

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Факультет экономических наук

Хроменко Екатерина Федоровна

«Переливы ликвидности на российском рынке»

Выпускная квалификационная работа - МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
по направлению подготовки 38.04.08 Финансы и кредит
Образовательная программа "Финансовые рынки и финансовые институты"

Рецензент
Стажер-
исследователь
Гуров Сергей
Вячеславович

Руководитель
Старший
преподаватель
научный
сотрудник
Курбангалеев
Марат Зуфарович

Москва 2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1.1. ЛИКВИДНОСТЬ: ПОНЯТИЕ, СВОЙСТВА И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ	5
1.2. ЭФФЕКТЫ ПЕРЕЛИВОВ ЛИКВИДНОСТИ	10
1.3. ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ЛИКВИДНОСТЬ	15
ГЛАВА 2: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДНОСТИ	20
2.1. ПРАВИЛА ТОРГОВ НА МОСКОВСКОЙ БИРЖЕ В СЕКЦИИ ФОНДОВОГО РЫНКА. КНИГА ЗАЯВОК.....	20
2.3. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	32
ГЛАВА 3: ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ	39
3.1. ОПИСАНИЕ ДАННЫХ	39
3.2. ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ	41
3.3. АНАЛИЗ ПЕРЕЛИВОВ ЛИКВИДНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОДНОМЕРНОГО ПРОЦЕССА ХОУКСА И МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	84

ВВЕДЕНИЕ

Ликвидность на рынке занимает важное место на рынке, так как является залогом осуществления крупных сделок с минимальным влиянием на цену. Если ситуация на рынке стабильна, то издержки заключения сделок незначительны. Однако, при увеличении нестабильности издержки совершения сделок увеличиваются. Так в условиях отсутствия ликвидности, если участники хотят совершить сделку на покупку или продажу, возникает острая необходимость в наличии участников с заявками противоположного типа. При заключении значительного числа сделок участники не смогут найти контрагента и понесут значительные издержки. С данной проблемой столкнулись участники рынка в 1997,1998, 2007-2008 гг. во время кризисов, когда на рынке преобладали заявки на продажу. В последнее время значительно возросла необходимость определения ликвидности ввиду глобализации финансовых рынков, а значит возможности существования «переливов» ликвидности из одного рынка на другой, из одного класса активов в другой. Существование данной общности в движении ликвидности изучалось значительным количеством исследователей, среди которых Goyenko&Ukhov (2009), Chorida, Sarcar &Subrahmanyam (2005), Fleming, Kirby&Ostdiek (1998), Ho&Stoll (1993), O'Hara&Oldfield (1996), Beber et al. (2009)). На сегодняшний день вопрос «переливов» ликвидности из одного актива в другой и в рамках одного актива является открытым для российского рынка.

Объектом исследования являются переливы ликвидности.

Предмет исследования: изучение эффектов переливов ликвидности на российском фондовом рынке.

Цель исследования: проанализировать переливы ликвидности между 3 финансовыми инструментами на данных за 1 день (20150303) с помощью инструментов статистического анализа и одномерного процесса Хоукса.

Для достижения поставленной цели были сформированы следующие **задачи исследования**:

1. Рассмотреть понятие, свойства и основные показатели ликвидности;
2. Определить факторы, влияющие на ликвидность;
3. Рассмотреть основные методы анализа переливов ликвидности в литературе;
4. Ознакомиться с правилами торгов на ММВБ в секции фондового рынка;
5. Построить временные ряды на 1-минутных интервалах для получения обобщенного показателя ликвидности;
6. Построить модели для анализа эффектов переливов между 3 финансовыми инструментами
7. Проанализировать построенные модели;

Методами исследования являются:

- Одномерный процесс Хоукса с 2 экспоненциальными функциями ядра;
- Модель распределенного лага (ADL);
- Автокорреляционная функция;
- Кросс-корреляционная функция;
- Тест Кристофферсена на независимость. (Christoffersen's 1998 Exceedence Independence Test)
- Тест Андерсона-Дарлинга (Anderson-Darling Test)

Теоретической и методологической основой исследования послужили труды зарубежных авторов по исследованию переливов ликвидности с помощью процесса Хоукса. Среди них работы следующих авторов: Toke&Pomponio (2012), Hewlett(2006), Schneider, Lillo&Pelizzon (2016). Для реализации эмпирической части исследования была составлена структурированная база данных для биржевой информации в СУБД PostgreSQL. Дальнейшие расчеты проводились с помощью Python 3.8. Скрипты для создания БД на базе платформы Postgre и код собраны в репозитории на github (https://github.com/KattyKhromenko/Hawkes_process).

Работа состоит из трех глав и заключения. В первой главе рассматривается понятие ликвидности, ее свойства и представляются основные формулы для расчета ликвидности. В данной главе рассматривается также основная литература, посвященная переливам ликвидности и методы ее исследования. В завершение главы описаны факторы, которые могут оказывать влияние на ликвидность.

Во второй главе рассматриваются инструментарий и методы исследования, используемые в данной работе. Внимание данной главы сосредоточено на анализе правил торгов на ММВБ в секции фондового рынка. Кроме того, описывается теоретическая составляющая процесса Хоукса как метода для анализа переливов ликвидности.

В третьей главе представлены описательные статистики, построены основные модели, дано их описание и интерпретация.

1.1. ЛИКВИДНОСТЬ: ПОНЯТИЕ, СВОЙСТВА И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Ликвидность - это многомерное понятие, связанное со способностью выполнять крупные сделки быстро с ограниченным влиянием на цену. При определении «ликвидного рынка» в теории финансов, Black (1971) отмечал, что в условиях ликвидного рынка спред не велик и, крупные сделки незначительно влияют на цену. Massimb and Phelps (1994) акцентировали внимание на скорости и времени обмена при определении ликвидности. Согласно их определению, ликвидность – это «способность рынка обеспечить немедленное исполнение рыночного ордера (немедленность рынка) и способность выполнять небольшие рыночные ордера без значительных изменений рыночной цены («глубина рынка» или «устойчивость»)».¹

¹ Gabrielsen A., Marzo M., Zagaglia P. Measuring market liquidity: An introductory survey. – 2011. - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/51968566_Measuring_Market_Liquidity_An_Introductory_Survey

Kyle (1985) выделял три свойства (атрибуты, измерения) ликвидности:

- Сжатость (tightness)
- Глубина (depth)
- Устойчивость (resiliency)

К аспектам ликвидности Kyle (1985) добавляют также немедленность (immediacy). Baker (1996) выделяет несколько характеристик ликвидного рынка: глубина (depth), ширина (breadth), устойчивость (resiliency). Wyss (2004) выделял среди характеристик ликвидности торговое время (trading time): возможность осуществить сделку по цене на рынке. Согласно Garbage (1982) рынок характеризуется устойчивостью (resilience), если изменения цены в результате большого объема заявок быстро привлекают новые лимитные заявки, которые снижают цену обратно.

«Сжатость рынка характеризует, как далеко отклоняется цена сделки от средней рыночной цены. Для измерения сжатости чаще всего используется показатель бид-аск спреда (bid-ask spread). Предполагается, что чем ниже спред, тем больше ликвидность. Выделяются три меры бид-аск спреда (таблица 1):

- Котируемый спред (quoted spread)
- Реализованный спред (realized spread)
- Эффективный спред (effective spread)²

Таблица 1: Меры ликвидности для измерения сжатости рынка

Название	Формула
	$SEFF, t = 2 * Pt - Mt $ <p>Pt — фактическая цена сделки</p> <p>Mt — равновесная рыночная цена</p>

² Курсовая работа Хроменко.Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных.

Эффективный спред	
Котируемый спред	$Quotedspread_t = a_t - b_t$ $a_t - \text{наименьшая цена покупки}$ $b_t - \text{максимальная цена продажи}$
Реализованный спред	$Realized Spread(TAQ)_k =$ $= \begin{cases} 2 \cdot (\ln(P_k) - \ln(P_{k+5})) & \text{when the ktd trade is a buy} \\ 2 \cdot (\ln(P_{k+5}) - \ln(P_k)) & \text{when the ktd trade is a sell} \end{cases}$

Источник: Составлено автором

«Глубина рынка» представляет собой объем заявок или объем торгов, превышение которого ведет к сдвигу цен. Количественное определение глубины рынка позволяет понять, какой объем сделки можно заключить без отклонения цены от средней на рынке».³ Если бы трейдер выставил одну крупную рыночную заявку, он «съел» бы всю ликвидность в книге заявок. Таким образом, актив покупается (соответственно продается) по цене выше (соответственно ниже), чем первый лимитный ордер. Ввиду этого трейдер разделит большой ордер на несколько меньших ордеров, которые он будет отправлять по одному, ожидая между каждым отправленным ордером, чтобы некоторые лимитные ордера вернули ликвидность в книгу. «Осуществляя подобные действия, трейдер пытается минимизировать свое влияние на рынок. (Market Impact). Предполагается, что чем больше глубина, тем выше ликвидность. Глубина рынка тесно связана с понятием бид-аск спреда. Когда глубина рынка мала, крупные ордера могут подталкивать цену активов вниз (или вверх), «съедая» книгу заявок. Это может быть связано с тем, что всех заявок в книге лимитированных заявок недостаточно, чтобы удовлетворить возросший спрос или предложение, что может привести к сдвигу цен от

³ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

котируемых на данный момент времени».⁴ В данном случае, чтобы учесть повышенный риск, спреды имеют тенденцию расширяться.

«Одним из способов исчисления глубины рынка является вычисление количества и объема заявок на покупку и продажу в книге лимитированных заявок. (Limit Order Book). Вторым способом измерения глубины рынка является вычисление эффекта влияния на цену (market impact/price impact).»⁵ В статьях Rinaldo (2001), Olbrys, (2017), Olbrys and Mursztyn (2017) в качестве меры глубины используется показатель соотношения ордеров (Order Ratio):

$$OR = \frac{|\sum_{i=1}^m VBuy_i - \sum_{j=1}^k VSell_j|}{\sum_{n=1}^N V_n}$$

Индикатор OR характеризует дисбаланс на рынке. OR увеличивается по мере того, как разница в числителе становится большей. Высокое значение показателя означает низкую глубину рынка и низкую ликвидность. И наоборот, небольшое значение означает высокую глубину рынка и высокую ликвидность.⁶

Зачастую в качестве показателя глубины рынка используется лямбда Кайла (Kyle lambda). Маленькое значение лямбды говорит о высокой ликвидности на рынке. Идея состоит в том, чтобы соотнести модуль изменения цены с объемом торгов. Для интервала $[t - \Delta, t]$ в течение торгового дня лямбда Кайла определяется по следующей формуле:

$$\lambda_t = \frac{|Price_t - Price_{t-\Delta}|}{Volume_{[t-\Delta, t]}}$$

⁴ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

⁵ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

⁶ Olbrys J., Mursztyn M. Depth, tightness and resiliency as market liquidity dimensions: evidence from the Polish stock market //International Journal of Computational Economics and Econometrics. – 2019. – Т. 9. – №. 4. – С. 308-326. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/333204993_Depth_tightness_and_resiliency_as_market_liquidity_dimensions_Evidence_from_the_Polish_stock_market

«Широко используемый показатель ликвидности - это отношение абсолютной доходности к предлагаемому объему торгов. (Amihud (2002)). Пусть r - дневной доход, а v - дневной объем торгов, тогда мерой ликвидности является показатель: $|r| / v$. Для данного объема v изменение цены $|R|$ должно быть небольшим на глубоком и ликвидном рынке.»⁷ Показатель Амихуда может быть записан в следующем виде:

$$A_{iy} = \frac{1}{D_{iy}} \sum_{t=1}^{D_{iy}} \frac{|r_{it}|}{Dvol_{it}}$$

«Устойчивость (resilience) представляет собой время, за которое происходит восстановление дисбаланса между спросом и предложением в результате сделки. На ликвидном рынке цены быстро возвращаются к своему «нормальному» уровню. В качестве показателя устойчивости используется показатель гамма, который показывает скорость возврата величины бид-аск спреда к значению до проведения сделки. Чем меньше значение показателя гамма, тем быстрее восстанавливается состояние рынка до сделки, а значит тем больше ликвидность.

Устойчивость может измеряться с помощью коэффициента эффективности рынка (MEC – Market Efficiency Coefficient), предложенного Hasbrouck и Schwartz (Sarr and Lybek, 2002). Этот показатель представляет собой соотношение между дисперсией доходности за длительный период и доходности за короткий период. Отношение MEC должно быть близко к единице на устойчивых рынках и отклоняться от единицы на рынках, характеризующихся низкой устойчивостью.

Немедленность рынка характеризует время между размещением заявки на полный лот и ее исполнением.⁸ Предполагается, что чем меньше время

⁷ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

⁸ Науменко В. В. Моделирование риска рыночной ликвидности с учетом глубины рынка. – 2007. – Режим доступа: https://www.hse.ru/data/2010/05/07/1217275552/WP16_2007_04.pdf

ожидания, тем выше ликвидность. Для оценки немедленности рынка может использоваться дневной диапазон цен (Broto&Lamas, 2016), что представляет собой разницу между самой высокой и самой низкой ценой бумаги в течение торгового дня. Большие колебания дневного диапазона предполагают слабую немедленность рынка.

В различных исследованиях было предложено большое количество индикаторов для мониторинга различных аспектов ликвидности. Данные показатели ликвидности можно разделить на три основные категории (таблица 2):

- **Меры, связанные со спредом**, отражают стоимость транзакции. (Chorida, 2001, J. Hasbrouck, 1999, Huberman, 2001, Roll, 1984, Stoll, 2000, Glosten and Milgrom, 1985).
- **Меры, основанные на объеме**, учитывают объем транзакции.
- **Меры, основанные на ценах**, используют дисперсию доходности и проверяют устойчивость рынков к новостям, связанным с акциями.»⁹¹⁰

1.2. ЭФФЕКТЫ ПЕРЕЛИВОВ ЛИКВИДНОСТИ

Несмотря на то, что исследование ликвидности на рынке акций и облигаций представляют собой два различных направления исследований, зачастую исследователи проводят комбинированный анализ ликвидности на рынках акций и облигаций. (Chorida, Sarcar &Subrahmanyam (2005), Fleming, Kirby&Ostdiek (1998), Ho&Stoll (1993), O'Hara&Oldfield (1996)).

«Хотя безусловная корреляция между доходностью акций и облигаций низкая (Campbell and Ammer, 1993), между двумя рынками существуют сильные связи волатильности. (Fleming, Kirby and Ostdiek, 1998, Fleming et al., 1998)».

⁹ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

¹⁰ Danyliv O., Bland B., Nicholass D. Convenient liquidity measure for financial markets //Available at SSRN 2385914. – 2014. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1412.5072.pdf>

¹¹Diebold and Yilmaz (2014) предложили меры связи, основанные на декомпозиции дисперсии (General Variance Decomposition), и применили их к волатильности доходности акций финансовых учреждений США. Следуя их подходу, в исследовании Yilmaz (2009) также используется метод декомпозиции дисперсии для анализа переливов волатильности и доходности для 10 рынков Восточной Азии. Анализ декомпозиции дисперсии модели VAR позволяет отличить шоки переливов доходности и волатильности от внутренних шоков. Для того, чтобы проанализировать изменение в переливах ликвидности во времени, автор использует индексы переливов через скользящие 100-недельные окна.

Авторы моделируют доходность (или волатильность) фондового рынка как векторную авторегрессию с N-переменными (VAR). VAR p-порядка с N переменными может быть записана в следующем виде:

$$x_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t$$

Φ является матрицей параметров размерности $[N \times N]$, а вектор ошибок ε имеет нулевое среднее значение и ковариационную матрицу Σ . В свою очередь, x будет являться либо вектором доходности акций, либо вектором волатильности доходности акций. Own Variance shares – это доли дисперсии ошибок N-шага вперед при прогнозировании x_i из-за шоков в x_i . Cross Variance shares – это доли дисперсии ошибок на N-шаг вперед при прогнозировании x_i из-за шоков для x_j для $j \neq i$.

Обозначим разложения дисперсии ошибки прогноза на N-шаг вперед через $\theta_{ij}^g(H)$:

¹¹ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

$$\theta_{ij}^g(H) = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma A_h' e_j)}$$

где Σ - матрица дисперсии для вектора ошибок ε_t , σ_{jj} - стандартное отклонение члена ошибки для j -го уравнения, а e_i - вектор выбора с единицей в качестве i -го элемента и нулями в противном случае.

После этого индекс переливов ликвидности можно определить в процентах следующим образом:

$$S(H) = \frac{\sum_{i,j=1, i \neq j}^N \theta_{ij}(H)}{\sum_{i,j=1}^N \theta_{ij}(H)} \cdot 100\% = \frac{\sum_{i,j=1, i \neq j}^N \theta_{ij}(H)}{N} \cdot 100\%$$

С помощью метода декомпозиции дисперсии, Yilmaz (2009) приходит к выводу, что только 1,8% дисперсии ошибки прогноза доходности Гонконга объясняется другими рынками. В случае с Сингапуром это соотношение достигает 52,4%. Используя индекс переливов авторы заключают, что 31,6% дисперсии ошибок прогноза для всех 10 стран объясняется переливами. Остальные 68,4% общей дисперсии ошибок прогноза объясняется собственными шоками. В Корее 95,8 дисперсии ошибки прогноза волатильности объясняется переливами, что является наибольшим показателем среди выборки стран. Для всех 10 стран совокупно 77,7% дисперсии ошибок прогноза волатильности объясняется переливами.¹²

«Инвестиции в облигации не ориентированы на один конкретный срок погашения. Поэтому трудно предположить, какой срок обращения облигаций является наиболее подходящим для изучения событий неликвидности на рынке облигаций». ¹³ Goyenko&Ukhov (2009) изучают связь между ликвидностью на рынке акций и облигаций и приходят к выводу, что события неликвидности на одном рынке приводит к неликвидности на другом. Авторы

¹²Yilmaz K. Return and volatility spillovers among the East Asian equity markets //Journal of Asian Economics. – 2010. – Т. 21. – №. 3. – С. 304-313. – Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/6504336.pdf>

¹³ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

не останавливаются на анализе облигаций с каким-то одним сроком погашения и анализируют меры неликвидности для всех трех классов казначейских облигаций: казначейских векселей (T-bills) со сроком погашения не более одного года, облигаций на срок от двух до семи лет и 10-летних облигаций.¹⁴ В качестве меры ликвидности на рынке акций был выбран показатель меры ликвидности Амихуда (Amihud (2002)), тогда как для облигаций – котируемый спред.

Авторы анализируют ликвидность на рынке акций и облигаций, включая контрольные переменные для волатильности и доходности на обоих рынках. Векторная авторегрессия состоит из восьми уравнений и включает восемь переменных: три для фондового рынка (ликвидность, доходность и волатильность) и пять для рынка облигаций (доходность, волатильность и ликвидность для облигаций с разными сроками погашения):

$$X_t = \sum_{j=1}^K a_{1j} X_{t-j} + \sum_{j=1}^K b_{1j} Y_{t-j} + u_t$$

$$Y_t = \sum_{j=1}^K a_{2j} X_{t-j} + \sum_{j=1}^K b_{2j} Y_{t-j} + v_t,$$

где X (Y) - вектор, представляющий неликвидность, доходность и волатильность на рынках акций (облигаций). Количество лагов K в уравнениях выбирается на основе AIC и критерия Шварца.

В результате анализа авторы приходят к выводу, что облигации характеризуются меньшей ликвидностью, чем акции. «При разных сроках погашения краткосрочные облигации являются более ликвидными, чем облигации со средним сроком погашения, которые, в свою очередь, более ликвидны, чем долгосрочные ноты. Кроме того, авторы заключили, что корреляция ликвидности акций и облигаций зависит от сроков погашения

¹⁴ Goyenko R. Y., Ukhov A. D. Stock and bond market liquidity: A long-run empirical analysis //Journal of Financial and Quantitative Analysis. – 2009. – С. 189-212. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/0f00/0b1885ac951cc20caf154a2c2dad8deb641d.pdf>

последних. Таким образом, неликвидность среднесрочных облигаций имеет самую низкую корреляцию с неликвидностью акций (0,114) и неликвидность долгосрочных облигаций имеют самую высокую корреляцию с неликвидностью акций (0,611). Облигации с различными сроками погашения также по-разному коррелируют между собой. Корреляция колеблется от 0,586 между средне- и долгосрочной неликвидностью до 0,865 между краткосрочной и среднесрочной неликвидностью.

Для проверки связи между двумя временными рядами для акций и облигаций используется тест на причинность по Грэнджеру (Granger Causality Test). Нулевая гипотеза данного теста состоит в следующем: «х не является причиной у по Грэнджеру». Для проверки гипотез строятся две регрессии, в каждой из которых зависимой переменной является одна из проверяемых на причинность переменных, а регрессорами выступают лаги обеих переменных. В результате данного теста авторы приходят к выводу, что краткосрочная и долгосрочная неликвидность облигаций вызывает неликвидность акций. При всех сроках погашения облигаций краткосрочная неликвидность вызывает как среднесрочную, так и долгосрочную неликвидность, среднесрочная неликвидность вызывает краткосрочную и долгосрочную неликвидность, в то время как долгосрочная неликвидность не влияет на неликвидность облигаций с другими сроками погашения. Кроме того, авторы заключают, что влияние неликвидности краткосрочных облигаций на неликвидность акций продолжительнее по сравнению с облигациями с другими сроками погашения.»¹⁵

Исследование Foucault&al. (2005) охватывает период с июня 2011 года по декабрь 2017 года для шести основных европейских рынков. Авторы

¹⁵ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

предлагают следующую меру ликвидности, которая рассчитывается по книге лимитированных заявок (LIMIT ORDER BOOK ILLIQUIDITY SCORE):

$$Order - Book Illiquidity Score_{t,5} = \frac{Spread_{t,5}}{Quantity_{t,5}} = \frac{\frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 P_{t,Ask(j)} - \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 P_{t,Bid(j)}}{\sum_{j=1}^5 Q_{t,Ask(j)} - \sum_{j=1}^5 Q_{t,Bid(j)}}$$

- t - время в минутах;
- P - цена в книге лимитированных заявок;
- Q - количество, которое может быть продано по заданной цене;
- «Ask» и «Bid» - стороны книги заявок;
- j - номер приоритета предложений в книге заявок (от 1-го до 5-го лучших предложений Ask / Bid).

