Проведенный анализ позволил выявить периоды высокой и низкой корреляции, а также связать эти изменения с экономическими циклами и кризисными явлениями, что подчеркивает практическую ценность разработанного подхода для финансового анализа и управления рисками.