

Оценка риска ликвидности портфеля ценных бумаг

Чесноков Александр Михайлович,
M05-5116

Ишханян Даниэль Артурович
M05-5116

18 ноября 2025 г.

1 Вступление

Актуальность темы оценки риска ликвидности портфеля ценных бумаг обусловлена возрастающей волатильностью финансовых рынков и необходимостью совершенствования методов риск-менеджмента. Особую значимость эта проблема приобретает в контексте российского рынка, где наблюдается недостаточный уровень финансовой грамотности частных инвесторов. Отсутствие понимания взаимосвязи между ликвидностью и рискованностью инвестиций является системной проблемой, требующей как образовательных, так и методических решений.

Особую остроту эта проблема приобретает на развивающихся рынках, включая российский, где характерны высокая волатильность и ограниченная глубина рынка. Неадекватная оценка ликвидности может привести к существенным финансовым потерям при необходимости быстрой реализации активов.

В рамках данного исследования проводится анализ современных методик оценки риска ликвидности.

1.1 Обзор литературы (Чесноков)

1.1.1 Бобракова М.Н. «Оценка рисков портфеля ценных бумаг» (2014)[1]

Автор проводит разделение рисков на **систематические**, которые зависят от макроэкономических факторов: ВВП, инфляция, и **несистематические** — специфические для конкретного актива. Риск ликвидности упоминается как один из видов риска, наряду с ценовым и риском доходности.

В статье упоминается теория Г. Марковица, которая гласит, что при обосновании портфеля инвестор должен пользоваться ожидаемой доходностью и стандартным отклонением. Доход ожидаемый — мера ожидаемого вознаграждения, связанная с конкретным портфелем, а стандартное отклонение — мера риска, связанная с данным портфелем. Инвестор выбирает получение большего дохода при минимальных отклонениях.

Также автор ссылается на теорию Э. Ло, которая строится на гипотезе адаптивных рынков. Согласно данной теории финансовые рынки — сложная адаптивная система, показатели которой сложно связаны между собой, что позволяет им развиваться во времени.

На основе данной теории автор вводит в качестве меры оценки риска понятия ковариации и корреляции двух активов, однако не указывает на основании чего именно строится подсчет этих метрик. Далее по коэффициенту корреляции предлагается судить о риске портфеля:

- Если коэффициент акций в портфеле меньше +1, то риск портфеля снижается
- Если коэффициент акций в портфеле +1, то риск портфеля средний
- Если коэффициент акций в портфеле -1, то, возможно портфель без риска
- Чем меньше коэффициент акций в портфеле, тем меньше риск портфеля, поэтому при формировании портфеля следует включить в него акции, имеющие наименьшую корреляцию

В заключении автор предлагает при анализе российского рынка ценных бумаг учитывать такие факторы как высокая зависимость от внешнего рынка, неразвитость кредитного рынка и также слабую развитость инфраструктур.

1.1.2 Сидоров А.А. «Измерение риска рыночной ликвидности портфеля рыночных ценных бумаг» (2019) [2]

Ликвидность автор предлагает характеризовать несколькими аспектами:

- **Время торгов** (безотлагательное): возможность осуществления сделки сразу по наиболее приемлемой цене. Измерителем времени торгов является время ожидания между выполнением дальнейших или противоположных сделок, количество сделок в единицу времени.
- **Сжатость**: возможность покупать и продавать активы по одной цене одновременно. Она показывает качественный состав расходов, связанных с выполнением соглашений или стоимостью немедленного их выполнения. Измерителем сжатости являются любые виды спреда.
- **Глубина**: возможность совершить сделку с определенным количеством активов без влияния на объявленную цену. Признаком неликвидности является негативное влияние на цену в ходе торгов. Глубина рынка может быть измерена отдельно следующим показателям: количество заявок, объем заявок или поток заявок.
- **Релаксация или гибкость**: возможность быстро восстановить нормальные рыночные условия (например, бед-аск спред и объем заявок) после совершения крупной по объему сделки или информационного шока.