Данный показатель включает в себя два измерения ликвидности: затраты и глубину. Числитель представляет собой средний спред между ценой покупки и продажи пяти лучших заявок. Знаменатель — это сумма объемов, соответствующих пяти лучшим ценам покупки и продажи. Данная мера показывает степень влияния на средний спред суммы сделки с пятью лучшими заявками на стороне Bid и Ask.

1.3. ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ЛИКВИДНОСТЬ

«Рынки акций и валют характеризуются большей ликвидностью, чем рынки с инструментами с фиксированным доходом, такие как рынок корпоративных облигаций. В пределах одного класса активов могут быть значительные различия в ликвидности, что обусловлено характеристиками эмитента.»¹⁶ В то время как неликвидность рынка акций и облигаций имеет много общего, они имеют разную экономическую природу.

¹⁶ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

«Выпуски суверенных облигаций на развивающихся рынках, как правило, менее ликвидные, чем облигации, выпущенные государственными органами в странах с развитой экономикой. Точно так же, акции компаний с меньшей капитализацией, как правило, торгуются гораздо меньше, чем для крупных корпоративных акций. Кроме того, торговля нечетными лотами или большими блоками, особенно на рынках с фиксированным доходом могут оказывать большее влияние на цены, чем торговля круглыми партиями или меньшими блоками.»¹⁷

Chordia et al. (2001) изучали ежедневную рыночную ликвидность на бирже NYSE, используя показатели спреда, глубины и торговой активности за 11-летний период. Они обнаружили, что рыночная ликвидность зависит от доходности, волатильности и процентных ставок. Они также обнаружили, что ликвидность рынка значительно снижается по пятницам, в праздничные дни и увеличивается до объявления о состоянии экономики.

«На ликвидность рынка оказывают влияние объявления о состоянии экономики. Kyle (1985), Admati&Pfleiderer (1988) также пришли к выводу, что изменения ликвидности могут тесно предшествовать информационным событиям, таким как объявление о макроэкономическом состоянии.»¹⁸

Fujimoto (2003) исследовал влияние макроэкономических переменных на рыночную ликвидность на NYSE и AMEX и выявил, что инфляция и денежно-кредитная политика оказывают значительное влияние на ликвидность. Van Ness et al. (2005) исследовали детерминанты рыночной ликвидности на американской бирже NASDAQ во время бычьего и медвежьего рынка. Их результаты показывают, что рыночная ликвидность показывает еженедельные закономерности, и что текущая рыночная доходность и переменные

¹⁷ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

¹⁸ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

процентных ставок влияют на ликвидность рынка. По сравнению с предыдущими исследователями, они обнаруживают, что волатильность рынка не связана с ликвидностью, а макроэкономические объявления оказывают лишь незначительное влияние на ликвидность NASDAQ.

«Balduzzi, Elton & Green (2001) указывают на то, макроэкономические объявления оказывают разное влияние в зависимости от сроков погашения облигаций.»¹⁹ Авторы замечают, что 10-летнего и 3-месячного векселя происходит незначительное расширение спреда в момент объявления. Затем спред возвращается к своим нормальным значениям через 5–15 минут для 10-летней ноты. Для 3-месячного векселя спреда, как правило, остаются шире: в случае представления отчета о занятости спреда в два раза превышают свои нормальные значения через 45 минут после объявления.²⁰

«В своем исследовании Goyenko & Ukhov (2009) изучают не только совместное поведение ликвидности рынка акций и облигаций с июля 1962 года по декабрь 2003 года, но и уделяют внимание влиянию макроэкономических событий на ликвидность. Шоки для ИПЦ (Индекса потребительских цен), FED (Ставки по федеральным фондам) и NBRX (Незаемных резервов) информативны в прогнозировании неликвидности акций. Шоки ИПЦ являются информативными в прогнозировании неликвидности облигаций по всем срокам погашения, шоки для FED влияют на неликвидность средне- и краткосрочных облигаций, а NBRX прогнозирует только неликвидность краткосрочных облигаций».²¹

¹⁹ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных // Курсовая работа. – 2019.

²⁰ Balduzzi P., Elton E. J., Green T. C. Economic news and bond prices: Evidence from the US Treasury market // Journal of financial and Quantitative analysis. – 2001. – С. 523-543. – Режим доступа: <https://www.jstor.org/stable/pdf/2676223.pdf?refreqid=excelsior%3Aa75d5454ea5508b54841b800f2c16c1b>

²¹ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных // Курсовая работа. – 2019.

В исследовании Tayeh (2016) для измерения ликвидности использовались ежедневные данные ввиду недоступности данных с высокой периодичностью для развивающихся рынков. Ежедневные данные получены от ASE в течение 15-летнего периода - с 1 января 2000 г. по 31 декабря 2014 г. Для каждой акции, включенной в выборку, данные включают цену закрытия, максимальную и минимальную цены, лучшие цены спроса и предложения, объем торгов, количество акций в обращении и количество сделок. Анализируя различные меры ликвидности, автор приходит к выводу, что рынок ASE является менее ликвидным по сравнению с NYSE (Chordia et al. (2001)) и NASDAQ (Van Ness et al. (2005)). Автор анализирует автокорреляции для процентного изменения рыночной ликвидности для 5 лагов (5 торговых дней). Показатели, характеризующие спред показывают отрицательную автокорреляцию первого порядка, которая является статистически значимой на уровне значимости 1%. Помимо этого, некоторые ряды спредов в ASE показывают отрицательную автокорреляцию для лагов более высокого порядка.

Для анализа детерминант ликвидности в качестве зависимой переменной был выбран временной ряд изменений в рыночной ликвидности по дням, представленный одной из анализируемых 9 переменных ликвидности. Дамми-переменная, характеризующая движение рынка, принимает значение 1, если доходность индекса положительна, 0 – наоборот. Другие переменные включают в себя дамми для дня недели и месяца. Учитывая, что ликвидность рынка связана с рыночными условиями, можно сказать, что ликвидность увеличивается, когда рынок находится в фазе роста, и уменьшается в периоды снижения. (Chordia et al. (2001), Van Ness et al. (2005), Tayeh (2010)). Автор приходит к противоположному выводу в отличие от предыдущих исследователей и показывает, что ликвидность увеличивается после недавнего падения рынка. Кроме того, недавняя волатильность рынка имеет тенденцию влиять на ликвидность рынка. Ликвидность рынка уменьшается вместе с волатильностью, о чем свидетельствует оценочный коэффициент рыночной

волатильности, который является значительно положительным для эффективного спреда, модифицированного эффективного спреда и HL-спреда и отрицательным для регрессии торговой активности.

Результаты для фиктивных переменных месяца года показывают, что существует месячная сезонность в показателях рыночной ликвидности. Таким образом, ликвидность рынка ниже в марте, апреле, сентябре, октябре и декабре; их оценочные коэффициенты значимо положительны на уровне значимости 10% или выше. Однако коэффициент при дамми-переменной декабря и константа показывают более низкую рыночную ликвидность по сравнению с остальной частью года. В январе наблюдается высокая ликвидность на рынке.²²

Chordia&Subrahmanyam (2003) обнаружили несколько закономерностей в ликвидности на рынке акций и облигаций. Рассматривая период за более 1800 торговых дней, авторы пришли к выводу, что по вторникам и пятницам наблюдается самая высокая и самая низкая ликвидность соответственно. «Ликвидность на рынке акций и облигаций, как правило, выше в течение летних и ранних осенних месяцев с июля по сентябрь и ниже в октябре.²³

Chordia, Roll и Subrahmanyam (2001) определили определяющие факторы ликвидности на рынке США. Было обнаружено, что глубина рынка и торговая активность увеличиваются в течение 2 дней до объявления экономических показателей, таких как ВВП и уровень безработицы. Кроме того, ликвидность имела тенденцию к снижению после отрицательной рыночной доходности и наоборот к увеличению после положительной.

²² Tayeh M. et al. Determinants of market liquidity: Evidence from the Jordanian stock market //International Journal of Economics and Finance. – 2016. – Т. 8. – №. 10. – С. 48-59. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/308632145_Determinants_of_Market_Liquidity_Evidence_from_the_Jordanian_Stock_Market

²³ Chordia T., Sarkar A., Subrahmanyam A. An empirical analysis of stock and bond market liquidity //The Review of Financial Studies. – 2005. – Т. 18. – №. 1. – С. 85-129. – Режим доступа: https://www.newyorkfed.org/medialibrary/media/research/staff_reports/sr164.pdf

Muranaga and Shimizu показали, что временный горизонт транзакций, степень неприятия риска, степень уверенности трейдеров в своих собственных ожиданиях, чувствительность к рыночной информации влияют на ликвидность рынка».²⁴

ГЛАВА 2: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДНОСТИ

2.1. ПРАВИЛА ТОРГОВ НА МОСКОВСКОЙ БИРЖЕ В СЕКЦИИ ФОНДОВОГО РЫНКА. КНИГА ЗАЯВОК.

На Московской бирже происходит торговля в разных секциях: секция фондового, валютного, срочного и товарного рынков. В данном разделе рассмотрим процесс и расписание торгов в секции фондового рынка.

Торговая сессия – период, когда открыты торги и участники могут совершать сделки. Торговая сессия открыта с 10:00:00 до 18:39:59.²⁵ Перед началом торговой сессии происходит аукцион открытия. В рамках торговой сессии участвуют выставляются лимитные, рыночные заявки и заявки маркет-мейкера. Кроме того, принимаются лимитные заявки с сохранением котировок, поданные до начала торговой сессии.

Аукцион открытия: Аукцион открытия длится с 09:50:00 до 09:59:(31-59*).²⁶ Аукцион открытия проводится для акций, иностранных акций, депозитарных расписок, паев, ETF (в стакане T+2), ОФЗ и облигаций с расчетами в рублях (в стакане T+1), еврооблигаций и облигаций с расчетами в долларах и евро. Аукцион открытия необходим для избегания манипулирования ценой в самом начале торгов. Аукцион открытия состоит из нескольких фаз: фаза сбора заявок, фаза случайного завершения аукциона и начала торгового периода. Длительность фазы случайного завершения

²⁴ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

²⁵ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://www.moex.com/s1167>

²⁶ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://www.moex.com/s1167>

аукциона определяется случайно по каждой ценной бумаге в интервале 0-29 секунд. В рамках аукциона открытия подаются только лимитные заявки.

Алгоритм определения цены открытия следующий. Подаваемые лимитные поручения на покупку располагаются в порядке убывания цены. Для каждого значения цены нарастающим итогом рассчитывается агрегированный спрос (количество ценных бумаг). Лимитные поручения на продажу располагаются в порядке увеличения цены. Для каждого уровня цены нарастающим итогом рассчитывается агрегированное предложение. К агрегированным показателям спроса/предложения добавляются рыночные заявки по текущей цене.

На втором шаге для каждого значения цены определяется количество ценных бумаг, с которыми может быть заключена сделка. Для этого находится минимальное число из значений агрегированного спроса и предложения. Далее цена определяется в лотах. Если цен, по которым удовлетворится одинаковое число сделок несколько, то выбирается цена, по которой дисбаланс в лотах (разница между агрегированным спросом и предложением) меньше. Помимо этого, при условии существования нескольких цен, цена открытия может выбираться с учетом рыночного давления (знака дисбаланса). В случае дисбаланса в сторону спроса выбирается максимальная цена, в противном случае – минимальная. В качестве цены открытия может быть выбрана цена, наиболее близкая к цене закрытия предыдущего дня. Если в момент определения цены открытия в стакане находятся только рыночные заявки на покупку и продажу, то цена открытия не определяется. Цена не определяется, если книга заявок «не кроссируется», то есть отсутствует пересечение лучших цен покупки и продажи (значительный спред).²⁷

Аукцион закрытия: Аукцион закрытия необходим для определения справедливой цены закрытия. Благодаря случайному моменту окончания аукциона закрытия исключается возможность искусственного

²⁷ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://www.moex.com/s1648>

манипулирования ценой. Проведение аукциона защищает инвесторов от подачи заявки в последний момент, которая сильно повлияет на цену. Аукцион закрытия проводится с 18:40:01 по 18:50:00. Если цена аукциона закрытия определена, то данная цена приравнивается к цене закрытия. Если цена не определена, то ценой закрытия может считаться текущая цена. Текущая цена рассчитывается как средневзвешенная цена за последние 10 минут торгов. Если такой цены нет, то берется последняя рассчитанная текущая цена. Если текущая цена на момент времени 18:40:01 не определена, то цены закрытия нет. Преимуществом аукциона закрытия является возможность подавать заявки на аукцион в течение торгового периода. Для этого существуют два дополнительных типа заявок – «Лимитные в аукцион» и «Рыночные в аукцион». Данные заявки имеют приоритет по сравнению с обычными рыночными и лимитными.²⁸

Клиринг на ММВБ проводится специализированным финансовым институтом под названием ЗАО АКБ «Национальный Клиринговый Центр» (НКЦ). Клиринг отображает финансовые итоги осуществления сделок на ММВБ. Клиринговая организация выступает в роли центрального контрагента по сделкам. Функции клиринговой организации включают проверку транзакций на предмет возможностей осуществления обязательств по сделкам обеих сторон, определение взаимных обязательств по поставкам и расчетам, осуществление надзора за тем, чтобы покупатель получил ценные бумаги, а продавец – денежные средства. В течении клиринговой сессии клиринговая организация проводит учет и осуществляет взаиморасчеты по сделкам. На ММВБ клиринговые сессии происходят в отведенное для этого время:

- дневная (продолжительность 5 минут) – начинается в 14.00 и заканчивается в 14.05.

²⁸ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://www.moex.com/s1709>

- вечерняя (продолжительность 15 минут) – начинается в 18.45 и заканчивается в 19.00.²⁹

Процедура клиринга содержит несколько последовательных процедур. Первым этапом является заключение сделки участниками. На втором этапе происходит сверка параметров сделки клиринговой организацией. На третьем этапе происходит непосредственно клиринг. Клиринг включает в себя анализ сверочных документов на предмет расхождений и ошибок. Далее рассчитываются суммы и количество ценных бумаг для перевода. На данном этапе происходит также расчет налогов, биржевых сборов и комиссий. Взаимозачет осложняет процедуру проведения клиринга, однако накладные расходы в случае взаимозачета меньше. Взаимозачет позволяет снизить количество платежей и поставок ценных бумаг. Взаимозачет может быть двусторонним и многосторонним. Двусторонний взаимозачет применяется редко на внебиржевом рынке. При двустороннем взаимозачете происходит вычитание требований одного участника сделки из требований другого для определения сальдо задолженности. Многосторонний взаимозачет может проводиться с участием клиринговой организации и без ее участия. В случае второго типа взаиморасчета для каждого участника вычисляются чистые требования и обязательства. В рамках двустороннего клиринга вычисляются чистые требования и обязательства по сделкам за определенный период времени. Для получения чистого сальдо из чистых требований вычитают обязательства. Помимо этого, определяются инвесторы с длинными и короткими позициями. На финальном этапе взаиморасчетов происходит ликвидация позиций. Далее оформляются расчетные документы, которые направляются в систему расчетов и исполнение сделок. Расчёты по сделкам обеспечиваются расчетной палатой, которая становится посредником между покупателем и продавцом. Кроме того, расчетная палата отвечает за невыполнение требований участниками сделок. Поставка ценных бумаг

²⁹ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://www.moex.com/ru/derivatives/>

происходит с помощью депозитария, которые заключают с клиентами договор на введение счетов «депо» (Securities Accounts).³⁰ На ММВБ акции с расчетами в рублях, облигации с расчетами в долларах и евро торгуются в режиме торгов T+2, что означает поставку актива новому владельцу через 2 дня. ОФЗ и облигации с расчетами в рублях и юанях торгуются в режиме T+1, что предполагает поставку актива на следующий день после сделки.³¹

На практике почти все рынки работают на основе электронной книги лимитных заявок (Limit Order Book). Заявки на покупку и продажу представлены в биржевом стакане (Depth of Market). Биржевой стакан (Depth of Market) представляет собой очередь заявок на покупку и продажу. Как правило, биржевой стакан состоит из 2 столбцов: первый столбец содержит заявленные цены на продажу/покупку актива, второй - суммарный объем инструмента по определенной цене.

«Книга заявок (Limit Order Book) представляет собой список актуальных на данный момент заявок на покупку и продажу инструмента по различным ценам. В данной книге различают заявки 3 типов:

- Лимитная заявка (заявка на покупку/продажу по установленной цене или лучше). Лимитированная заявка находится в книге заявок до тех пор, пока не будет исполнена или отменена.
- Рыночная заявка (заявка на немедленную покупку/продажу по лучшей на данный момент цене, т. е. исполняется немедленно). В рыночных заявках указывается только объем заявки, но не указывается цена.
- Заявка на отмену (отменяет лимитную заявку)»³²

³⁰ Селищев А. С., Маховикова Г. А. Рынок ценных бумаг. – 2015. – Режим доступа: https://studme.org/349006/investirovanie/rynok_tsennyh_bumag

³¹ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://www.moex.com/s1167>

³² Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

Выполнение лимитной заявки происходит при пересечении ее ценового уровня с заявками противоположного типа. Заявка на покупку удовлетворяется, если существует противоположная заявка на продажу, в которой цены не выше указанных в заявке на покупку. И наоборот, заявка на продажу осуществляется, если в заявке на покупку цена не ниже, чем в заявке на продажу. Если лимитная заявка была исполнена частично, то она ставится в очередь заявок. Сделка по рыночной заявке происходит только при наличии заявки противоположного типа. Таким образом, рыночный ордер на покупку вызывает немедленное исполнение лимитной заявки на продажу, и наоборот: рыночный ордер на продажу вызывает исполнение лимитного ордера на покупку. Если лимитные ордера «встают» в очередь заявок на покупку и на продажу, то рыночные ордера удаляют лимитные ордера из очереди заявок.

Участники торгов имеют доступ к информации о собственных заявках, а также о заявках с 20-ью лучшими ценами (десять заявок на покупку и десять заявок на продажу), находящихся в очереди в Системе торгов. Участникам доступна цена и количество ценных бумаг (по айсберг-заявкам только в части «текущего видимого количества ценных бумаг»).

³³

Участники торгов могут выставлять заявки типа «айсберг». Таким образом, часть ордера видна в книге заявок, тогда как оставшаяся часть присутствует в книге, но невидима для других инвесторов. Невидимая часть заказа сохраняет приоритет цены, но не приоритет времени. После того, как видимая часть ордера будет полностью выполнена, другая часть скрытого ордера становится видимой. Данные заявки позволяют скрыть часть объема для минимизации влияния на рыночную цену из-за осуществления крупной сделки. Наличие айсберг-заявок необходимо будет учитывать при

³³ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://fs.moex.com/files/254/1818>

проведении эмпирической части исследования ввиду возможности появления отрицательных объемов.³⁴

Согласно «Положению о деятельности по проведению организованных торгов», утвержденному Банком России 17.10.2014 № 437-П Московская биржа имеет право приостановить торги ценными бумагами или осуществлять их в форме дискретного аукциона. Если Индекс ММВБ падает или растет на 15% от текущего значения Индекса в период с 10:00 до 16:40, то торги в течении 30 минут проводятся в форме дискретного аукциона. В течении одного дня разрешается сделать не более двух ДА. Если падение или увеличение в цене ценной бумаги составляет 20% от текущей цены данной бумаги в течении 10 минут, рассчитанной в течении торговой сессии с 10:00 до 16:40, то биржа также проводит торги в форме дискретного аукциона. До введения данной технологии в марте 2013 года торги приостанавливались на 30 минут. В течении данного периода участники не имели возможности вносить корректировки в свои заявки. Цена в дискретном аукционе определяется на основании лимитированных заявок, как цена, обеспечивающая максимальное количество сделок, либо при завершении этапа случайного завершения аукциона. Случайное время завершения данной фазы составляет до 30 с.³⁵

2.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХОУКСА ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕЛИВОВ ЛИКВИДНОСТИ

Процесс Хоукса (НР) - это математическая модель «самовозбуждающихся» (self-excited processes) процессов, названная в честь ее создателя Алана Г. Хоукса. Процесс Хоукса является счетным процессом, который моделирует последовательность «прибытий» определенного типа событий с течением

³⁴ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://fs.moex.com/files/254/1818>

³⁵ Московская Биржа. – Режим доступа: <https://fs.moex.com/files/6987/>

времени, например, землетрясений, заявок на покупку и продажу на бирже, дефолтов банков и преступлений. Процессы Хоукса составляют особый класс многомерных точечных процессов, которые в последнее десятилетие стали очень популярными в использовании в области сейсмологии (Ogata, 1999; Zhuang et al., 2002), биологии (Coleman&Gastwirth, 1969; Reynaud-Bouret&Schbath, 2010), криминологии (Mohler et al., 2011) и др. науках. В финансах данный процесс активно используется для моделирования время выставления заявок на покупку и продажу (Hewlett (2006), Large (2007), Muni Toke (2011)).³⁶

«В исследовании Hewlett (2006) анализируются моменты выставления заявок на покупку и продажу с помощью двумерного процесса Хоукса. Выборка данных состоит из записей о 25 629 рыночных ордерах, зарегистрированных на EBS за два месяца по EUR / PLN. Для самовозбуждающихся процессов процесс интенсивности представляется в следующем виде:

$$\lambda^t = \lambda_0(t) + \int_{-\infty}^t v(t-s) dN_s = \lambda_0(t) + \sum_{t_i < t} v(t-t_i)$$

- $\lambda_0(t)$ – детерминированная «базовая» интенсивность, т.е. интенсивность при отсутствии прошлых событий любого типа (представляет собой скорость появления внешних событий).
- Функция $v(t)$ отображает влияние произошедших событий в момент времени t_i на текущее значение интенсивности (представляет ядро). Функция $v(t)$ монотонно убывает, что означает, что недавние события имеют более высокое влияние на текущую интенсивность событий, по сравнению с событиями, произошедшими дальше во времени.»³⁷

³⁶ Zhang C. Modeling high frequency data using hawkes processes with power-law kernels //Procedia Computer Science. – 2016. – Т. 80. – С. 762-771. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916308419/pdf?md5=c7d9a651534e66d49e70f3ab58e6e7e8&pid=1-s2.0-S1877050916308419-main.pdf>

³⁷ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

Зачастую используется экспоненциальная функция для $v(t)$, которую можно записать в виде: $v(t) = \sum_{j=1}^p \alpha_j e^{-B_j t}$

Анализируемая модель в исследовании Hewlett (2006) может быть записана в следующем виде:

$$\lambda_t^{buy} = \mu_{buy} + \alpha_{buybuy} \int_{u<t} e^{-\beta_{buybuy}(t-u)} dN_t^{buy} + \alpha_{buysell} \int_{u<t} e^{-\beta_{buybuy}(t-u)} dN_t^{sell}$$

$$\lambda_t^{sell} = \mu_{buy} + \alpha_{sellsell} \int_{u<t} e^{-\beta_{sellsell}(t-u)} dN_t^{sell} + \alpha_{sellbuy} \int_{u<t} e^{-\beta_{sellbuy}(t-u)} dN_t^{buy}$$

Данные интенсивности учитывают эффект как самовозбуждения, так и перекрестного возбуждения. Автор накладывает ограничения симметричности: $H^{BUY} = H^{SELL} = H_0$; $\lambda^{BUYBUY} = \lambda^{SELLSELL} = \lambda_{SAME}$; $\lambda^{SELLBUY} = \lambda^{BUYSELL} = \lambda_{CROSS}$; $\beta^{BUYBUY} = \beta^{SELLSELL} = \beta_{SAME}$; $\beta^{SELLBUY} = \beta^{BUYSELL} = \beta_{CROSS}$. Данная модель применяется для анализа 2 308 ордеров. С помощью метода максимального правдоподобия были получены следующие оценки параметров: $H_0 = 0.0033$; $\lambda_{SAME} = 0.0169$; $\lambda_{CROSS} = 0$; $\beta_{SAME} = 0.0286$; $\beta_{CROSS} = 0$. Была также оценена модель Пуассона, в результате чего были получены параметры $\lambda_{SAME} = \lambda_{CROSS} = 0$; $H_0 = 0.0080$. Полученная модель Хоукса сравнивалась с моделью Пуассона. Максимальное логарифмическое правдоподобие для модели Хоукса превышает Пуассоновское логарифмическое правдоподобие на 1.017. Hewlett (2006) указывает на то, что в точечных процессах время, взвешенное по интенсивности, между моментами возникновения T_n последовательных событий в виде $\int_{T_{n-1}}^{T_n} (\lambda_{BUY}(t) + \lambda_{SELL}(t)) dt$, имеет стандартное экспоненциальное распределение. С помощью графика Q-Q plot автор сравнивает взвешенное по интенсивности время ожидания для процесса Хоукса и Пуассона с экспоненциальным. В результате процесс Хоукса

показывает лучшие результаты, чем модель Пуассона. Полученные методом максимального правдоподобия параметры говорят о том, что эффекта перекрестного возбуждения между ордерами на покупку и продажу не возникает. При этом появление ордера на покупку или продажу приводит к появлению ордера на покупку или продажу соответственно.³⁸

В исследовании Toke&Pomponio (2012) анализируются моменты выставления заявок на покупку и продажу по сделкам типа «trades-through» с помощью многомерного процесса Хоукса. Сделки «trades-through», как правило, осуществляются по худшим ценам, чем цены лучшей цены покупки и продажи. Авторы пытаются оценить кластеризацию данных сделок на обеих сторонах книги, проанализировать влияние сделки «trade-through» на одной стороне книги на появление аналогичной на другой стороне книги (эффект перекрестного возбуждения) и появление сделки на одной стороне книги на появление такой же (эффект самовозбуждения). Для анализа данных сделок строится книга лимитированных заявок BNP Paribas (BNPP.PA) на бирже Euronext-Paris с 1 июня 2010 г. по 29 октября 2010 г.

Для моделирования кластеризации данных сделок авторы вычисляют среднее значение распределения времени ожидания между двумя последовательными событиями (сделками «trade-through») и сравнивают его со средним временем ожидания между одной сделкой (сделкой на стороне Bid или Ask) и следующей сделкой «trade-through». В результате среднее время ожидания между двумя сделками «trade-through» оказалось меньше, что говорит об их кластеризации. При этом эффект перекрестной кластеризации меньше, чем эффект кластеризации на одной стороне книги.

³⁸ Hewlett P. Clustering of order arrivals, price impact and trade path optimisation //Workshop on Financial Modeling with Jump processes, Ecole Polytechnique. – 2006. – С. 6-8. – Режим доступа: <http://users.iems.northwestern.edu/~armbruster/2007msande444/Hewlett2006%20price%20impact.pdf>

Анализируемая модель Хоукса в данном исследовании имеет такой же вид, как и в исследовании Hewlett (2006). При этом счетные процессы N^A и N^B представляют собой количество сделок «trades-through» на стороне аск и бид соответственно. Toke&Pomponio (2012) обнаруживают сильный эффект самовозбуждения: среднее значение α_{AB} в 9,5 раз меньше среднего значения α_{AA} , в то же время связанный с ним экспоненциальный спад β_{AB} в 1,5 раза меньше среднего значения β_{AA} . Такое же поведение характерно для α_{BA} и α_{BB} . Ввиду слабого процесса перекрестного возбуждения авторы переходят к анализу самовозбуждающихся процессов с помощью одномерного процесса Хоукса, используя в качестве функции ядра (kernel function) экспоненциальную функцию и степенную (power law kernel) с постоянной базовой интенсивностью.³⁹

Для анализа событий илликвидности в исследовании Schneider, Lillo&Pelizzon (2016) модель Хоукса записывается в следующем виде:

$$\lambda^i(t) = \mu^i + \int_{-\infty}^t \Phi^{ii}(t-s) dN^i(s) + \sum_{j \neq i} \int_{-\infty}^t \Phi^{ij}(t-s) dN^j(s)$$

$\Phi(t)$ представляет собой ядро линейного отображения (kernel matrix). Диагональные элементы данной матрицы ii описывают процесс самовозбуждения (self-exciting process), остальные – процесс перекрестного возбуждения (cross-excitement process). Часть событий, которые описывает параметр H_i нельзя относить ни к одному из 2 указанных выше эффектов. Если эта доля равна 1, то все события неликвидности (illiquidity events) происходят случайным образом с постоянной интенсивностью H_i (математически описывая пуассоновский процесс), и шоки илликвидности не

³⁹ Toke I. M., Pomponio F. Modelling trades-through in a limit order book using Hawkes processes //Economics. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/228318347_Modelling_Trades-Through_in_a_Limit_Order_Book_Using_Hawkes_Processes

распространяются ни от других активов, ни во времени. В данном случае данный параметр является мерой устойчивости (resilience measure).

Ядро линейного отображения (decay kernel) $\Phi(t)$ было выбрано в следующем виде:

$$\Phi^{ij}(t-s) = \sum_{k=1}^{P_{ij}} \alpha_k^{ij} e^{-\beta_k^{ij}(t-s)}$$

Модель Хоукса для анализа событий самовозбуждения и перекрестного возбуждения может быть переписана в следующем виде:

$$\lambda_1(t) = \mu_1 + \int \Phi_{11}(t-s) dN_1(s) + \int \Phi_{12}(t-s) dN_2(s)$$

$$\lambda_2(t) = \mu_2 + \int \Phi_{22}(t-s) dN_2(s) + \int \Phi_{21}(t-s) dN_1(s)$$

Доли событий были рассчитаны с помощью следующей формулы:

$$1 = \frac{\mu_1}{\Lambda_1} + \gamma_{11} + \gamma_{12} \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1}$$

«Таким образом, с помощью последней формулы авторы могут рассчитать долю самовозбуждающихся процессов (self-excitation) для одного и того же актива и долю событий, возникающих в следствие шоков или ликвидности в других активах. Доля событий, возникающих из-за других активов, позволяет оценить перемены ликвидности от бондов с разными сроками погашения.»⁴⁰

Зачастую в процесс Хоукса для объяснения кластеризации выделяют две категории процессов: иммигранты и потомство. События «потомство» связаны с существующими (предыдущими) событиями в процессе, в то время как иммигранты прибывают независимо и, следовательно, не имеют

⁴⁰ Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

родительского события. «Потомство» может быть разбито на кластеры, связанные с каждым событием-«иммигрантом». (Hawkes and Oakes 1974).⁴¹

В исследовании Fonseca (2013) для анализа кластеризации сделок, вычисляется корреляция количества заявок, выставленных в разные непересекающиеся временные интервалы фиксированной длины с определенным лагом. Автокорреляционная функция рассчитывается следующим образом:

$$C(\tau, \delta) = \frac{\mathbb{E}[(N_{t+\tau} - N_t)(N_{t+2\tau+\delta} - N_{t+\tau+\delta})] - \mathbb{E}[N_{t+\tau} - N_t]\mathbb{E}[N_{t+2\tau+\delta} - N_{t+\tau+\delta})]}{\sqrt{\text{var}(N_{t+\tau} - N_t)\text{var}(N_{t+2\tau+\delta} - N_{t+\tau+\delta})}}$$

Данная автокорреляционная функция позволяет оценить, как появление одного события влияет на появление другого. Если связь положительна и значительна, то автокорреляционная функция уменьшается с течением времени. Для фьючерсов Eurostoxx автокорреляционная функция убывает и становится незначимой в течение 10 минут.

2.3. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

«Эмпирическая часть работы будет опираться на статью Schneider, Lillo&Pelizzon (2016) ‘How has Sovereign Bond Market Liquidity Changed? - An Illiquidity Spillover Analysis’. Для исследования переливов ликвидности Schneider, Lillo&Pelizzon (2016) используют данные по Европейским государственным облигациям с платформы MTS. Если в России преобладает биржевая торговля облигациями, то в большинстве европейских стран и США – внебиржевая (OTC market). MTS платформа является прокси для биржевого и внебиржевого рынка (OTC market). Для анализа авторы берут итальянские государственные облигации с различным сроком погашения за период с июня 2011 года по декабрь 2015 с точностью до миллисекунд и более».

⁴¹ <https://arxiv.org/pdf/1708.06401.pdf>

⁴²Информация о сделках содержит объем в заявках и исполненный объем. Информация о котировках включает идентификатор, позволяющий отслеживать участников в течение дня. Авторы делят данные на 3 периода: длится с июня 2011 г. по февраль 2012 г. и включает в себя период кризиса суверенных облигаций. Второй период (с марта 2013 г. по декабрь 2013г.) является спокойным. Третий период длится с октября 2014 г. по июнь 2015 г., который включает период от объявления программы количественного смягчения в еврозоне до первых месяцев ее реализации.

Анализ проводится на трех недавно выпущенных 5-, 10- и 30-летних государственных облигациях Италии с фиксированной ставкой (Buoni del Tesoro Poliennale, ВТР). Данные облигации активно торгуются в течение всего рассматриваемого субпериода. Всего анализируется 9 облигаций. Для данных облигаций рассчитываются 3 меры ликвидности: бид-аск спред (Bid-Ask Spread), обратная глубина (Inverse Depth), общий (котируемый) объем (Total/Quoted Volume).

- Бид-Аск спред - разность между лучшими ценами заявок на продажу (Best Ask Price) и на покупку (Best Bid Price) в один момент времени.
- Обратная Глубина (Inverse Depth) – показатель, который измеряется на стороне спроса/предложения и показывает, как заявка размером 15 млн. евро сместит лучшую цену спроса/предложения (Best bid/Ask Price) в любой момент времени. Сумма 15 млн. евро была получена как 90% перцентиль по всем заявкам. Для расчета обратной глубины в статье используется среднее значение цены на стороне спроса и предложения. По своему смыслу обратная глубина является мерой влияния на цену (Price Impact/Market Impact). Данный показатель характеризует глубину

⁴² Хроменко Е.Ф. Измерение высокочастотного риска и риска рыночной ликвидности на высокочастотных данных//Курсовая работа. – 2019.

рынка и показывает, какой объем торгов не приведет к сдвигу цены в ту или иную сторону. Чем больше глубина, тем больше ликвидность.

- Общий (котируемый) объем – сумма всех объемов в книге лимитированных заявок, независимо от цен.

Для трансформации данных мер ликвидности в один индекс ликвидности (первую главную компоненту), используется метод главных компонент, которые будет описан далее. (Mancini et al. (2013) and Fleming (2003)).

МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

Метод главных компонент – это методология статистического анализа, используемая для уменьшения размерности данных с минимальной потерей полезной информации. Данный метод позволяет не только уменьшить размерность, но и найти закономерности в многомерном наборе данных, уловить как можно больше исходной дисперсии данных и т.д. Метод главных компонент позволяет заменить исходные переменные на меньшее количество новых переменных без значительного ущерба для информативности. Новые искусственные переменные называются главными компонентами. С помощью метода главных компонент исходные данные трансформируются в новую систему координат так, что первая координатная ось отражает переменную с максимальной дисперсией (первая главная компонента – PCA1), вторая ось отражает вторую переменную с максимальной дисперсией (вторая главная компонента – PCA2) и т.д.

Определение первой главной компоненты можно записать в следующем виде:

Пусть у нас есть k признаков: X_1, X_2, \dots, X_k , по каждому из них имеем N наблюдений. Первой главной компонентой Z_1 называется линейная комбинация исходных признаков

$$Z_1 = c_{11} * X_1 + c_{12} * X_2 + \dots + c_{1k} * X_k$$

Коэффициенты $c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1k}$ выбираются так, что дисперсия $Var(Z_1) = \lambda_1 = \max$. Аналогичное определение можно дать второй главной компоненте. При этом компоненты Z_1 и Z_2 являются некоррелированными.

Главные компоненты могут быть вычислены следующим образом:

1.) Переход к централизованным и нормализованным переменным:

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}}, \text{ где } i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$$

Данная формула может быть переписана в более упрощенном виде:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu}{\sigma}, \text{ где}$$

x_{ij} – значение по i -наблюдению j -переменной;

μ – среднее значение j -переменной по n наблюдениям;

σ – среднеквадратическое отклонение j -переменной.

2.) Вычисление ковариационной матрицы. В матрице по диагонали будут дисперсии признаков ($i = j$), а в остальных ячейках – ковариации соответствующих пар признаков. В силу симметричности ковариации матрица тоже будет симметрична. Формула ковариации может быть записана в следующем виде:

$$Cov(X_i; X_j) = E[(X_i - E(X_i)) * (X_j - E(X_j))] = E(X_i * X_j) - E(X_i) * E(X_j)$$

Так как $E(X_i) = E(X_j) = 0$, то $Cov(X_i; X_j) = E(X_i X_j)$.

Когда $X_i = X_j$, то $Cov(X_i; X_i) = Var(X_i)$.

3.) Вычислим собственные числа, упорядочим их по убыванию и собственные векторы

4.) Определим главные компоненты, которые являются линейными комбинациями исходных факторов. Главные компоненты могут быть записаны в следующем виде:

$$z_{1i} = c_{11} * x_{1i} + c_{12} * x_{2i} + \dots + c_{1k} * x_{ki}$$

$$z_{2i} = c_{21} * x_{1i} + c_{22} * x_{2i} + \dots + c_{2k} * x_{ki}$$

...

$$z_{ki} = c_{k1} * x_{1i} + c_{k2} * x_{2i} + \dots + c_{kk} * x_{ki} \text{ для любого } i = 1, \dots, n.$$

При переходе от исходных переменных, к главным компонентам, долю дисперсии исходного признака, можно измерить по формуле:

$$\frac{\sum_{j=1}^p \lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j}$$

С помощью деления дисперсии, связанной с каждой главной компонентой на сумму дисперсий по всем компонентам, получаем долю дисперсии каждой компоненты.

Свойства главных компонент:

- 1.) Матожидание главных компонент равно нулю;
- 2.) Ковариационная матрица главных компонент имеет диагональный вид;
- 3.) Главные компоненты ортогональны (некоррелированы);
- 4.) Сумма дисперсий исходных признаков равна сумме дисперсий всех главных компонент;
- 5.) Первая главная компонента обладает наибольшей дисперсией⁴³;

Ограничения метода главных компонент состоят в невозможности интерпретации главных компонент, так как они «впитывают» в себя дисперсию от нескольких исходных переменных. Помимо этого, метод применим только для непрерывных данных. Применение метода главных компонент является наиболее эффективным, когда факторы вектора X измерены в одних и тех же единицах измерения.

⁴³ Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с. — Режим доступа: https://www.studmed.ru/ayvazyan-sa-prikladnaya-statistika-klassifikaciya-i-snizhenie-razmernosti_e7c7c79f5b5.html

ВЫЯВЛЕНИЕ СОБЫТИЙ ИЛЛИКВИДНОСТИ

Согласно подходу, используемому Schneider, Lillo&Pelizzon (2016), событие илликвидности определяется по следующей формуле:

$$N^i(t) = \sum_{m=0}^{M^i(t)} \frac{PCA1^i(t_m) - PCA1^i(t_{m-l})}{t_m - t_{m-l}} > \theta$$

θ – определенный порог, который представляет собой 95% перцентиль соотношения $\frac{PCA1^i(t_m) - PCA1^i(t_{m-l})}{t_m - t_{m-l}}$.

$M^i(t)$ – число обновлений PCA1 до периода времени t .

t_m – время обновления PCA1.

l – это среднее число обновлений PCA1 в течении 30 секунд.

МОДЕЛЬ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЛАГАМИ

В экономике текущее значение того или иного показателя может зависеть не только от предыдущих его значений, но и от текущих и предыдущих значений других показателей. Для анализа взаимовлияния двух величин используется модель распределенного лага.

Модель ADL (p,r) имеет вид:

$$y_t = a + b_0 x_t + b_1 x_{t-1} + b_2 x_{t-2} + \dots + \varepsilon_t$$

Коэффициент b_0 при переменной x_t называется краткосрочным мультипликатором. Данный коэффициент показывает среднее абсолютное изменение y при изменении x на 1 единицу в момент времени t . В момент времени $(t+1)$ воздействие x на y составит $b_0 + b_1$ и так далее. Данные суммы

представляют собой промежуточные мультипликаторы. Долгосрочный мультипликатор является суммой всех коэффициентов при лаговых переменных.

Так как изначально количество лагов в уравнении распределенного лага неизвестно, то необходимо последовательно увеличивать количество лагов. Для принятия решения о величине лага смотрят на коэффициенты и их значимость. Если при увеличении количества лагов, коэффициент меняет знак, то в уравнении оставляют коэффициенты, где не было смены лага. Если при добавлении лага коэффициент при переменной x с лагом стал незначимым, то в уравнении оставляются значения, которые являются значимыми. При этом при увеличении количества лагов, может возникнуть проблема мультиколлинеарности и ошибки спецификации модели. Проблемой данной модели является также уменьшение числа степеней свободы с увеличением лага и автокорреляция остатков.⁴⁴

ПРОВЕРКА НА СТАЦИОНАРНОСТЬ ВРЕМЕННОГО РЯДА: ТЕСТ ДИККИ-ФУЛЛЕРА.

Для проверки временного ряда на стационарность используется тест Дики-Фуллера. При помощи теста Дики-Фуллера проверяется значение коэффициента a в авторегрессионном уравнении первого порядка AR(1):

$$y_t = ay_{t-1} + \varepsilon_t, \text{ где } y_t - \text{временной ряд, } \varepsilon_t - \text{ошибка.}$$

Если $a=1$, то процесс имеет единичный корень, в этом случае ряд не стационарен (интегрированный). Если $|a|<1$, то ряд стационарный.⁴⁵

⁴⁴ Мардас А. Н. Эконометрика. – 2019. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41253143>

⁴⁵ Проблемно-Оrientированная Информационно-Вычислительная Система – Режим доступа: <http://poivs.tsput.ru/ru/Math/ProbabilityAndStatistics/MathStatistics/TimeSeriesAnalysis/DickeyFullerTest>

Нулевая гипотеза H_0 для данного теста: $g = 0$ (существует единичный корень, ряд нестационарный).

Альтернативная гипотеза: $H_1: g < 0$ (единичного корня нет, ряд стационарный).

Отвергаем H_0 на N процентном ($N=1\%, 5\%, 10\%$) уровне значимости, если $t_1 < t_{\text{крит}}^{N\%}$

ГЛАВА 3: ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. ОПИСАНИЕ ДАННЫХ

На первоначальном этапе необходимо произвести фильтрацию, отбор и обработку высокочастотной рыночной информации по результатам торгов на фондовом рынке и накопить эту информацию в базе данных PostgreSQL.

Для реализации данной цели была создана база данных в PostgreSQL. В БД с помощью кода были загружены файлы Orderlog_ (указание даты), содержащие записи торгов за 20 торговых дней (с 20150302 до 20150331). Для выполнения запросов к БД использовался графический клиент pgAdmin. Формат полей данных в созданной БД может быть представлен в виде следующей таблицы:

Наименование	Тип	Описание
NO	INT	Номер записи
SECCODE	STRING	Код инструмента
BUYSELL	CHAR	Признак купли/продажи: B – купить S - продать

TIME	LONGINT	Время представлено в формате с точностью до микросекунд HHMMSSZZZXXX
ORDERNO	INT	Номер заявки
ACTION	BYTE	Тип события: ACTION = 0 – снятие заявки ACTION = 1 – постановка заявки ACTION = 2 – сделка
PRICE	FLOAT	Цена заявки
VOLUME	INTEGER	Объем: Для ACTION=1 – видимый объем поставленной заявки Для ACTION=2 – объем сделки Для ACTION = 3 – остаток видимой части

Источник: ММББ

Для анализа переливов ликвидности на российском рынке были выбраны акции компаний 3 различных секторов:

- ALRS – алмазодобывающая компания
- SBER – компания финансового сектора
- MGNT – компания сектора ритейла

Описательные статистики представлены в таблицах ниже.