Автор дает определение риска рыночной ликвидности как возможности ценовых и временных потерь при совершении сделок с финансовыми активами, обусловленная неблагоприятными изменениями рыночной цены.

Далее рассматриваются различные параметры для оценки риска ликвидности портфеля

- **VaR** — это выраженный в денежных единицах размер потерь (убытков), которые не превышают ожидаемые в данном периоде времени потери (убытки) с заданной вероятностью. Автор признает, что данный инструмент стал «языком общения» в теории управления рисками, однако подчеркивает, классический Value at Risk не учитывает такую составляющую риска ликвидности, как издержки, возникающие из-за немедленной ликвидации позиции, которая, осуществляется не по средней рыночной, а по текущей цене.
- **Модель Бантя и Дисболда** — Параметрический метод оценки издержек ликвидности (Cost of Liquidity, CoL):

$$CoL(p) = P_T(E[S_t] - \alpha_p \delta(S_t)) \quad (1)$$

где учитывается математическое ожидание и волатильность спреда.

- **Модель Джерроу-Субраманиана** — Более сложная модель, учитывающая фактор времени и дисконт за ликвидность:

$$LVaR_{js} = Q \cdot k_{1-\alpha} \cdot (\sigma_E + \sigma_{\ln |C(S)|}) \quad (2)$$

- **Liquidity-Adjusted VaR (LVaR)** — Предложена корректировка стандартного VaR на величину спреда:

$$LVaR = VaR + S \quad (3)$$

Из представленных мер риска встает вопрос методов оценки спреда ценных бумаг.

- Имплицитный спред Ролла
- Эффективный спред
- Реализованный спред

Отдельно стоит рассмотреть HL-спред Корвина-Шульца, который позволяет рассчитать спред без использования котировок купли-продажи, а лишь основываясь на самой высокой (H) и низкой (L) цене финансового инструмента. Расчет осуществляется по следующим формулам:

$$\beta = E \left[\sum_{j=t}^{t+1} \ln \left(\frac{H_j}{L_j} \right)^2 \right] \quad (4)$$

$$\gamma = E \left[\ln \left(\frac{H_{t,t+1}}{L_{t,t+1}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{2\beta} - \sqrt{\beta}}{3 - 2\sqrt{2}} - \sqrt{\frac{\gamma}{3 - 2\sqrt{2}}} \quad (6)$$

$$S = \frac{2(e^\alpha - 1)}{1 + e^\alpha} \quad (7)$$

где:

- H_j, L_j — максимальная и минимальная цены в день j
- $H_{t,t+1}, L_{t,t+1}$ — максимальная и минимальная цены за двухдневный период
- β — мера волатильности на основе однодневных ценовых диапазонов
- γ — мера волатильности на основе двухдневных ценовых диапазонов
- α — промежуточный параметр, отделяющий волатильность от спреда
- S — итоговый оцененный спред

1.2 Постановка проблемы (Ишханян)

Для практической реализации используется **HL-спред Корвина-Шульца** как наиболее подходящий для работы с открытыми данными:

- **Преимущество:** Для расчета требуются только дневные максимумы (H) и минимумы (L), которые общедоступны через различные финансовые API (Yahoo Finance, Quandl, Московская биржа)
- **Альтернатива:** Классический bid-ask спред требует данных о котировках купли-продажи, которые часто недоступны в открытом доступе для ретроспективного анализа

1.2.1 Сравнительный анализ методов

Для полноты исследования планируется:

- **Основной метод:** HL-спред Корвина-Шульца для расчета LVaR и других метрик ликвидности
- **Сравнительный анализ:** Расчет бета-коэффициентов (из модели Бантия и Дисболда) для качественного сравнения, несмотря на ограниченную применимость в условиях российского рынка
- **Верификация:** Сравнение результатов различных подходов для оценки устойчивости моделей

1.2.2 Источники данных и период анализа

Для исследования планируется использовать:

- **Источники данных:**
 - Московская биржа (МОЕХ) - котировки российских акций голубых фишек
 - Yahoo Finance - международные активы (ETF, американские акции)
 - Данные ЦБ РФ - макроэкономические показатели
 - Investing.com — ведущая финансовая платформа с уникальным доступом к самым актуальным данным, котировкам, графикам и передовыми финансовым инструментам.
- **Период анализа:** 2014-2024 гг. (включая периоды высокой волатильности)
- **Инструменты:**
 - Акции российских компаний (Сбербанк, Газпром, ЛУКОЙЛ и др.)
 - ОФЗ и корпоративные облигации
 - ETF на различные фондовые индексы

1.3 Основные определения и объекты

- **Портфель** представляет собой набор из N ценных бумаг. Пусть ω_i - доля капитала, инвестированная в i -ый актив, так что $\sum_{i=1}^N \omega_i = 1$.
- **Временной горизонт** - фиксированный период Δt , для которого оценивается риск (например, 1 день, 10 дней).
- **Уровень доверия** - заданная вероятность α (например, 95%, 99%), при которой оцениваются потери.
- **Начальная стоимость портфеля:** V_0 .

1.3.1 Ценовой риск (Standard VaR)

Ценовой риск портфеля за время Δt с уровнем доверия α характеризуется стандартным **Value at Risk (VaR)**.

Формально:

$$VaR_\alpha = -\inf\{x \in R : P(\Delta V \leq x) \geq 1 - \alpha\} \quad (8)$$

где ΔV - изменение стоимости портфеля за время Δt .

Параметрический метод (дельта-нормальный подход):

$$VaR_{\text{portfolio}} = -z_{1-\alpha} \cdot \sigma_p \cdot \sqrt{\Delta t} \cdot V_0 \quad (9)$$

где:

- $z_{1-\alpha}$ - квантиль стандартного нормального распределения уровня $(1 - \alpha)$,
- σ_p - волатильность портфеля, $\sigma_p = \sqrt{\boldsymbol{\omega}^T \boldsymbol{\Sigma} \boldsymbol{\omega}}$,
- $\boldsymbol{\Sigma}$ - ковариационная матрица доходностей активов.

1.3.2 Риск ликвидности (Компонент спреда)

Риск ликвидности связан с затратами на немедленную продажу актива.

- **Спред для актива i :** $S_i = \frac{P_i^{ask} - P_i^{bid}}{P_i^{mid}}$

- **Спред портфеля:**

$$S_{\text{portfolio}} = \sqrt{\mathbf{s}^T \cdot \boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{S}} \cdot \mathbf{s}} \quad (10)$$

где:

- \mathbf{s} - вектор взвешенных спредов: $s_i = \omega_i \cdot S_i$,
- $\boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{S}}$ - ковариационная матрица спредов активов.

1.3.3 Совокупный риск: Liquidity-Adjusted VaR (LVaR)

Общий риск портфеля описывается моделью **Liquidity-Adjusted VaR (LVaR)**.

Аддитивная модель:

$$LVaR = VaR_{\text{portfolio}} + \frac{1}{2} \cdot S_{\text{portfolio}} \cdot V_0 \quad (11)$$

Более общая форма:

$$LVaR = V_0 \cdot \left(1 - \exp \left(-z_{1-\alpha} \cdot \sigma_p \cdot \sqrt{\Delta t} \right) \right) + \frac{1}{2} \cdot S_{\text{portfolio}} \cdot V_0 \quad (12)$$

1.4 Оценка параметров: метод Корвина-Шульца

Алгоритм оценки спреда S_i для актива i :

- Для каждого двухдневного периода $[t, t+1]$ рассчитываем:

$$\beta_j = \sum_{k=0}^1 \left[\ln \left(\frac{H_{j+k}}{L_{j+k}} \right) \right]^2 \quad (13)$$

$$\gamma_j = \left[\ln \left(\frac{H_{j,j+1}}{L_{j,j+1}} \right) \right]^2 \quad (14)$$