Таблица: Описательные статистики для бумаг ALRS за 20150303

	Best_bid	Best_ask	MID_PRICE	BA_SPREAD	Av_quoted_volume	IMBALANCE_OF_INVERSE_DEPTH
count	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000
mean	71.512035	71.564645	71.538340	526.103647	294000.191939	-1706.845532
std	1.138140	1.126366	1.132131	353.675727	79312.681775	883.782262
min	68.400000	68.690000	68.650000	100.000000	32050.000000	-8126.661468
25%	70.850000	70.890000	70.870000	300.000000	240300.000000	-2273.205037
50%	72.160000	72.200000	72.175000	500.000000	275200.000000	-1622.915723
75%	72.250000	72.290000	72.270000	700.000000	364200.000000	-1041.268216
max	72.370000	72.390000	72.380000	5400.000000	451100.000000	0.000000

Таблица: Описательные статистики для бумаги SBER за 20150303

	Best_bid	Best_ask	MID_PRICE	BA_SPREAD	Av_quoted_volume	IMBALANCE_OF_INVERSE_DEPTH
count	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000	5.210000e+02	521.000000
mean	76.165816	76.182092	76.173954	162.763916	4.219800e+06	-0.093367
std	0.458660	0.458117	0.458371	80.355221	8.824532e+05	0.028218
min	74.980000	75.020000	75.005000	100.000000	1.135585e+06	-0.243819
25%	75.790000	75.800000	75.795000	100.000000	3.900265e+06	-0.112239
50%	76.240000	76.260000	76.250000	100.000000	4.577930e+06	-0.094673
75%	76.580000	76.600000	76.590000	200.000000	4.798055e+06	-0.073070
max	76.880000	76.900000	76.890000	600.000000	5.286075e+06	-0.019696

Таблица: Описательные статистики для бумаг MGNT за 20150303

	Best_bid	Best_ask	MID_PRICE	BA_SPREAD	Av_quoted_volume	IMBALANCE_OF_INVERSE_DEPTH
count	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000
mean	11657.850288	11667.051823	11662.451056	92015.355086	5425.631478	-11.463385
std	119.166789	118.877228	119.010080	33826.021991	1005.388329	4.522225
min	11345.000000	11347.000000	11346.000000	10000.000000	1795.500000	-70.746770
25%	11625.000000	11634.000000	11630.000000	70000.000000	4737.000000	-13.424776
50%	11690.000000	11699.000000	11694.500000	90000.000000	5270.500000	-11.326256
75%	11750.000000	11760.000000	11754.500000	110000.000000	6436.000000	-9.401394
max	11798.000000	11803.000000	11800.000000	300000.000000	7192.500000	10.784479

3.2. ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первоначальном этапе исследования была построена книга лимитированных заявок (Limit Order Book). Далее заявки были агрегированы по каждому ценовому уровню в пивот-таблицу, где на каждой цене отображен объем на покупку и продажу. Ниже представлена

визуализация биржевого стакана до заданного момента времени для 3 отобранных для анализа компаний: ALRS, SBER, MGNT. Полученный биржевой стакан отображает 10 лучших заявок на покупку и продажу.

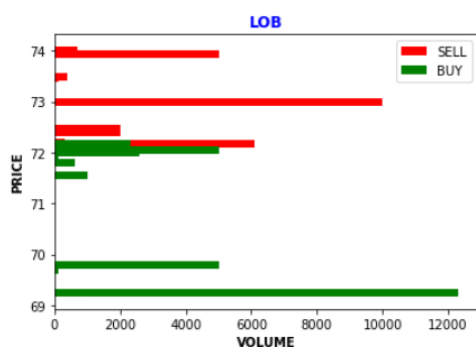
Книга лимитированных заявок (Limit Order Book) отстраивается с учетом действий, производимых трейдерами. На первоначальном этапе построения биржевого стакана отбираются только лимитированные заявки и перемещаются в специально созданную очередь заявок:

- 1.) Если состояние заявки 1 – выставление, то такая заявка перемещается в очередь заявок: если в очереди заявок уже есть заявка с таким же уровнем цены и в том же направлении (Bid/Ask), то прибавляем объем новой заявки к уже существующей.
- 2.) Если состояние заявки 0 – отмена, то в очереди заявок ищем заявку с соответствующим номером и обновляем: из указанного в ней объема вычитается объем заявки с Action=0.
- 3.) Если состояние заявки 2 – исполнение, то в очереди заявок осуществляется поиск заявки с соответствующим номером и обновление: из указанного в ней объема вычитается объем, на который произошла сделка.

Если после исполнения заявки образовался отрицательный объем, то данную заявку можно идентифицировать как айсберг-заявку. Для того, чтобы избежать отрицательных объемов, заявки типа айсберг можно удалить с очереди заявок, либо обнулить объем.

Рисунок: Биржевой стакан для ALRS до 184000000 за 20150303

Бид-аск спред для ALRS равен -0,02.



Источник: Составлено автором

Рисунок: Биржевой стакан для SBER до 184000000 за 20150303

Бид-аск спред равен -0,05

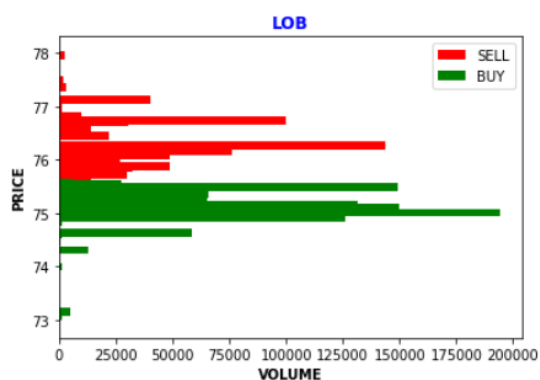
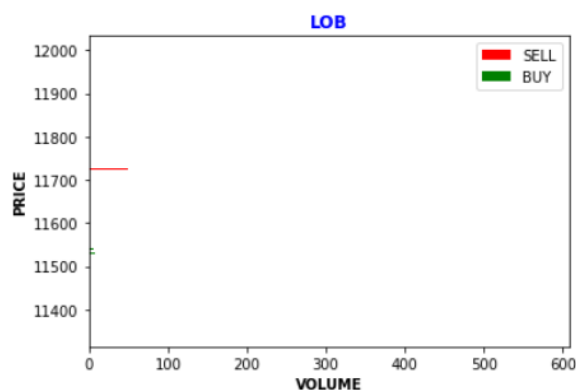


Рисунок: Биржевой стакан для MGNT до 184000000 за 20150303

Бид-аск спред - 17



Для построения единой меры ликвидности в виде первой главной компоненты(Principal Component 1) были выбраны 3 показателя:

- Бид-Аск спред - разность между лучшими ценами заявок на продажу (Best Ask Price) и на покупку (Best Bid Price) в один момент времени.
- Обратная Глубина (Inverse Depth/Market Impact) – показатель, который измеряется на стороне спроса/предложения и показывает, как заявка размером 5000 руб. для ALRS, 30 000 руб. для SBER, 5000 руб. для MGNT сместит лучшую цену спроса/предложения (Best bid/Ask Price) в любой момент времени. Для расчета Market Impact для каждой анализируемой акции использовался 90% перцентиль объема за торговый день.
- Котируемый объем (Quoted Volume) – сумма объемов в книге лимитированных заявок до заданного момента времени независимо от цены.

Внутри торгового дня для выбранных ценных бумаг построим временные ряды с заданным шагом, равным 1 минуте, для следующих показателей:

- Средняя цена (MID PRICE)
- Бид-аск спред (BA_SPREAD)
- Объем на лучших ценах покупки и продажи (BEST_B_VOL и BEST_S_VOL)
- Рыночный дисбаланс (M_imbalance)
- Средний котируемый объем (Av_quoted_volume)
- Лучшие цены покупки и продажи (Best_bid, Best_ask)
- Общий объем (Total_volume)

Полученные таблицы временных рядов с интервалом 1 минута представлены в таблицах.

Таблица: Показатели мер ликвидности для ALRS за 20150303

SECCODE	TIME	MID_PRICE	BA_SPREAD	BEST_B_VOL	BEST_S_VOL	M_imbalance	Quoted_spread	Av_quoted_volume	Best_bid	Best_ask	Total_volume
'ALRS'	100000000	68.670	5400.0	200.0	600.0	-0.500000	0.786370	212800.0	68.40	68.94	425600.0
'ALRS'	100100000	68.740	2200.0	1500.0	100.0	0.875000	0.320047	243150.0	68.63	68.85	486300.0
'ALRS'	100200000	68.760	1200.0	1200.0	600.0	0.333333	0.174520	254700.0	68.70	68.82	509400.0
'ALRS'	100300000	68.660	1000.0	2300.0	300.0	0.769231	0.145645	271950.0	68.61	68.71	543900.0
'ALRS'	100400000	68.650	800.0	900.0	1500.0	-0.250000	0.116533	282800.0	68.61	68.69	565600.0
...
'ALRS'	183600000	72.170	200.0	5400.0	3900.0	0.161290	0.027712	108350.0	72.16	72.18	216700.0
'ALRS'	183700000	72.175	100.0	6400.0	2800.0	0.391304	0.013855	107300.0	72.17	72.18	214600.0
'ALRS'	183800000	72.165	300.0	3200.0	2200.0	0.185185	0.041571	96150.0	72.15	72.18	192300.0
'ALRS'	183900000	72.175	100.0	2000.0	2000.0	0.000000	0.013855	95250.0	72.17	72.18	190500.0
'ALRS'	184000000	72.170	200.0	2300.0	6100.0	-0.452381	0.027712	32050.0	72.16	72.18	64100.0

Таблица: Показатели мер ликвидности для SBER за 20150303

SECCODE	TIME	ASK_IMPACT	BID_IMPACT	MID_PRICE	BA_SPREAD	BEST_B_VOL	BEST_S_VOL	M_imbalance	Bid_quoted_volume	Ask_quoted_volume
'SBER'	100000000	76.136267	76.011780	76.060	600.0	11530.0	10000.0	0.071064	2906690.0	1519290.0
'SBER'	100100000	76.029173	75.953060	75.990	600.0	10310.0	2480.0	0.612197	3796280.0	2350480.0
'SBER'	100200000	75.995733	75.915343	75.955	300.0	300.0	300.0	0.000000	3543870.0	2283790.0
'SBER'	100300000	76.089947	76.019787	76.055	100.0	3100.0	1500.0	0.347826	3894140.0	2370610.0
'SBER'	100400000	76.157890	76.100000	76.120	400.0	40980.0	7750.0	0.681921	4057940.0	2276000.0
...
'SBER'	183600000	75.720030	75.666547	75.695	100.0	4980.0	8190.0	-0.243736	1481010.0	1045720.0
'SBER'	183700000	75.680583	75.649327	75.665	100.0	3020.0	100.0	0.935897	1553500.0	1133600.0
'SBER'	183800000	75.721060	75.650117	75.695	100.0	200.0	7720.0	-0.949495	1658430.0	1093930.0
'SBER'	183900000	75.683517	75.606493	75.650	400.0	300.0	2450.0	-0.781818	1543220.0	1061230.0
'SBER'	184000000	75.661510	75.551990	75.585	500.0	5970.0	14060.0	-0.403894	1353720.0	917450.0

Таблица: Показатели мер ликвидности для MGNT за 20150303

SECCODE	TIME	MID_PRICE	BA_SPREAD	BEST_B_VOL	BEST_S_VOL	M_imbalance	Quoted_spread	Av_quoted_volume	Best_bid	Best_ask	Total_volume
'MGNT'	100000000	11415.0	300000.0	1.0	7.0	-0.750000	0.262812	1795.5	11400.0	11430.0	3591.0
'MGNT'	100100000	11376.5	130000.0	9.0	9.0	0.000000	0.114271	3446.5	11370.0	11383.0	6893.0
'MGNT'	100200000	11400.5	190000.0	2.0	4.0	-0.333333	0.166659	3471.0	11391.0	11410.0	6942.0
'MGNT'	100300000	11393.0	140000.0	16.0	1.0	0.882353	0.122882	3710.0	11386.0	11400.0	7420.0
'MGNT'	100400000	11393.0	140000.0	16.0	18.0	-0.058824	0.122882	3939.0	11386.0	11400.0	7878.0
...
'MGNT'	183600000	11662.0	80000.0	7.0	2.0	0.555556	0.068599	2655.0	11658.0	11666.0	5310.0
'MGNT'	183700000	11662.0	60000.0	14.0	4.0	0.555556	0.051449	2589.5	11659.0	11665.0	5179.0
'MGNT'	183800000	11645.0	100000.0	65.0	3.0	0.911765	0.085874	2675.5	11640.0	11650.0	5351.0
'MGNT'	183900000	11659.0	100000.0	26.0	60.0	-0.395349	0.085771	2709.0	11654.0	11664.0	5418.0
'MGNT'	184000000	11671.5	170000.0	8.0	32.0	-0.600000	0.145654	2069.0	11663.0	11680.0	4138.0

Далее представим графики временных рядов для бид аск спреда, обратной глубины и среднего котируемого объема. Кроме того, построим график рассеяния для бид-аск спреда и обратной глубины. Графики рассеяния показывают отрицательную зависимость между бид-аск спредом и обратной глубиной. Для ALRS зависимость между бид-аск спредом и обратной глубиной составляет -61%. Для SBER данная зависимость составляет -41%.

График: Зависимость между обратной глубиной и бид-аск спредом для ALRS за 20150303

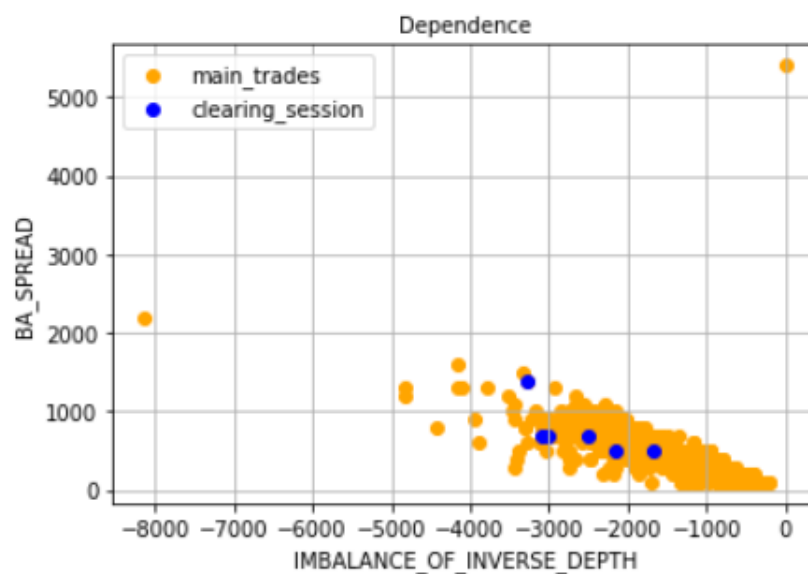
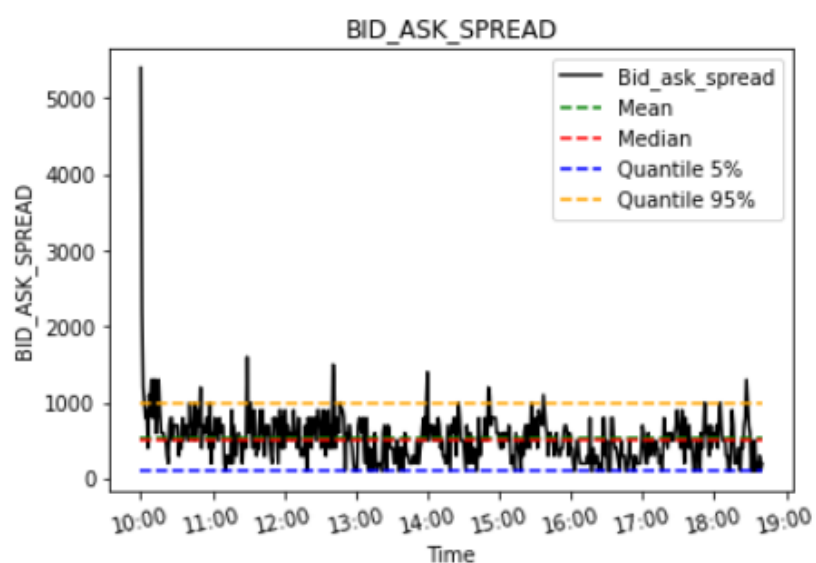


График: Меры ликвидности для ALRS



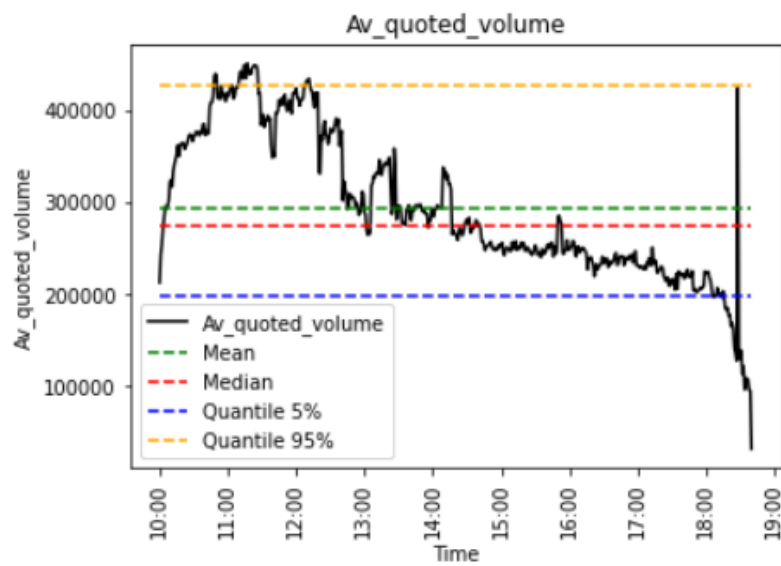
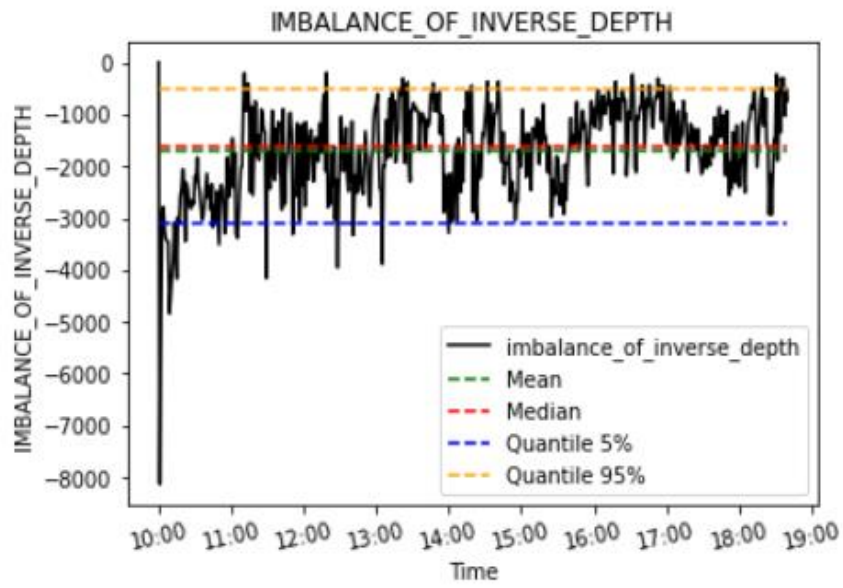
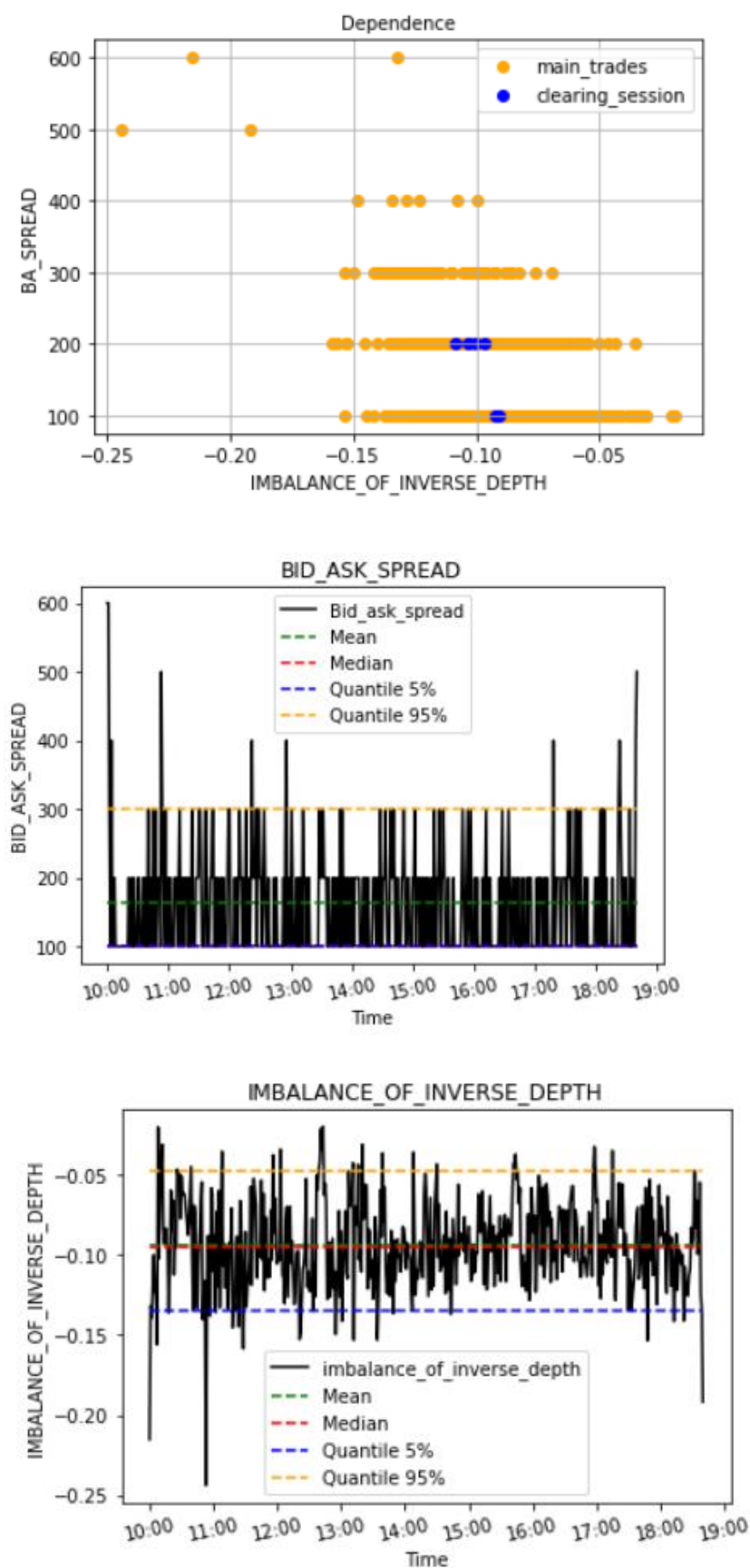


Рисунок: Зависимость между обратной глубиной и бид-аск спредом для SBER



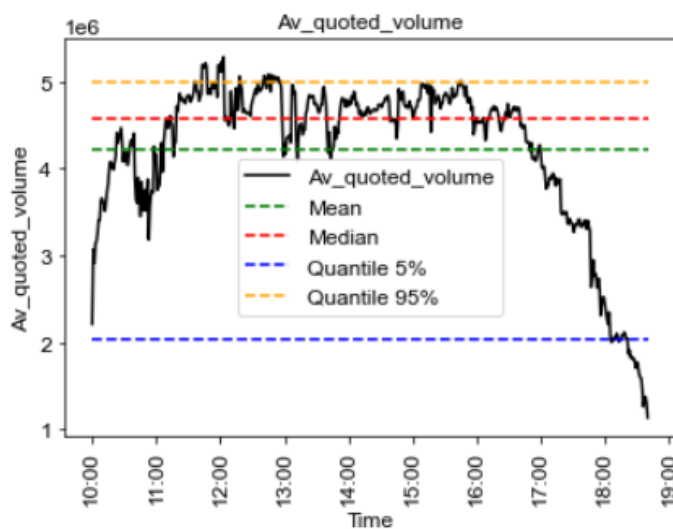
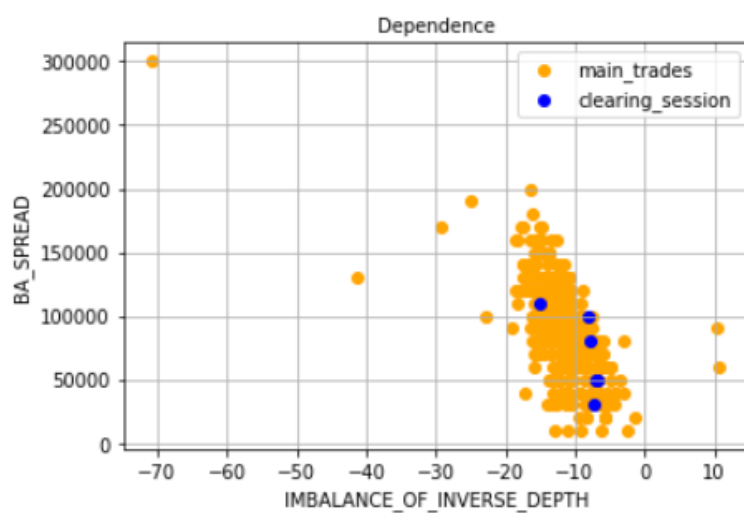
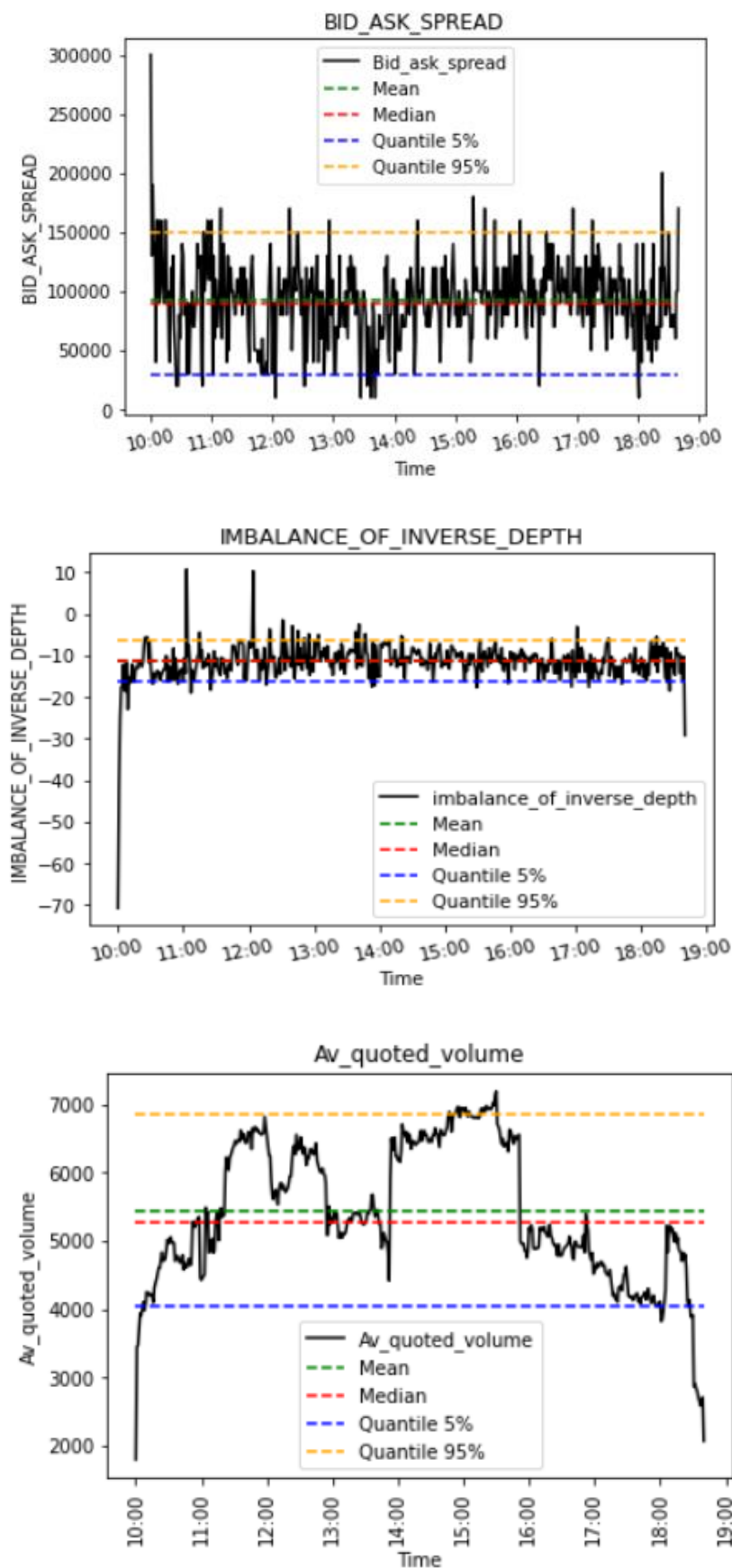


Рисунок: Зависимость между обратной глубиной и бид-аск спредом для MGNT





Далее воспользуемся идеей, реализованной в статье Schneider, Lillo&Pelizzon (2016) 'How has Sovereign Bond Market Liquidity Changed? - An Illiquidity

Spillover Analysis' для снижения размерности данных методом главных компонент. На первоначальном этапе стандартизируем полученные 3 меры ликвидности. Далее получим 2 главные компоненты и построим график рассеяния 2 главных компонент. Повторим данные шаги для каждой бумаги. Первая из выделенных компонент для ALRS обуславливает 57% вариации дисперсии, а вторая – 43% соответственно. Для SBER первая из выделенных компонент объясняет 51% вариации дисперсии.

Таблица: Стандартизированные меры ликвидности для ALRS

	BA_SPREAD	IMBALANCE_OF_INVERSE_DEPTH	Av_quoted_volume
0	13.793937	1.933153	-1.024782
1	4.737405	-7.271006	-0.641752
2	1.907239	-3.547802	-0.495986
3	1.341205	-1.305424	-0.278283
4	0.775172	-1.224659	-0.141351
...
516	-0.922928	1.450415	-2.342987
517	-1.205944	1.585281	-2.356239
518	-0.639911	0.767461	-2.496957
519	-1.205944	1.359165	-2.508315
520	-0.922928	1.093797	-3.305927

Таблица: Главные компоненты для ALRS

	principal component 1	principal component 2
TIME		
2015-03-03 10:00:00	7.176269	5.919529
2015-03-03 10:01:00	7.773778	3.230125
2015-03-03 10:02:00	3.469468	1.591506
2015-03-03 10:03:00	1.653437	0.914868
2015-03-03 10:04:00	1.283072	0.566020
...
2015-03-03 18:36:00	-2.403218	1.633894
2015-03-03 18:37:00	-2.681491	1.523453
2015-03-03 18:38:00	-1.809859	1.962247
2015-03-03 18:39:00	-2.580643	1.689680
2015-03-03 18:40:00	-2.497786	2.560303

График: Рассеяние первой и второй главной компоненты для ALRS

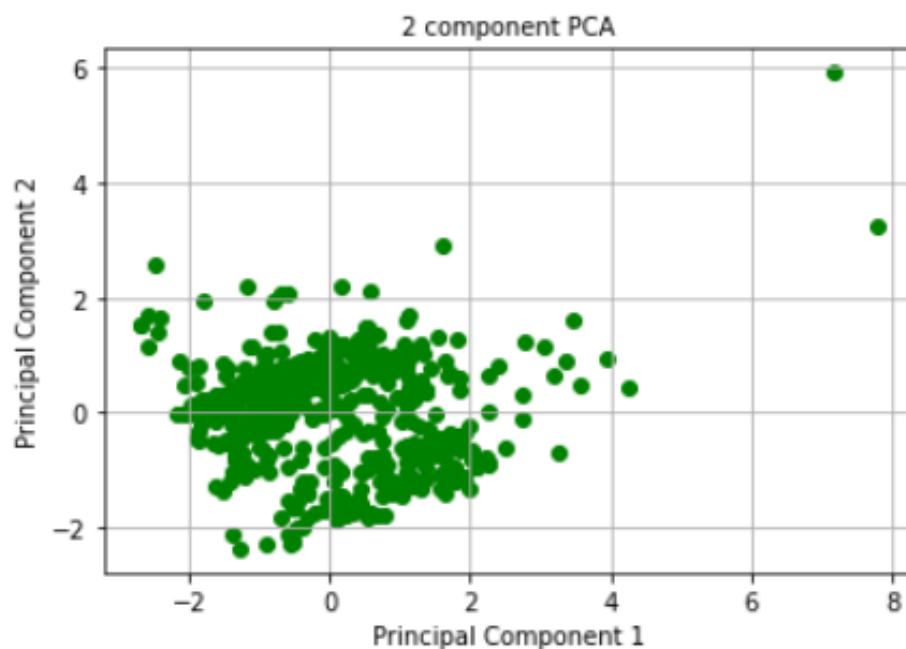


Таблица: Стандартизированные меры ликвидности для SBER

	BA_SPREAD	Av_quoted_volume	IMBALANCE_OF_INVERSE_DEPTH
0	5.446520	-2.276312	-4.321163
1	5.446520	-1.300377	-1.363661
2	1.709509	-1.481354	-1.630928
3	-0.781831	-1.233460	-0.990584
4	2.955179	-1.194219	-0.232066
...
516	-0.781831	-3.353466	0.000841
517	-0.781831	-3.262513	1.375352
518	-0.781831	-3.225501	-1.080103
519	2.955179	-3.309387	-1.462188
520	4.200850	-3.498406	-3.488122

Таблица: Главные компоненты для SBER

	principal component 1	principal component 2
TIME		
2015-03-03 10:00:00	7.257660	-0.258884
2015-03-03 10:01:00	4.929446	-0.689999
2015-03-03 10:02:00	2.720467	0.592282
2015-03-03 10:03:00	0.570513	1.235600
2015-03-03 10:04:00	2.494441	0.166342
...
2015-03-03 18:36:00	0.608918	3.383534
2015-03-03 18:37:00	-0.351790	3.522864
2015-03-03 18:38:00	1.297682	3.087082
2015-03-03 18:39:00	4.034774	1.946844
2015-03-03 18:40:00	6.285989	1.407499

График: Рассеяние первой и второй главной компоненты для SBER

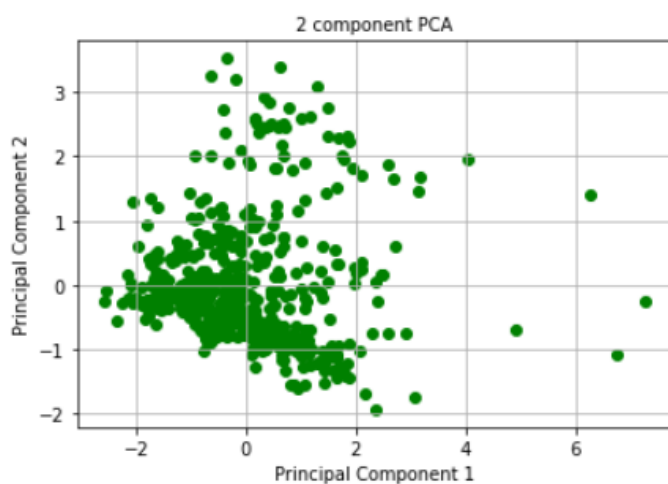


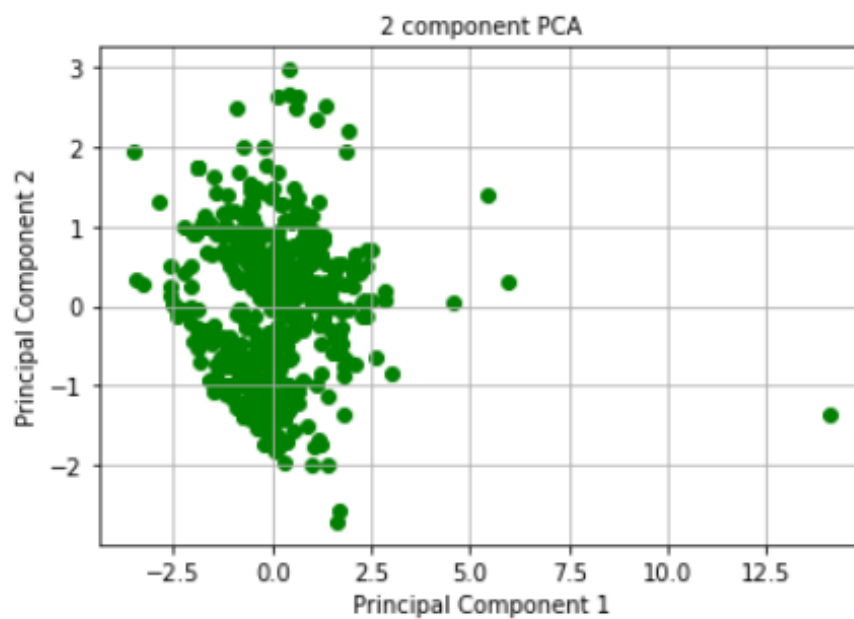
Таблица: Стандартизированные меры ликвидности для MGNT

	BA_SPREAD	IMBALANCE_OF_INVERSE_DEPTH	Av_quoted_volume
0	6.154567	-13.121938	-3.614146
1	1.124021	-6.624967	-1.970416
2	2.899508	-2.971684	-1.946024
3	1.419935	-1.350641	-1.708077
4	1.419935	-1.323532	-1.480085
...
516	-0.355552	-0.633353	-2.758431
517	-0.947381	0.280546	-2.823643
518	0.236277	-0.982460	-2.738021
519	0.236277	0.264354	-2.704669
520	2.307679	-3.922877	-3.341850

Таблица: Главные компоненты для MGNT

	principal component 1	principal component 2
TIME		
2015-03-04 10:00:00	14.064159	-1.356854
2015-03-04 10:01:00	5.929539	0.305117
2015-03-04 10:02:00	4.583776	0.042015
2015-03-04 10:03:00	2.485686	0.707171
2015-03-04 10:04:00	2.373763	0.508358
...
2015-03-04 18:36:00	1.337208	2.515473
2015-03-04 18:37:00	0.386827	2.962604
2015-03-04 18:38:00	1.929141	2.189965
2015-03-04 18:39:00	1.083413	2.340850
2015-03-04 18:40:00	5.425611	1.402308

График: Рассеяние первой и второй главной компоненты для MGNT



3.3. АНАЛИЗ ПЕРЕЛИВОВ ЛИКВИДНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОДНОМЕРНОГО ПРОЦЕССА ХОУКСА И МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

АНАЛИЗ ПЕРЕЛИВОВ С ПОМОЩЬЮ ОДНОМЕРНОГО ПРОЦЕССА ХОУКСА

Воспользуемся идеей в статье Schneider, Lillo&Pelizzon (2016) ‘How has Sovereign Bond Market Liquidity Changed? - An Illiquidity Spillover Analysis’ для нахождения переливов ликвидности. События илликвидности определим с помощью следующей формулы:

$$N^i(t) = \sum_{m=0}^{M^i(t)} PCA1^i(t_m) - PCA1^i(t_{m-l}) > \theta$$

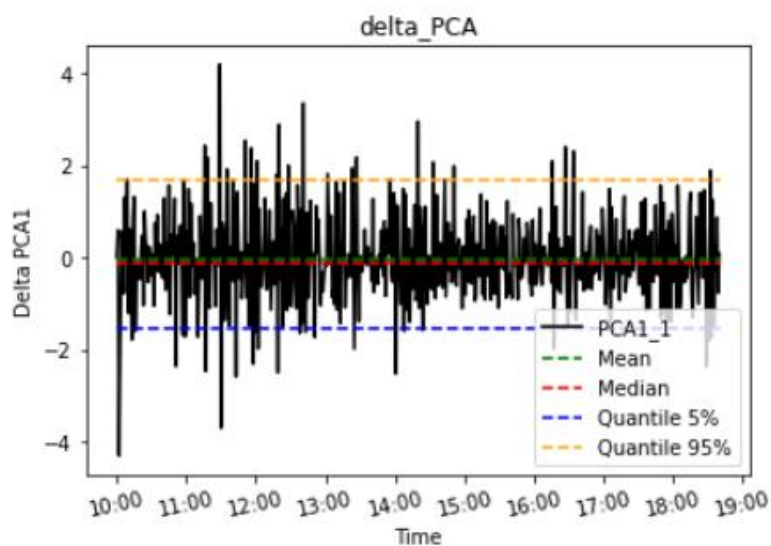
θ – определенный порог, который представляет собой 95% перцентиль разницы $PCA1^i(t_m) - PCA1^i(t_{m-l})$. Данная разница PCA1 рассчитывается по каждому торговому дню отдельно. Далее агрегируются все значения разницы PCA1 за 20 торговых дней и рассчитывается общий показатель тета Θ (1,81 для ALRS) как 95% перцентиль, который будет приниматься в качестве порога для идентификации событий илликвидности.

$M^i(t)$ – число обновлений PCA1 до периода времени t .

t_m – время обновления PCA1.

l – это значение PCA1 в предыдущий момент времени.

Рисунок: Дельта первой главной компоненты для ALRS по состоянию на 20150303



Определим события для ALRS, как моменты времени, когда дельта первой главной компоненты больше значения тета, равного 1.81. Получим следующие моменты событий (19 событий).