- Усредняем по выборке: $E[\beta]$, $E[\gamma]$

- Рассчитываем параметр α :

$$\alpha = \frac{\sqrt{2 \cdot E[\beta]} - \sqrt{E[\beta]}}{3 - 2\sqrt{2}} - \sqrt{\frac{E[\gamma]}{3 - 2\sqrt{2}}} \quad (15)$$

- Оценка спреда:

$$S_i = \frac{2(e^\alpha - 1)}{1 + e^\alpha} \quad (16)$$

1.5 Итоговый алгоритм решения

Задача: Для заданного портфеля ω , Δt и α оценить $LVaR$.

Алгоритм:

- Оценить ценовой риск:

$$VaR_{\text{portfolio}} = -z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\omega^T \Sigma \omega} \cdot \sqrt{\Delta t} \cdot V_0 \quad (17)$$

- Оценить риск ликвидности:

$$S_{\text{portfolio}} = \sqrt{(\omega \circ \mathbf{S})^T \Sigma_{\mathbf{S}} (\omega \circ \mathbf{S})} \quad (18)$$

где \circ - произведение Адамара.

- Рассчитать совокупный риск:

$$LVaR = VaR_{\text{portfolio}} + \frac{1}{2} \cdot S_{\text{portfolio}} \cdot V_0 \quad (19)$$

1.6 Практическая реализация и выбор метода

В рамках данного проекта предлагается следующая методология оценки риска ликвидности:

1.6.1 Интеграция спреда в модели управления рисками

После расчета спреда (как классического bid-ask, так и HL-спреда Корвина-Шульца) полученные значения интегрируются в модели управления рисками:

- **Корректировка VaR:** Стандартный Value at Risk модифицируется с учетом ликвидности:

$$LVaR = VaR + \frac{1}{2} \cdot S \cdot P \quad (20)$$

где S - спред, P - стоимость позиции.

- **Расчет издержек ликвидности (Cost of Liquidity):**

$$CoL = \frac{1}{2} \cdot S \cdot V \quad (21)$$

где V - объем сделки.

- **Оценка времени закрытия позиции:** Большой спред может свидетельствовать о необходимости более длительного периода для закрытия позиции без значительных потерь.
- **Сравнительный анализ инструментов:** Спреды позволяют ранжировать активы по уровню ликвидности и включать в портфель наиболее ликвидные инструменты.

Таким образом, спред служит ключевым входным параметром для:

- Моделей LVaR (Liquidity-Adjusted Value at Risk)
- Расчетов транзакционных издержек
- Оптимизации структуры портфеля
- Стресс-тестирования ликвидности

1.7 Ожидаемые результаты

На основе предложенной методологии планируется:

1. Разработать методику расчета LVaR для портфеля ценных бумаг с учетом риска ликвидности
2. Провести сравнительный анализ ликвидности различных классов активов на российском рынке
3. Оценить влияние макроэкономических шоков на ликвидность портфеля
4. Предложить рекомендации по управлению портфелем с учетом риска ликвидности

2 Теоретическая часть и постановка задачи для программного кода

2.1 Теоретическая часть (Чесноков)

2.1.1 Основные понятия

Ликвидность - способность актива быть быстро проданным по цене, близкой к рыночной, то есть без существенных скидок и задержек. Этот показатель включает не только наличие спроса на актив, но и такие аспекты, как время сделки и способность цены восстанавливаться после крупной операции. Недооценка ликвидности может приводить к заметным убыткам: инвестор может быть вынужден продавать активы резко и по заниженной цене, если рынок не располагает достаточной глубиной или широтой спроса.

Риск ликвидности - риск ценовых и временных потерь при совершении сделок из-за неблагоприятных изменений рыночной цены или издержек немедленного исполнения. На развивающихся рынках, включая российский, он особенно значим, поскольку волатильность и ограниченная глубина рынка усиливают вероятность неблагоприятных ценовых скачков.

В нашей постановке задача рассматривается портфель из N активов с весами ω_i (доли капитала), $\sum_{i=1}^N \omega_i = 1$, начальной стоимостью V_0 , горизонтом Δt и уровнем доверия α . Каждый актив имеет свою доходность и риск, и совместное влияние этих активов выражено через ковариационную матрицу доходностей.

2.1.2 Классическая модель VaR

Value at Risk (VaR) - одна из наиболее распространённых мер риска в финансовой сфере. Она показывает, какую максимальную сумму потерь не должен превысить портфель на заданном горизонте Δt с вероятностью α . Для **нормального приближения доходностей** портфеля стандартный VaR определяется как

$$VaR_\alpha = z_\alpha \sigma_p \sqrt{\Delta t} V_0, \quad \sigma_p = \sqrt{\omega^\top \Sigma \omega}, \quad (22)$$

где z_α - квантиль стандартного нормального распределения уровня α , Σ - ковариационная матрица доходностей активов. Этот параметрический подход, основанный на предположении нормальности распределения доходностей, позволяет получить аналитическое выражение для VaR.

2.1.3 Компонент ликвидности

По определению относительный спред актива i задаётся как

$$S_i = \frac{P_i^{ask} - P_i^{bid}}{P_i^{mid}}. \quad (23)$$

В портфельной форме учитываем совместные колебания спредов:

$$S_{\text{pf}} = \sqrt{(\omega \circ S)^\top \Sigma_S (\omega \circ S)}, \quad (24)$$

где $S = (S_1, \dots, S_N)^\top$, символ \circ обозначает поэлементное произведение (Адамара), Σ_S - ковариационная матрица спредов. Вектор $\omega \circ S$ содержит взвешенные спреды активов; его дисперсия определяет «ширину» ликвидного риска портфеля.

2.1.4 Оценка спреда по методу Корвина–Шульца (HL-спред)

Из-за отсутствия данных о котировках bid/ask мы используем HL-спред как основную меру ликвидности. Этот метод не требует дополнительной информации: достаточно знать дневные максимумы H_t и минимумы L_t . Сначала рассчитываются показатели:

$$\beta = E \left[\left(\ln \frac{H_t}{L_t} \right)^2 \right], \quad \gamma = E \left[\left(\ln \frac{H_{t,t+1}}{L_{t,t+1}} \right)^2 \right], \quad (25)$$

где $H_{t,t+1} = \max(H_t, H_{t+1})$, $L_{t,t+1} = \min(L_t, L_{t+1})$ - величины для двухдневного периода. Параметр β отражает волатильность однодневных диапазонов, а γ - двухдневных. Затем вычисляется промежуточный параметр

$$\alpha = \sqrt{2\beta} - \sqrt{\frac{\beta}{3 - 2\sqrt{2}}} - \sqrt{\frac{\gamma}{3 - 2\sqrt{2}}},$$

который позволяет разделить вклад спреда и волатильности, и, наконец, спред

$$S = \frac{2(e^\alpha - 1)}{1 + e^\alpha}.$$

Полученный S называется HL-спредом и служит оценкой относительного спреда для актива. Преимущество HL-метода в том, что он позволяет получать стабильные оценки даже при отсутствии котировок bid/ask и основывается на легко доступных данных о максимальных и минимальных ценах.

2.1.5 Liquidity-Adjusted VaR (LVaR)

Стандартный VaR оценивает только ценовой риск и не учитывает потенциальных издержек, связанных с ликвидностью. Чтобы интегрировать ликвидный компонент, вводят Liquidity-Adjusted VaR (LVaR). В простейшем аддитивном приближении он равен

$$LVaR_\alpha = VaR_\alpha + \frac{1}{2} S_{\text{pf}} V_0. \quad (26)$$

Первая часть - стандартный VaR, вторая - половина произведения портфельного спреда и стоимости портфеля. Альтернативная (экспоненциальная) форма учитывает нелинейный вклад волатильности в риск:

$$LVaR_\alpha = V_0 \left(1 - e^{z\sigma_p \sqrt{\Delta t}} \right) + \frac{1}{2} S_{\text{pf}} V_0. \quad (27)$$

Эта модель предполагает, что при нулевом спреде $S_{\text{pf}} = 0$ LVaR совпадает со стандартным VaR, а при ненулевом спреде риск увеличивается пропорционально ширине спреда.