Таблица: Моменты событий для SBER с момента 100000000 в минутах

	TIME	principal component 1
0	2015-03-02 11:16:00	2.429713
1	2015-03-02 11:18:00	2.176370
2	2015-03-02 11:29:00	4.202299
3	2015-03-02 11:35:00	1.918973
4	2015-03-02 11:51:00	2.544454
5	2015-03-02 11:56:00	2.378980
6	2015-03-02 12:01:00	2.092834
7	2015-03-02 12:20:00	2.892264
8	2015-03-02 12:28:00	1.999906
9	2015-03-02 12:41:00	3.354152
10	2015-03-02 13:02:00	1.821806
11	2015-03-02 13:23:00	1.945519
12	2015-03-02 13:27:00	2.179155
13	2015-03-02 14:20:00	2.959867
14	2015-03-02 14:33:00	2.073933
15	2015-03-02 14:51:00	1.989312
16	2015-03-02 16:16:00	2.099474
17	2015-03-02 16:27:00	2.406907
18	2015-03-02 16:34:00	2.312772
19	2015-03-02 18:32:00	1.897947

Рисунок: Визуализация моментов событий для SBER с момента 100000000 в минутах

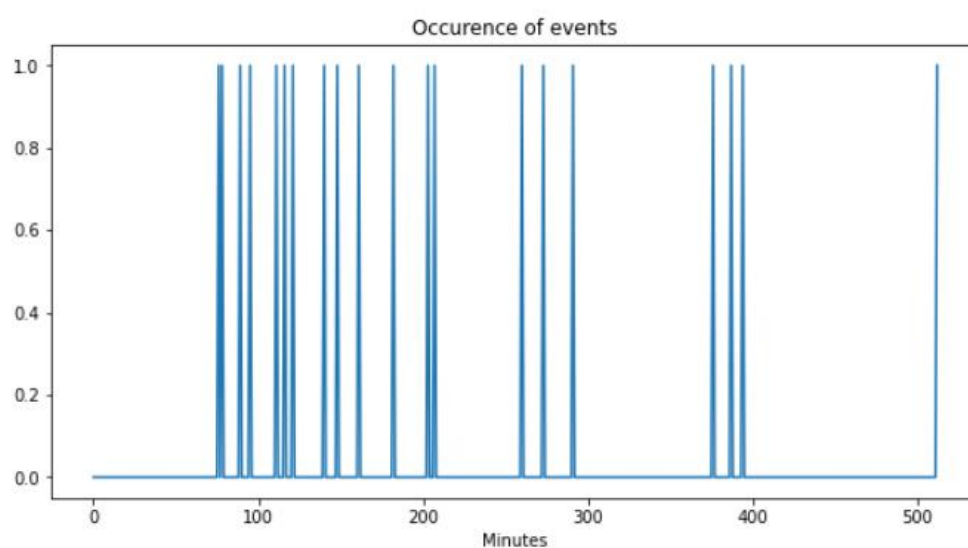
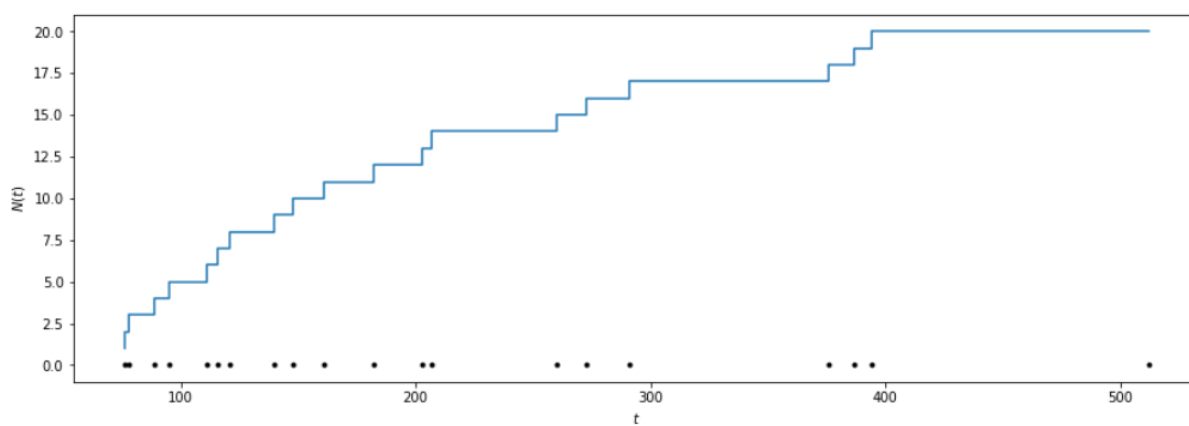


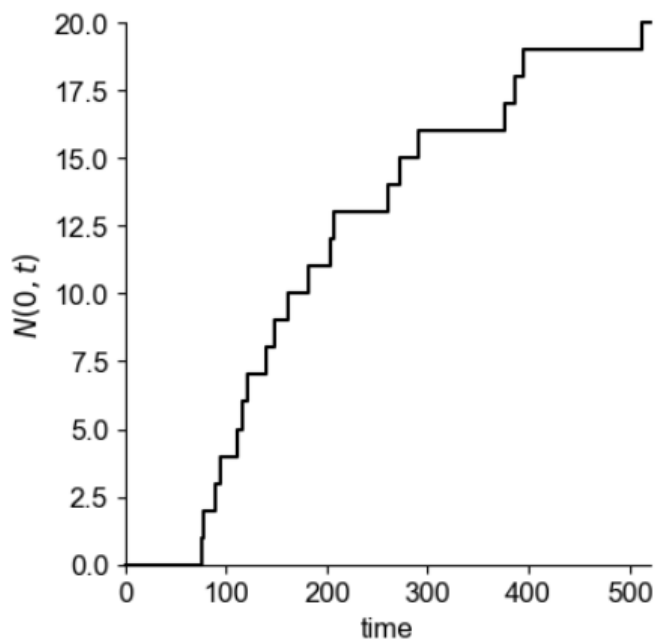
Рисунок: Процесс счета $N(t)$ для ALRS с момента 100000000 в минутах

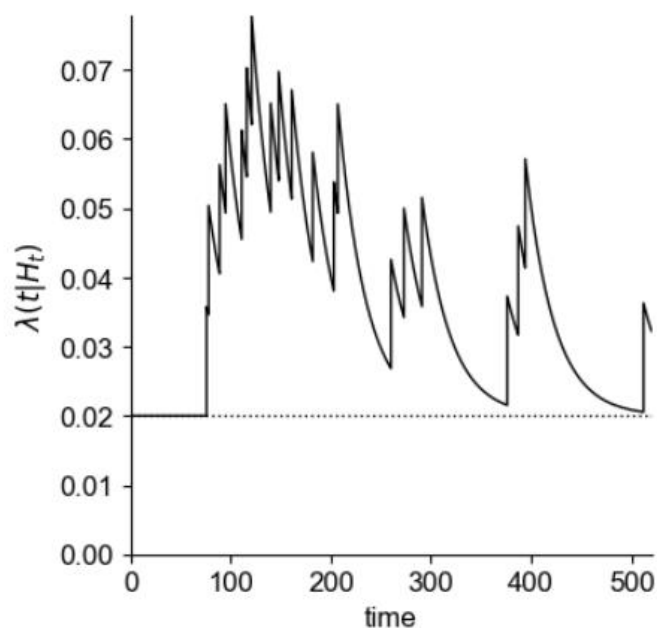


Используя метод оптимизации, заложенный в пакете `hawkes`, найдем значения для моделирования процесса интенсивности.

Рисунок: Одномерная модель Хоукса для ALRS

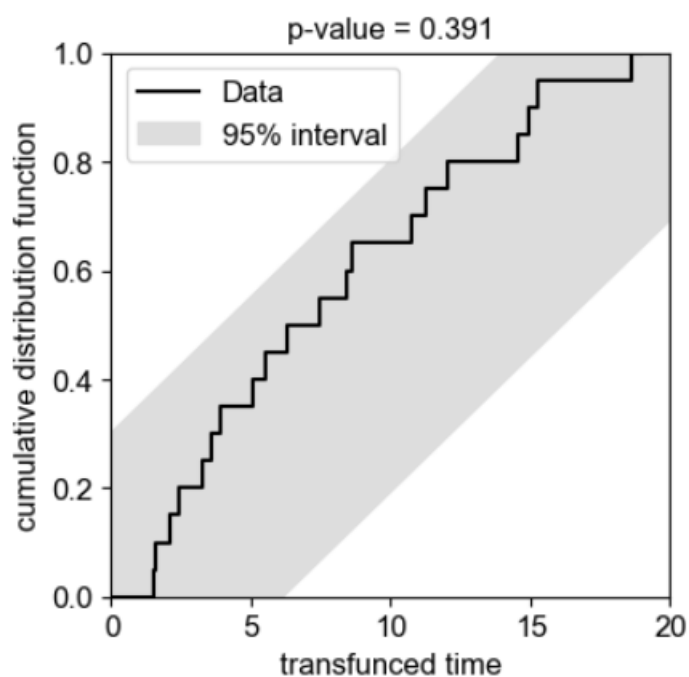
```
parameter: {'mu': 0.02208579942120507, 'alpha': array([0.18978173, 0.25325416]), 'beta': array([0.03552478, 0.03552364])}
branching ratio: 0.44303588876809463
log-likelihood: -84.16055726956827
AIC: 174.32111453913654
```





Проверим качество одномерной модели Хоукса с помощью теста Колмогорова-Смирнова.

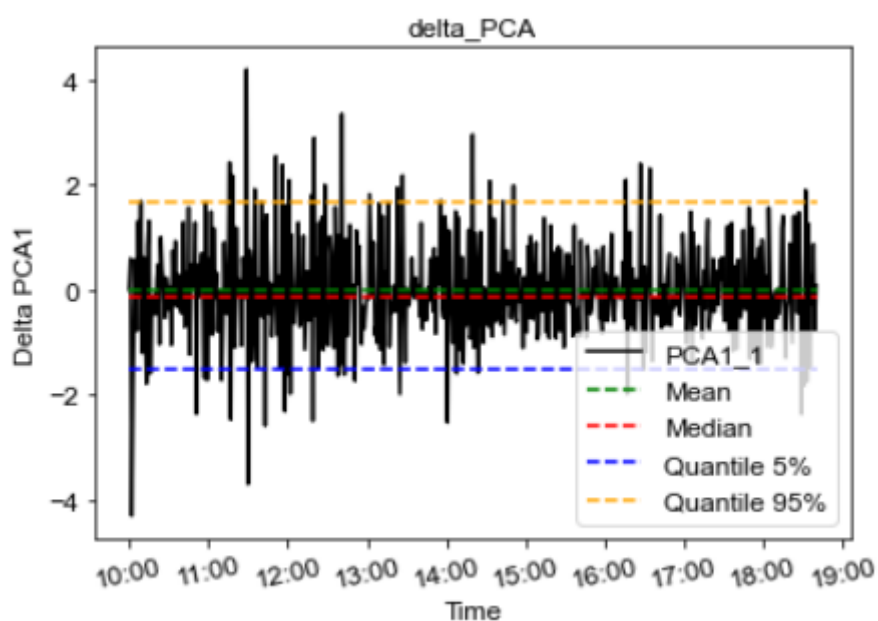
Рисунок: Тест Колмогорова-Смирнова для ALRS



Данные модели для ALRS визуализируют процесс счета и интенсивности для одномерного процесса Хоукса. Коэффициент ветвления – branching ratio ($n = 44\%$) указывает, что 44% событий в рамках модели возникают в результате других шоков. Параметр альфа указывает на то, на сколько увеличивается

интенсивность, если возникает 1 событие илликвидности. Учитывая, что мы моделирует одномерную функцию Хоукса с 2 экспоненциальными ядрами (exponential kernel function), то имеет 2 параметра альфа и бета. Таким образом, интенсивность увеличивается на 18% и 25%. Базовая интенсивность процесса составляет 2,2%.

Рисунок: Дельта первой главной компоненты для SBER по состоянию на 20150303

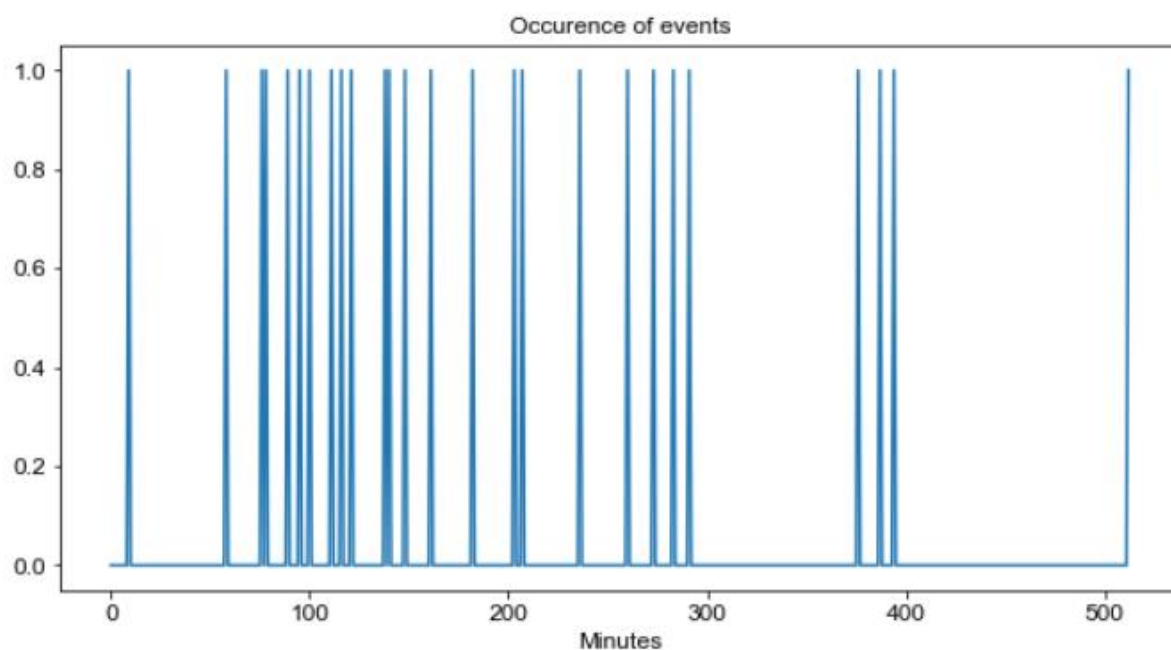


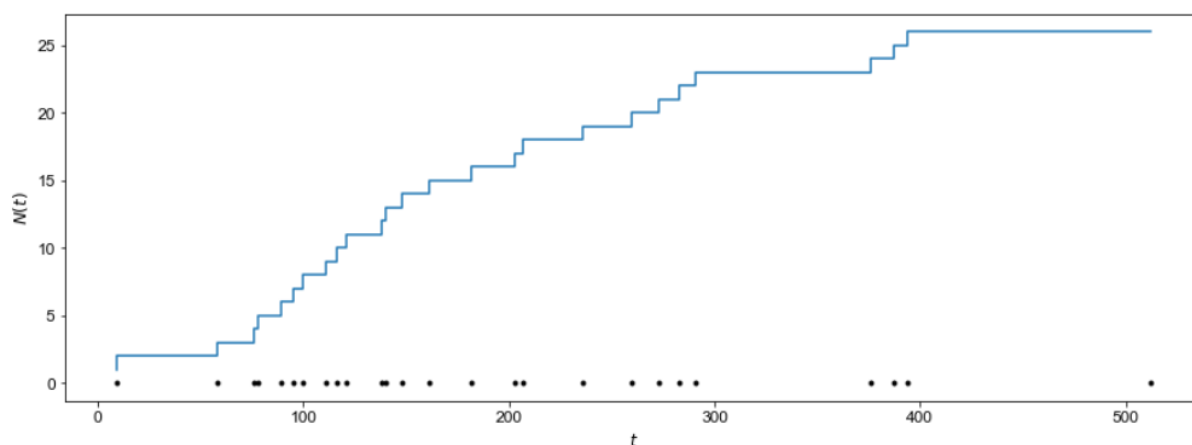
Определим события, как момент времени, когда дельта первой главной компоненты больше значения тета, равного 1.67.

Таблица: Моменты событий для SBER

	TIME	principal component 1
0	2015-03-02 10:09:00	1.694372
1	2015-03-02 10:58:00	1.670530
2	2015-03-02 11:16:00	2.429713
3	2015-03-02 11:18:00	2.176370
4	2015-03-02 11:29:00	4.202299
5	2015-03-02 11:35:00	1.918973
6	2015-03-02 11:40:00	1.686356
7	2015-03-02 11:51:00	2.544454
8	2015-03-02 11:56:00	2.378980
9	2015-03-02 12:01:00	2.092834
10	2015-03-02 12:18:00	1.805152
11	2015-03-02 12:20:00	2.892264
12	2015-03-02 12:28:00	1.999906
13	2015-03-02 12:41:00	3.354152
14	2015-03-02 13:02:00	1.821806
15	2015-03-02 13:23:00	1.945519
16	2015-03-02 13:27:00	2.179155
17	2015-03-02 13:56:00	1.705184
18	2015-03-02 14:20:00	2.959867
19	2015-03-02 14:33:00	2.073933
20	2015-03-02 14:43:00	1.692400
21	2015-03-02 14:51:00	1.989312
22	2015-03-02 16:16:00	2.099474
23	2015-03-02 16:27:00	2.406907
24	2015-03-02 16:34:00	2.312772
25	2015-03-02 18:32:00	1.897947

Рисунок: Визуализация моментов возникновения событий для SBER





Оценим параметры для интенсивности:

```
parameter: {'mu': 0.030341518154454124,
'alpha': array([0.27576264, 0.1305654 ]),
'beta': array([0.03018319, 0.03018324])}
branching ratio: 0.40632804553071344
log-likelihood: -102.89928319055208
AIC: 211.79856638110417
```

Данные модели для SBER визуализируют процесс счета и интенсивности для одномерного процесса Хоукса. Коэффициент ветвления – branching ratio ($n = 41\%$) указывает, что 41% событий в рамках модели возникают в результате других шоков.

Рисунок: Одномерная модель Хоукса для SBER

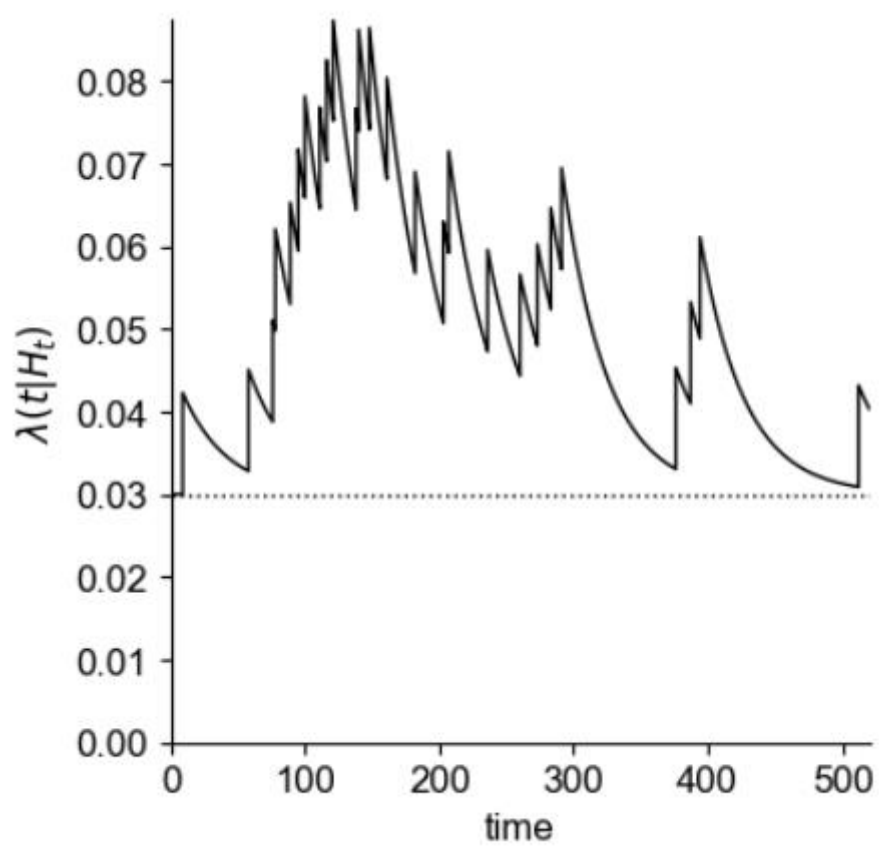
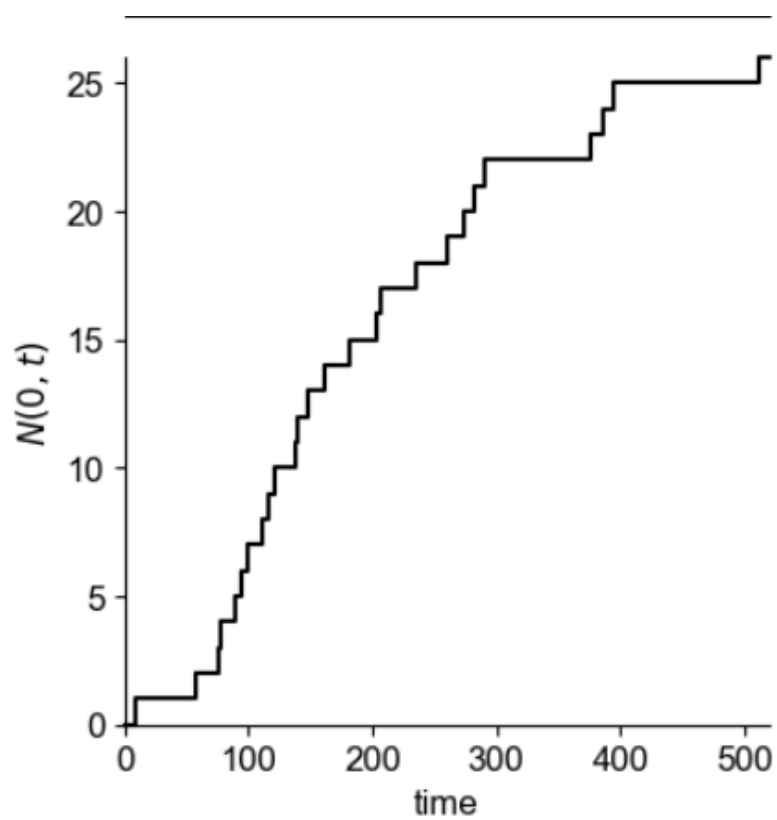


Рисунок: Тест Колмогорова-Смирнова для SBER

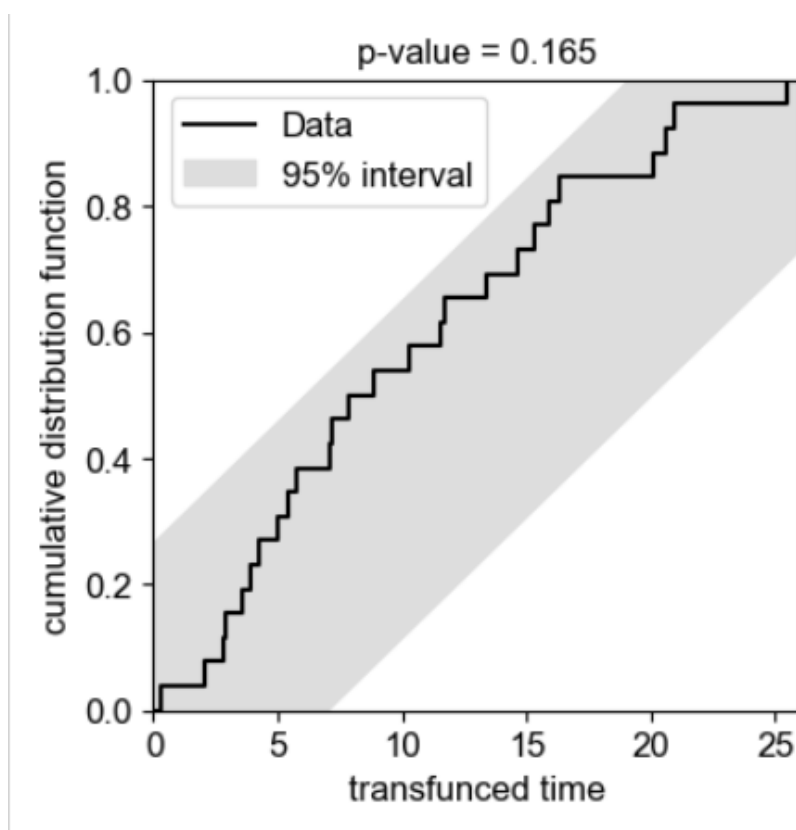
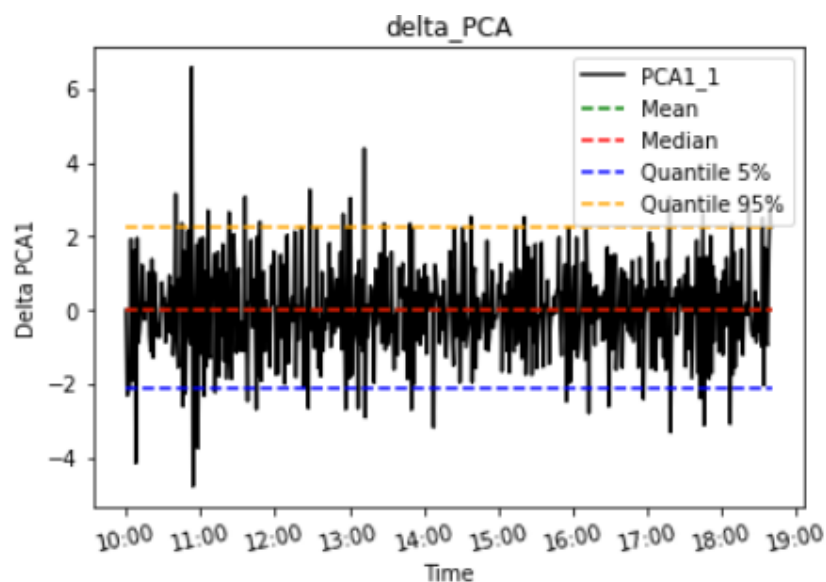


Рисунок: Дельта первой главной компоненты для MGNT по состоянию на 20150303



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СОБЫТИЙ ИЛИКВИДНОСТИ

Для анализа стационарности, построим график временного ряда для ALRS. Графики, построенные для разных бумаг, не указывают на наличие тренда или сезонности. Однако, стоит проверить временной ряд на стационарность с помощью теста Дикки-Фуллера.

График: График временного ряда для первой главной компоненты для ALRS с 100000000 до 184000000

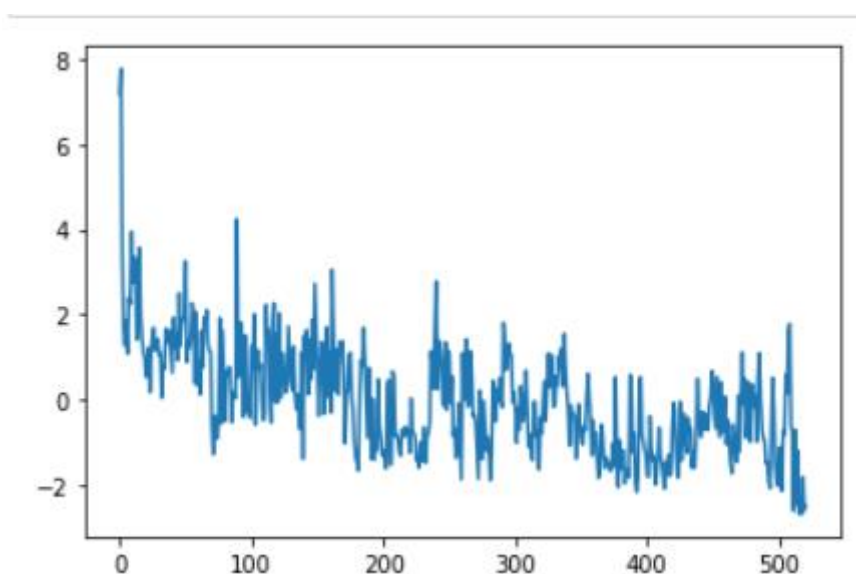


Рисунок: Тест Дики-Фуллера для проверки стационарности ряда для ALRS

```
adf: -3.243864753116414
p-value: 0.01758193534927659
Critical values: {'1%': -3.4432372923913124, '5%': -2.86722383510113, '10%': -2.5697972702806613}
единичных корней нет, ряд стационарен
```

График: График временного ряда для первой главной компоненты для SBER с 100000000 до 184000000

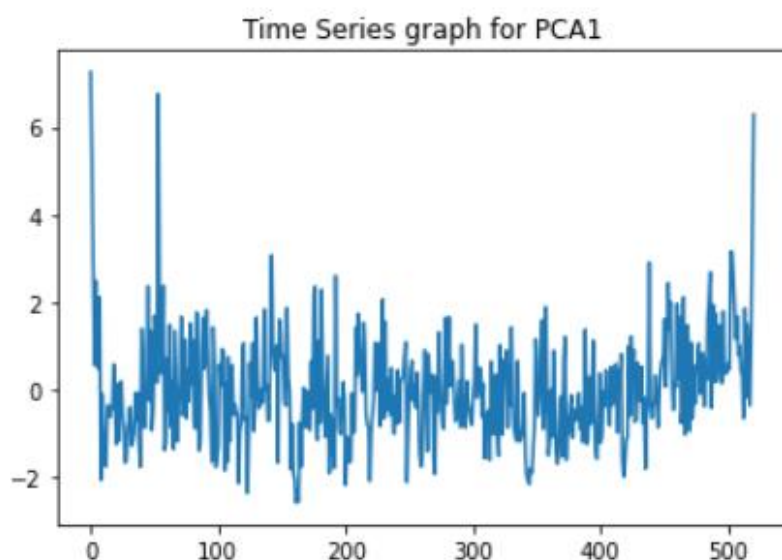
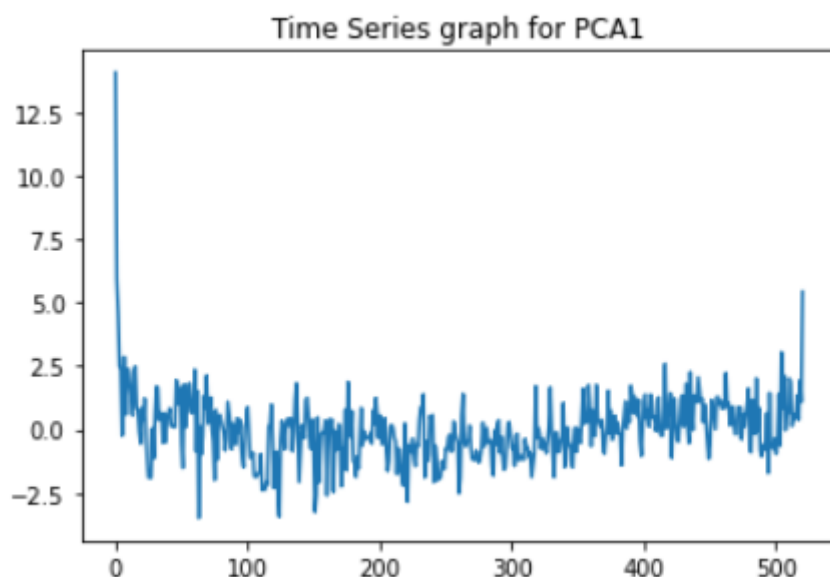


Рисунок: Тест Дики-Фуллера для проверки стационарности ряда для SBER

```
adf: -5.824093192793797
p-value: 4.1178777966493855e-07
Critical values: {'1%': -3.4431115411022146, '5%': -2.8671684899522023, '10%': -2.569767754736543}
единичных корней нет, ряд стационарен
```

График: График временного ряда для первой главной компоненты для MGNT с 100000000 до 184000000



```
adf: -4.070941108803454
p-value: 0.0010813656826493252
Critical values: {'1%': -3.4432119442564324, '5%': -2.8672126791646955, '10%': -2.569791324979607}
единичных корней нет, ряд стационарен
```

Ввиду того, что события шоков илликвидности зависимы, что выражается в кластеризации наблюдаемых шоков, наличие данного эффекта кластеризации можно проверить с помощью различных тестов, которые будут рассмотрены ниже. Наличие данной кластеризации можно проверить с помощью построения автокорреляции процесса, порождающего данные события. Помимо этого, кластеризацию можно измерять вероятностью наступления последовательных шоков, распределением и автокорреляцией времени между событиями или числа событий в последовательных интервалах времени, как это было сделано в статье Fonseca (2013).

I. АНАЛИЗ СОБЫТИЙ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ (SELF-EXCITATION)

Одним из способов проанализировать события переливов ликвидности по одной бумаге является построение автокорреляционной функции. Автокорреляционная функция представляет собой степень сходства между заданным временным рядом и сдвинутой копией самого себя в последовательных временных интервалах. Точки, которые лежат за пределами доверительного интервала указывают на сильную статистическую значимость. Графики автокорреляционной функции для 3 бумаг указывают на сильную связь между текущим и предыдущими значениями временного ряда. Это говорит о том, что высока вероятность увидеть близкие по времени или последовательные шоки илликвидности. При этом данный эффект затухает во времени.

График: Автокорреляционная и частная автокорреляционная функция для ALRS

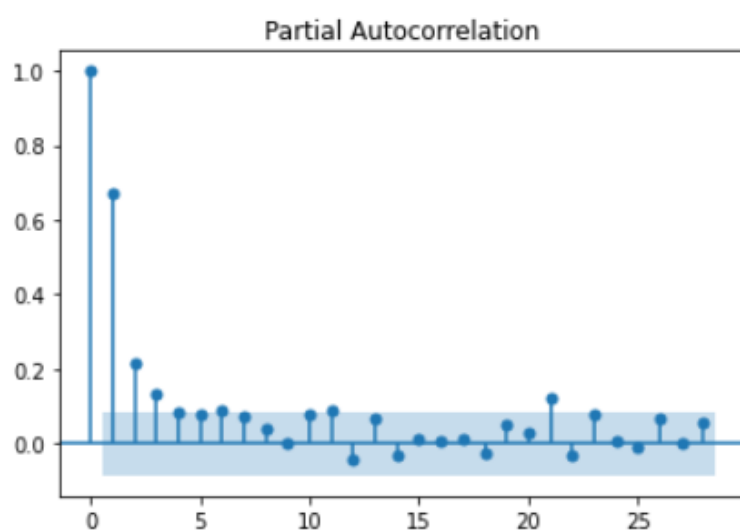
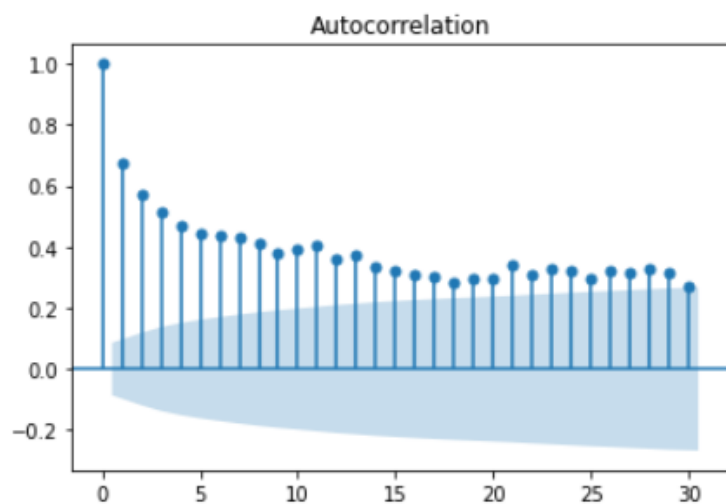
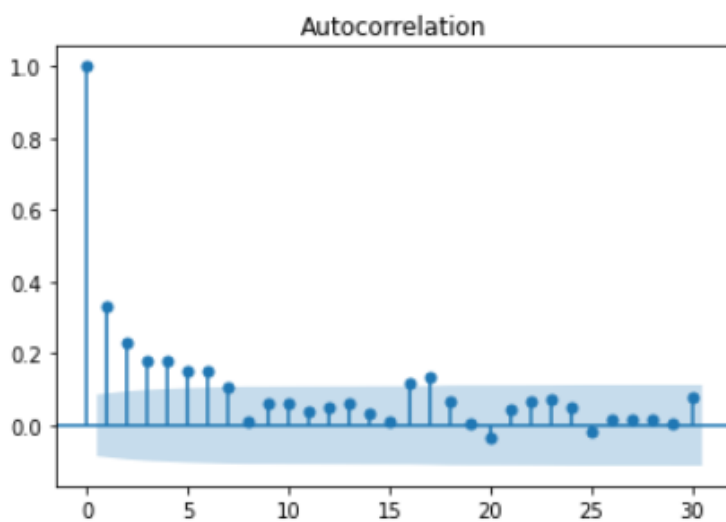


График: Автокорреляционная и частная автокорреляционная функция для SBER



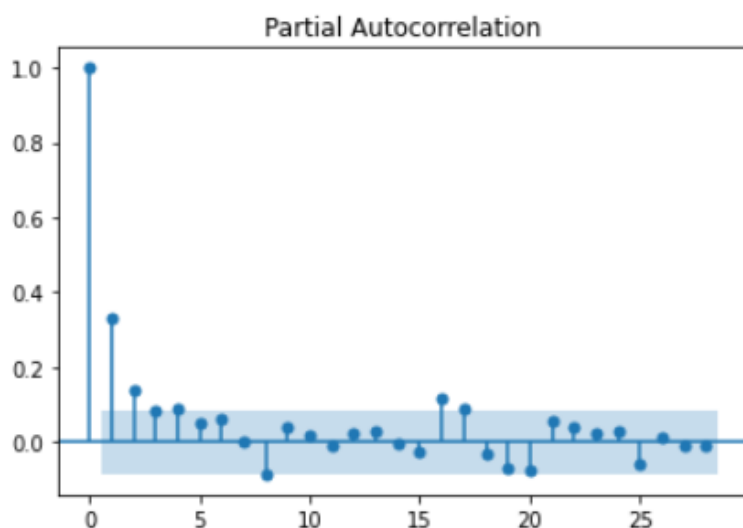
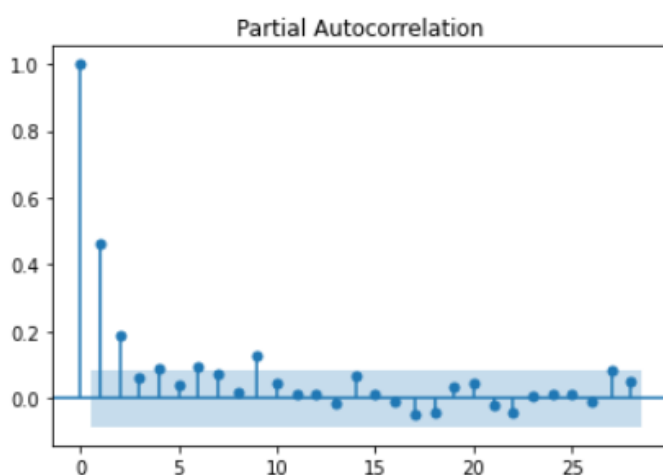
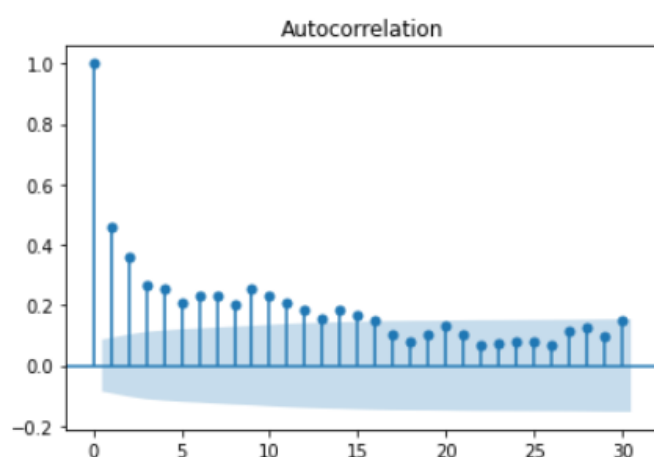


График: : Автокорреляционная и частная автокорреляционная функция для MGNT



Проведем второй тест на анализ процессов самовозбуждения (self-excitement) – тест Кристофферсена на независимость. (Christoffersen's 1998 Exceedence Independence Test).⁴⁶ Для выполнения данного теста мы идентифицировали события (отобрали значения дельта PCA1 выше порогового значения) и расставили 1, если событие произошло и 0, если событие не произошло. Далее мы разделили события на 4 колонки, где:

a_{00} = количество периодов без событий, за которыми следует период без событий.

a_{10} = количество периодов с событием, за которыми следует период без события.

n_{01} = количество периодов без события, за которыми следует период с событием.

n_{11} = количество периодов с событием, за которыми следует период с событием.

Далее оценим три вероятности:

- вероятность возникновения события в период t при условии, что в период $t-1$ события не происходило $= a_{01} / (a_{00} + a_{01})$
- вероятность возникновения события в период t при условии, что в период $t-1$ событие происходило $= a_{11} / (a_{10} + a_{11})$
- вероятность появления события в период $t = (a_{01} + a_{11} / (a_{00} + a_{01} + a_{10} + a_{11}))$

Тест на независимость проверяет, сгруппированы ли события вместе, сравнивая вероятность наступления двух последовательных событий с вероятностью наступления события после его отсутствия. В предположении независимости две вероятности будут иметь одинаковое значение, но, если

⁴⁶ <https://www.value-at-risk.net/backtesting-independence-tests/>

события имеют тенденцию группироваться (образовывать кластеры), вероятность двух последовательных событий будет выше.⁴⁷

Выполнение кода для теста Кристофферсена для ALRS приводит к следующим значениям q : $q_0=96\%$, $q_1=100\%$, $q=96\%$. Рассчитываем LR статистику (имеет распределение Хи-квадрат) и получим. Данный результат является нетипичным, так как тест принимает гипотезу о том, что нельзя увидеть шок после шока.

Тест Кристофферсена для ALRS

```
LR= 1.3243170459708027e+25
-2logLR= -115.69104842880569
Принимаем H0 гипотезу на 5% уровне значимости
```

Выполнение кода для теста Кристофферсена для SBER приводит к следующим значениям q : $q_0=90\%$, $q_1=98\%$, $q=91\%$.

Тест Кристофферсена для SBER

```
LR= 1.631393454526502e+47
-2logLR= -217.42186780082915
Принимаем H0 гипотезу на 5% уровне значимости
```

Третий тест для анализа переливов ликвидности внутри торгового дня для одной бумаги - тест Андерсона-Дарлинга. Если шоки независимы и имеют одинаковую интенсивность, то время между событиями распределено экспоненциально. Данный тест позволяет проверить, насколько хорошо данные соответствуют заданному распределению. Если статистика больше критического значения, то гипотеза отвергается и распределение времени не экспоненциальное, а значит шоки зависимы. Для выполнения теста получим исходные данные как время между двумя последовательными событиями в секундах.

⁴⁷ <https://ch.mathworks.com/help/risk/overview-of-var-backtesting.html>

Таблица: Время между 2 последовательными событиями для ALRS в секундах

1	120.0
2	660.0
3	360.0
4	960.0
5	300.0
6	300.0
7	1140.0
8	480.0
9	780.0
10	1260.0
11	1260.0
12	240.0
13	3180.0
14	780.0
15	1080.0
16	5100.0
17	660.0
18	420.0
19	7080.0

Name: TIME, dtype: float64>

Тест Андерсона-Дарлинга не позволяет рассчитать критическое значение, что означает автоматическое отвержение гипотезы о том, что время между двумя событиями распределено не экспоненциально, а значит шоки зависимы.

Таблица: Тест Андерсона-Дарлинга для SBER

```

1      2940.0
2      1080.0
3       120.0
4       660.0
5       360.0
6       300.0
7       660.0
8       300.0
9       300.0
10     1020.0
11      120.0
12      480.0
13      780.0
14     1260.0
15     1260.0
16      240.0
17     1740.0
18     1440.0
19      780.0
20      600.0
21      480.0
22     5100.0
23      660.0
24      420.0
25     7080.0
Name: TIME, dtype: float64

```

```
AndersonResult(statistic=nan, critical_values=array([0.516, 0.587, 0.705, 0.822,
0.978]), significance_level=array([15. , 10. , 5. , 2.5, 1. ]))
```

II. АНАЛИЗ ПЕРЕКРЕСТНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ (CROSS-EXCITEMENT)

Для анализа перекрестного возбуждения (cross-excitement) будем использовать не только текущие значения переменных, но и их лаги, которые обозначаются следующим образом – Название Переменной_X, где X – номер лага.

Для анализа взаимной зависимости двух временных рядов PCA1 построим графики кросс-корреляции. Лаги функции кросс-корреляции показывают продолжительность, на которую один временной ряд опережает или отстает от другого, др. словами сколько времени требуется, чтобы эффект распространялся от одного ряда к другому. Если значения кросс-корреляции близки к 1, это означает, что два временных ряда похожи между собой.

Если мы имеем два временных ряда – X и Y , то функция кросс-корреляции оценила бы корреляцию между X и Y на разных положительных и отрицательных лагах. Существенная корреляция при отрицательных лагах будет указывать на то, что движение первой переменной X происходит во времени до того, как произойдет соответствующее движение по Y . Таким образом, значительная взаимная корреляция при отрицательных лагах указывают на то, что первая переменная опережает вторую переменную. Напротив, значительная взаимная корреляция при положительных лагах указывает на то, что изменения X следуют за изменениями Y . Применим данную функцию к нашим данным.

Графики показывают положительную корреляцию между временными рядами для SBER и MGNT. Наибольшая корреляция происходит на лаге 0 и достигает 30%. Это говорит о том, что два временных ряда коррелируют одновременно. Данный эффект можно также заметить для ALRS/MGNT, корреляция которых на лаге 0 достигает максимума (более 15%). Таким образом, можно сказать, что шоки ликвидности в данных бумагах происходят одновременно. Значительная корреляция для SBER и ALRS происходит на положительных лагах. Это говорит о том, что шоки для SBER следуют за изменениями в ALRS.