2.1.6 Расчёт ковариационной матрицы доходностей

Для оценки волатильности портфеля и вычисления σ_p требуется построить ковариационную матрицу Σ , описывающую совместные колебания цен активов. В классическом случае доходности вычисляются из цен закрытия, однако в нашем исследовании отсутствуют котировки bid/ask и цены закрытия, а доступны только дневные максимумы H_t и минимумы L_t . Поэтому используется приближение на основе средних цен, что позволяет оценить относительные изменения стоимости активов. Процедура расчёта ковариационной матрицы включает следующие шаги:

1. Сбор данных. Для каждого актива i берётся временной ряд дневных максимумов и минимумов цен $H_{i,t}$ и $L_{i,t}$ за период $t = 1, \dots, T$.
2. Аппроксимация средней цены. Поскольку цены открытия и закрытия недоступны, средняя дневная цена приближается как

$$P_{i,t}^{\text{mid}} = \frac{H_{i,t} + L_{i,t}}{2}.$$

Эта величина интерпретируется как центральная цена торгового диапазона и используется для оценки относительных изменений стоимости актива.

3. Расчёт приближённых доходностей. Для каждого актива i вычисляются логарифмические доходности по средним ценам:

$$r_{i,t} = \ln \frac{P_{i,t}^{\text{mid}}}{P_{i,t-1}^{\text{mid}}}.$$

Такая аппроксимация позволяет оценить направление и масштаб изменения цены при отсутствии данных о котировках покупки и продажи.

4. Формирование ковариационной матрицы. Ковариационная матрица Σ отражает взаимозависимость доходностей активов. Её элементы вычисляются по стандартной формуле:

$$\Sigma_{ij} = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (r_{i,t} - \bar{r}_i)(r_{j,t} - \bar{r}_j),$$

где \bar{r}_i - среднее значение доходностей актива i , а T - количество наблюдений. Деление на $T-1$ соответствует поправке Бесселя, обеспечивающей несмещённость оценки.

5. Получение волатильности портфеля. После построения Σ дисперсия и стандартное отклонение (волатильность) портфеля вычисляются как

$$\sigma_p = \sqrt{\omega^\top \Sigma \omega},$$

где ω - вектор весов активов в портфеле.

Такой подход позволяет оценить взаимную изменчивость активов даже при отсутствии котировок bid/ask.

2.2 Постановка задачи на разработку программного кода (Ишханян)

2.2.1 Цель разработки

Разработать автоматизированный программный модуль для комплексной оценки рыночного риска портфеля ценных бумаг с поправкой на риск ликвидности. Модуль должен на основе исторических данных рассчитывать стандартный Value at Risk (VaR) и Liquidity-Adjusted VaR (LVaR), используя модель Корвина-Шульца (HL-спред) для количественной оценки ликвидности активов.

2.2.2 Входные данные

Модуль должен принимать следующие параметры и данные:

1. Исторические данные по активам:

- **Временные ряды:** Для каждого актива в портфеле за заданный исторический период (например, 1–3 года).
- **Необходимые данные:** Дневные цены максимума (*High*) и минимума (*Low*). Опционально — цены закрытия (*Close*) для верификации.
- **Источники данных (API):** MOEX, Yahoo Finance, Investing.com. Модуль должен поддерживать возможность подключения нескольких источников.

2. Параметры портфеля:

- **Список активов (тикеры):** Например, [SBER, GAZP, AAPL, EURUSD].
- **Весовые коэффициенты (ω_i):** Доли каждого актива в портфеле, где $\sum_i \omega_i = 1$.
- **Начальная стоимость портфеля (V_0):** В рублях или другой базовой валюте.