График: Кросс-корреляция рядов первых главных компонент SBER/ALRS

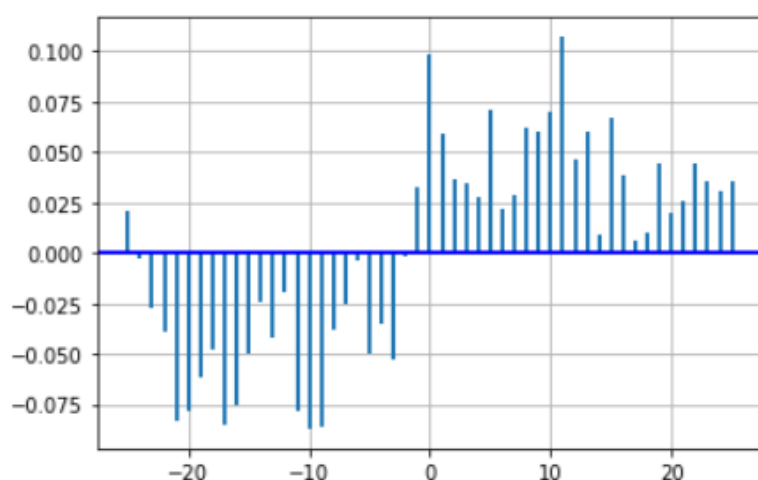


График: Кросс-корреляция рядов первых главных компонент SBER/MGNT

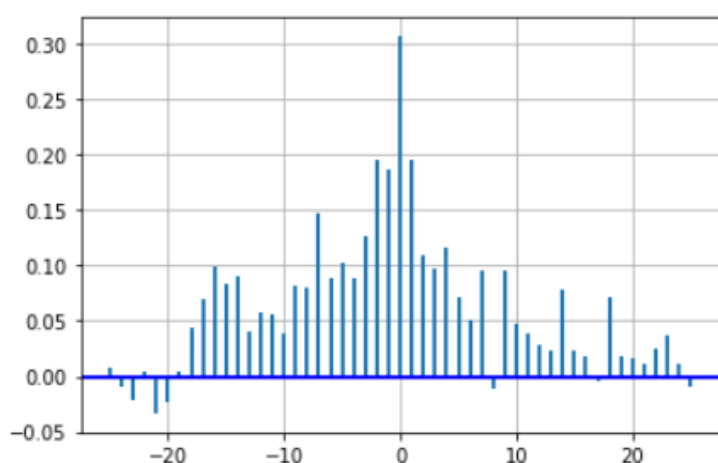
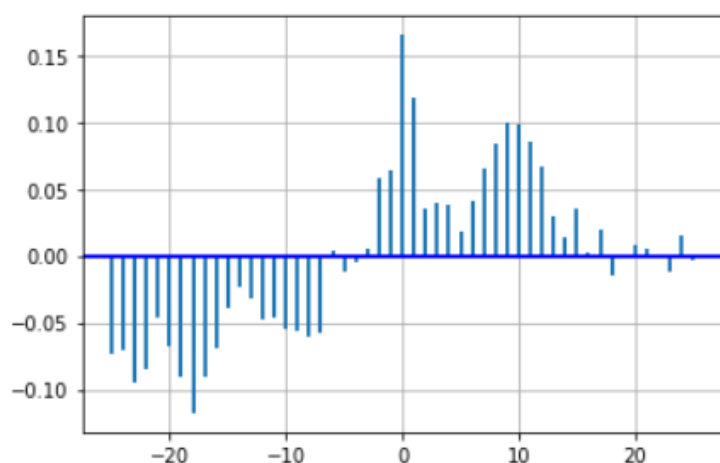


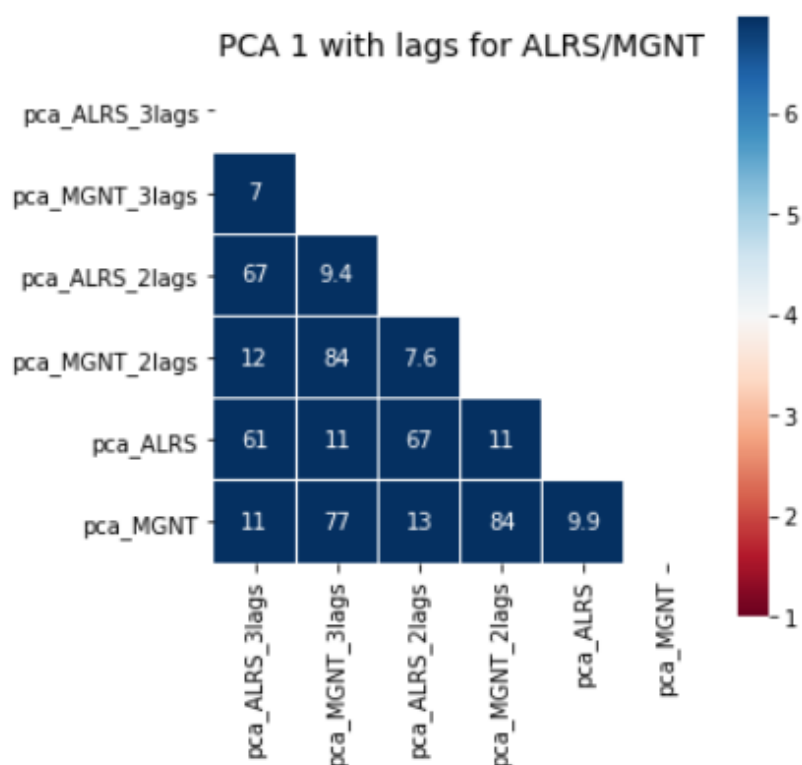
График: Кросс-корреляция рядов первых главных компонент ALRS/MGNT

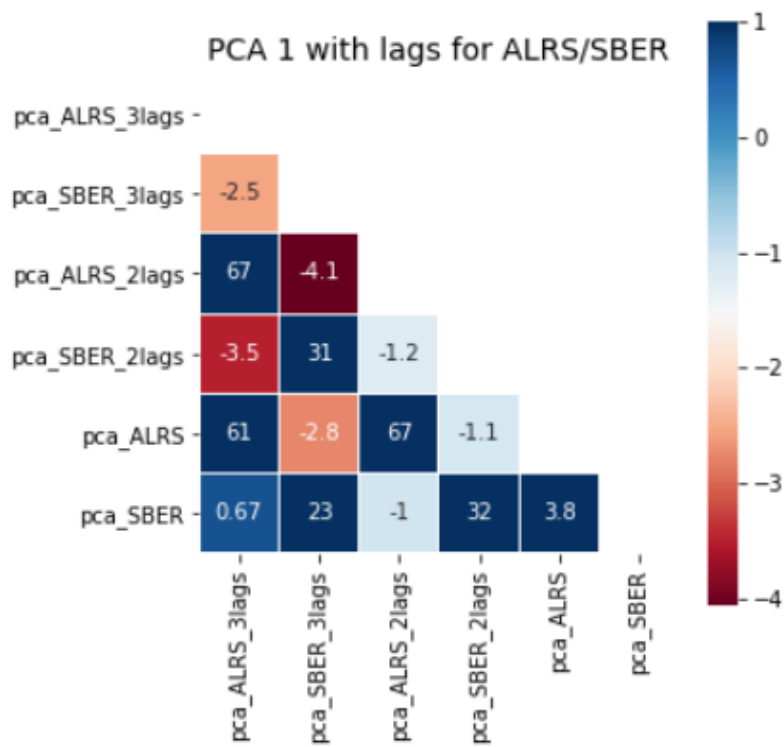
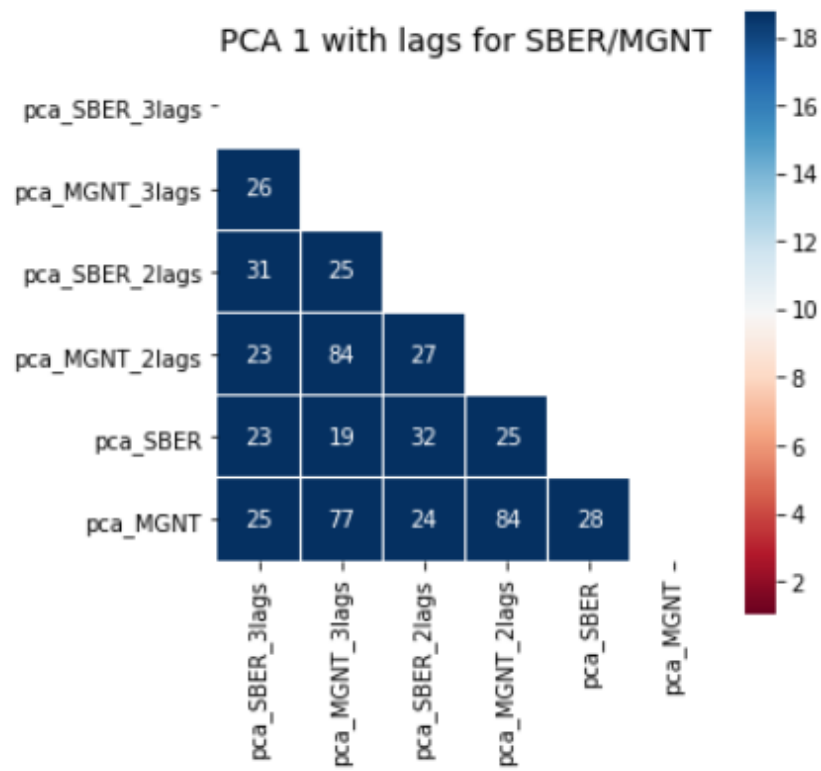


Следующие графики визуализируют корреляции рядов PCA1 для двух бумаг с разными лагами. Например, если корреляция PCA1 одной бумаги и лагов PCA1 другой бумаги высока, то высока вероятность получить шок первой бумаги после шока во второй.

Как показывают графики корреляций ниже, текущее значение SBER и ALRS мало коррелированы. Их корреляция составляет 3,8%. Наибольшие корреляции достигаются между текущим значением ALRS/SBER и предыдущими значениями, что говорит о том, что шоки ликвидности в прошлом влияют на появление шоков ликвидности сейчас. Акции ALRS и MGNT мало коррелированы: корреляция между текущим значением Магнита

и значением ALRS 2 минуты назад составляет 13%. Текущие значения Магнита и Сбербанка положительно коррелируют: их корреляция составляет 28%, что может говорить о том, что шоки ликвидности в одной бумаге ведут к появлению шоков в другой.





МОДЕЛЬ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЛАГАМИ

На финальном этапе анализа построим модель с распределенными лагами для каждой пары акций. Построим модель с 5-ью лагами и включим в нее зависимую переменную с лагами и экзогенные переменные с лагами другой бумаги. Далее посмотрим на значимость объясняющих переменных при лаговых переменных и определим количество лагов в конечной модели. Значимость коэффициентов и критерий Шварца указывают, что оптимальное количество лагов для SBER/MAGN, SBER/ALRS - ADL(2,2), ALRS/MAGN(3,3).

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(5,5) для SBER/MAGN

```
t test of coefficients:

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -0.0151680  0.0425779  -0.3562  0.721809
L(mgnt_ts)    0.3351333  0.0454636   7.3715  6.95e-13 ***
L(mgnt_ts, 2) 0.1462861  0.0476536   3.0698  0.002257 **
L(mgnt_ts, 3) 0.0375738  0.0481996   0.7795  0.436023
L(mgnt_ts, 4) 0.0929321  0.0474113   1.9601  0.050530 .
L(mgnt_ts, 5) 0.0280138  0.0404016   0.6934  0.488388
L(sber_ts)    0.0328293  0.0403166   0.8143  0.415863
L(sber_ts, 2) 0.1120030  0.0413162   2.7109  0.006939 **
L(sber_ts, 3) -0.0045905  0.0417080  -0.1101  0.912404
L(sber_ts, 4) -0.0521172  0.0414068  -1.2587  0.208734
L(sber_ts, 5) 0.0192905  0.0400615   0.4815  0.630354
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(5,5) для SBER/MAGN
(значения p-value, R², BIC)

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
p	2.0000	4.0000	6.0000	8.0000	10.0000
BIC	0.0250	-0.0016	0.0151	0.0256	0.0495
R2	0.2805	0.2817	0.2653	0.2697	0.2647

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(2,2) для SBER/MAGN

```

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -0.020049   0.042514  -0.4716   0.63743
L(mgnt_ts)     0.362276   0.043888   8.2546 1.293e-15 ***
L(mgnt_ts, 2)  0.171992   0.039474   4.3571 1.592e-05 ***
L(sber_ts)     0.029874   0.039396   0.7583   0.44863
L(sber_ts, 2)  0.097234   0.039029   2.4913   0.01304 *
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Результаты модели ADL(2,2) для SBER/MGNT показывают высокую значимость коэффициентов при переменных mgnt_ts (1 лаг), mgnt_ts (2 лага), sber_ts (2 лага) на 1% и 5 % уровнях значимости. Это говорит о высокой чувствительности текущих значений MGNT к предыдущим по MGNT и SBER 2 лага назад.

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(5,5) для SBER/ALRS

```

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -0.0121727  0.0479221  -0.2540   0.79959
L(sber_ts)    0.2343721  0.0453158   5.1720 3.346e-07 ***
L(sber_ts, 2) 0.1151150  0.0465800   2.4713   0.01379 *
L(sber_ts, 3) 0.0756749  0.0466267   1.6230   0.10521
L(sber_ts, 4) 0.0679297  0.0462883   1.4675   0.14285
L(sber_ts, 5) 0.0623631  0.0442060   1.4107   0.15894
L(alrs_ts)    0.0043792  0.0566031   0.0774   0.93836
L(alrs_ts, 2) 0.0321901  0.0607571   0.5298   0.59647
L(alrs_ts, 3) -0.0985282  0.0615811  -1.6000   0.11023
L(alrs_ts, 4) -0.0093796  0.0599289  -0.1565   0.87569
L(alrs_ts, 5) -0.0126447  0.0543111  -0.2328   0.81600
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(5,5) для SBER/ALRS (значения p-value, R², BIC)

```

      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
p    2.0000 4.0000 6.0000 8.0000 10.0000
BIC  0.2446 0.2316 0.2425 0.2571  0.2751
R2   0.1232 0.1275 0.1315 0.1412  0.1404

```

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(2,2) для SBER/ALRS

```

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -0.013156   0.048079  -0.2736 0.7844816
L(sber_ts)    0.269013   0.044145   6.0938 2.164e-09 ***
L(sber_ts, 2) 0.166243   0.043350   3.8349 0.0001412 ***
L(alrs_ts)    -0.022201   0.052798  -0.4205 0.6743016
L(alrs_ts, 2) -0.020483   0.051721  -0.3960 0.6922435
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```


Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(5,5) для ALRS/MGNT

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-0.024426	0.037344	-0.6541	0.51335	
L(alrs_ts)	0.394578	0.044216	8.9240	< 2.2e-16	***
L(alrs_ts, 2)	0.205069	0.047416	4.3249	1.84e-05	***
L(alrs_ts, 3)	0.119380	0.048140	2.4799	0.01347	*
L(alrs_ts, 4)	0.050558	0.046720	1.0822	0.27970	
L(alrs_ts, 5)	0.068078	0.042602	1.5980	0.11067	
L(mgnt_ts)	-0.048685	0.039605	-1.2293	0.21954	
L(mgnt_ts, 2)	-0.037727	0.041708	-0.9045	0.36614	
L(mgnt_ts, 3)	0.050713	0.042098	1.2046	0.22890	
L(mgnt_ts, 4)	0.036902	0.041621	0.8866	0.37571	
L(mgnt_ts, 5)	-0.046901	0.035382	-1.3256	0.18558	

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(5,5) для ALRS/MGNT
(значения p-value, R², BIC)

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
p	2.0000	4.0000	6.0000	8.0000	10.0000
BIC	-0.1507	-0.2405	-0.2424	-0.2376	-0.2258
R2	0.4827	0.5031	0.5091	0.5176	0.5235

Таблица: Модель с распределенными лагами ADL(2,2) для ALRS/MGNT

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-0.0303654	0.0376368	-0.8068	0.420157	
L(alrs_ts)	0.4299121	0.0436682	9.8450	< 2.2e-16	***
L(alrs_ts, 2)	0.2054555	0.0459823	4.4681	9.723e-06	***
L(alrs_ts, 3)	0.1460592	0.0423476	3.4491	0.000609	***
L(mgnt_ts)	-0.0547660	0.0396024	-1.3829	0.167301	
L(mgnt_ts, 2)	-0.0356274	0.0414035	-0.8605	0.389921	
L(mgnt_ts, 3)	0.0043884	0.0354311	0.1239	0.901477	

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе для анализа эффектов переливов ликвидности был выбран один торговый день (20150303). Ввиду того, что эффекты перелива не только могут переходить из одного актива в другой, но и также могут быть вызваны шоками данного актива, применялись различные методы статистического анализа для их моделирования. Кроме того, был использован одномерный процесс Хоукса для анализа «самовоспламеняющихся» событий в одном

активе. Построение автокорреляционной функции, модели с распределенными лагами и выполнение теста Андерсона-Дарлинга указывают на наличие сильной взаимосвязи между текущими и предыдущими значениями индекса ликвидности. Таким образом, шоки ликвидности кластеризуются во времени, а значит возникновение одного шока ведет к возникновению другого для ALRS, MGNT, SBER. Анализ функции кросс-корреляции показал, что шоки для SBER следуют за изменениями в ALRS. При этом шоки для ALRS/MGNT и SBER/MGNT происходят одновременно. При этом модель с распределенными лагами указывает на то, что текущие значения MGNT зависят не только от предыдущих, но и от шоков в бумаге SBER 2 минуты назад.

- Поставленные в начале работы задачи исследования были выполнены, а именно:
- Рассмотрено понятие, свойства и основные показатели ликвидности;
- Определить факторы, влияющие на ликвидность;
- Рассмотреть основные методы анализа переливов ликвидности в литературе;
- Ознакомиться с правилами торгов на ММВБ в секции фондового рынка;
- Построить временные ряды на 1-минутных интервалах для получения обобщенного показателя ликвидности;
- Построить модели для анализа эффектов переливов между 3 финансовыми инструментами
- Проанализировать построенные модели;

Дальнейшее улучшение данного исследования состоит в анализе взаимосвязей между большим количеством бумаг на разных временных интервалах – 5, 10, 15 мин. Помимо этого, исследование можно расширить и рассмотреть более значительный период времени – 1 год. Кроме того, анализ зависимостей между двумя бумагами можно провести, используя многомерную модель Хоукса. Поиск коэффициентов для реализации многомерного случая модели Хоукса

довольно сложная задача, поэтому данная модель осталась за рамками данного исследования. Кросс-рыночные взаимосвязи могут быть проанализированы с помощью многомерной-GARCH модели, что также является потенциальным продолжением для данного исследования.

Список использованной литературы

1. Balduzzi P., Elton E. J., Green T. C. Economic news and bond prices: Evidence from the US Treasury market //Journal of financial and Quantitative analysis. – 2001. – С. 523-543. – Режим доступа: <https://www.jstor.org/stable/pdf/2676223.pdf?refreqid=excelsior%3Aa75d5454ea5508b54841b800f2c16c1b>
2. Chordia T., Sarkar A., Subrahmanyam A. An empirical analysis of stock and bond market liquidity //The Review of Financial Studies. – 2005. – Т. 18. – №. 1. – С. 85-129. – Режим доступа: https://www.newyorkfed.org/medialibrary/media/research/staff_reports/sr164.pdf
3. Danyliv O., Bland B., Nicholass D. Convenient liquidity measure for financial markets //Available at SSRN 2385914. – 2014. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1412.5072.pdf>
4. Gabrielsen A., Marzo M., Zagaglia P. Measuring market liquidity: An introductory survey. – 2011. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/51968566_Measuring_Market_Liquidity_An_Introductory_Survey
5. Goyenko R. Y., Ukhov A. D. Stock and bond market liquidity: A long-run empirical analysis //Journal of Financial and Quantitative Analysis. – 2009. – С. 189-212. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/0f00/0b1885ac951cc20caf154a2c2dad8deb641d.pdf>
6. Hewlett P. Clustering of order arrivals, price impact and trade path optimisation //Workshop on Financial Modeling with Jump processes, Ecole Polytechnique. – 2006. – С. 6-8. – Режим доступа: <http://users.iems.northwestern.edu/~armbruster/2007msande444/Hewlett2006%20price%20impact.pdf>
7. Olbrys J., Mursztyn M. Depth, tightness and resiliency as market liquidity dimensions: evidence from the Polish stock market //International Journal of Computational Economics and Econometrics. – 2019. – Т. 9. – №. 4. – С. 308-326. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/333204993_Depth_tightness_and_resiliency_as_market_liquidity_dimensions_Evidence_from_the_Polish_stock_market
8. Tayeh M. et al. Determinants of market liquidity: Evidence from the Jordanian stock market //International Journal of Economics and Finance. – 2016. – Т.

8. – №. 10. – С. 48-59. – Режим доступа:
https://www.researchgate.net/publication/308632145_Determinants_of_Market_Liquidity_Evidence_from_the_Jordanian_Stock_Market
9. Toke I. M., Pomponio F. Modelling trades-through in a limit order book using Hawkes processes //Economics. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – Режим доступа:
https://www.researchgate.net/publication/228318347_Modelling_Trades-Through_in_a_Limit_Order_Book_Using_Hawkes_Processes
10. Yilmaz K. Return and volatility spillovers among the East Asian equity markets //Journal of Asian Economics. – 2010. – Т. 21. – №. 3. – С. 304-313. – Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/6504336.pdf>
11. Zhang C. Modeling high frequency data using hawkes processes with power-law kernels //Procedia Computer Science. – 2016. – Т. 80. – С. 762-771. – Режим доступа:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916308419/pdf?md5=c7d9a651534e66d49e70f3ab58e6e7e8&pid=1-s2.0-S1877050916308419-main.pdf>
12. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989.— 607 с. – Режим доступа:
https://www.studmed.ru/ayvazyan-sa-prikladnaya-statistika-klassifikaciya-i-snizhenie-razmernosti_e7c7c79f5b5.html
13. Мардас А. Н. Эконометрика. – 2019. – Режим доступа:
<https://elibrary.ru/item.asp?id=41253143>
14. Московская Биржа. – Режим доступа: <https://www.moex.com/s1709>
15. Науменко В. В. Моделирование риска рыночной ликвидности с учетом глубины рынка. – 2007. – Режим доступа:
https://www.hse.ru/data/2010/05/07/1217275552/WP16_2007_04.pdf
16. Проблемно-Ориентированная Информационно-Вычислительная Система – Режим доступа:
<http://poivs.tsput.ru/ru/Math/ProbabilityAndStatistics/MathStatistics/TimeSeriesAnalysis/DickeyFullerTest>
17. Селищев А. С., Маховикова Г. А. Рынок ценных бумаг. – 2015. – Режим доступа: https://studme.org/349006/investirovanie/rynok_tsennyh_bumag