3. Параметры риска:

- **Период анализа (Δt):** Временной горизонт для VaR (в днях). По умолчанию: 10 дней.
- **Уровень доверия (α):** Уровень доверия для расчета квантиля распределения. По умолчанию: 0,95.

2.2.3 Выходные данные и результаты

В результате работы модуль должен генерировать:

1. Табличные расчеты:

- HL-спред (S_i) для каждого актива (в процентах).
- Матрица ковариаций доходностей (Σ).
- Стандартный VaR портфеля (в денежных единицах и в процентах от стоимости портфеля).
- Liquidity-Adjusted VaR (LVaR) (в денежных единицах и в процентах).

2. Автоматический отчет с визуализацией:

- **График 1:** Динамика стандартного VaR и LVaR портфеля во времени.
- **График 2:** Сравнительная гистограмма HL-спредов по активам (рейтинг ликвидности).
- **Таблица:** Сводная таблица с ключевыми метриками по каждому активу и по портфелю в целом.

2.2.4 Алгоритмические этапы решения

Реализация модуля должна состоять из следующих последовательных этапов:

1. **Загрузка и предобработка данных:**

- Автоматическая загрузка данных по списку тикеров из указанного источника API.
- Очистка данных (обработка пропусков, выбросов) и приведение к общему временному интервалу.
- Расчет логарифмических доходностей на основе цен закрытия.

2. **Расчет метрик ликвидности (HL-спред):**

- Для каждого актива и каждого дня рассчитывается промежуточный спред по формуле:

$$\text{Spread}_t = \frac{(High_t - Low_t)}{(High_t + Low_t)/2}$$

- Рассчитанные дневные спреды усредняются за весь исторический период для получения финального HL-спреда (S_i) для каждого актива.

3. **Расчет метрик рыночного риска:**

- **Расчет ковариационной матрицы (Σ):** Вычисляется ковариационная матрица логарифмических доходностей всех активов портфеля.
- **Расчет стандартного VaR (Параметрический метод):**

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \sqrt{\omega^\top \Sigma \omega} \\ VaR &= V_0 \cdot (z_\alpha \cdot \sigma_p \cdot \sqrt{\Delta t})\end{aligned}$$

где z_α — квантиль стандартного нормального распределения.

4. **Корректировка на риск ликвидности (LVaR):**

- **Расчет средневзвешенного спреда портфеля (S_p):**

$$S_p = \sum_i (\omega_i \cdot S_i)$$

- **Расчет Liquidity-Adjusted VaR (LVaR):**

$$LVaR = VaR + (0.5 \cdot V_0 \cdot S_p)$$

5. **Формирование отчета и визуализация:**

- Построение всех указанных графиков и таблиц.
- Вывод результатов в консоль и сохранение отчета в виде HTML-файла или графиков в формате PNG.

2.2.5 Критерии успешной реализации

Разработанный модуль будет считаться успешным, если он соответствует следующим критериям:

- **Функциональная полнота:** Реализованы все алгоритмические этапы без исключений.
- **Корректность расчетов:** Результаты расчетов (HL-спред, VaR, LVaR) верифицированы на примерах с известным ответом.
- **Гибкость и масштабируемость:** Позволяет легко добавлять новые источники данных (API) и изменять параметры расчета (Δt , α , состав и веса портфеля).

- **Устойчивость:** Корректно обрабатывает ошибки связи с API, пропуски в данных, некорректный ввод пользователя.
- **Практическая применимость:** Генерирует понятный и информативный отчет, который позволяет аналитику принимать обоснованные решения о риске ликвидности портфеля.
- **Проведение сравнительного анализа:** Модуль позволяет провести анализ и продемонстрировать, как LVaR отличается от VaR для портфелей с разной структурой.

Список литературы

- [1] М. Н. Бобракова. Оценка рисков портфеля ценных бумаг. *Вестник магистратуры*, 2014.
- [2] А. А. Сидоров. Измерение риска рыночной ликвидности портфеля рыночных ценных бумаг. *Вестник Евразийской науки*, 2019.