

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра теории функций и стохастического анализа

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО
ПОРТФЕЛЯ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 248 группы
направления 09.04.03 — Анализ данных

механико-математического факультета
Межонова Александра Дмитриевича

Научный руководитель
доцент, к. э. н., доцент

А. Р. Файзлиев

Заведующий кафедрой
д. ф.-м. н., доцент

С. П. Сидоров

Саратов 2026

Введение. В современном мире управление инвестициями становится всё более сложной задачей как для частных инвесторов, так и для профессиональных финансовых организаций. Под инвестиционным портфелем понимается совокупность различных активов — акций, облигаций, фондов и других финансовых инструментов, — распределение которых должно обеспечивать оптимальное соотношение между ожидаемой доходностью и принимаемым риском. Фундаментальный вклад в решение этой задачи внесли Гарри Марковиц, предложивший модель средней–дисперсионной оптимизации, и Уильям Шарп, разработавший модель ценообразования капитальных активов (САРМ) и одноимённый коэффициент Шарпа. Несмотря на теоретическую строгость, классические модели сталкиваются с рядом практических ограничений: статичность предположений, чувствительность к ошибкам оценки параметров, высокая вычислительная сложность при работе с большим количеством активов, а также недостаточная интерпретируемость результатов для конечного пользователя, что создаёт эффект «чёрного ящика».

В условиях роста объёма финансовых данных, высокой рыночной волатильности и развития алгоритмической торговли возрастает потребность в автоматизированных, гибких и понятных инструментах поддержки инвестиционных решений. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью создания аналитической платформы, которая не только реализует математический аппарат классических моделей, но и преодолевает их ключевые практические ограничения, делая процесс оптимизации прозрачным, интерактивным и адаптивным к индивидуальным предпочтениям инвестора.

Объектом исследования выступают процессы формирования и оптимизации инвестиционного портфеля на основе количественных моделей в условиях неопределённости финансовых рынков.

Предметом исследования являются методы оптимизации портфеля с применением моделей Марковица и Шарпа, а также их программная реализация в виде веб-приложения с интерактивными функциями анализа чувствительности и объяснения решений.

Целью данной магистерской работы является разработка и внедрение программного продукта PortOptima, позволяющего эффективно и интерпретируемо решать задачу оптимизации структуры инвестиционного порт-

феля с учётом индивидуальных предпочтений инвестора на основе моделей Марковица и Шарпа.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Провести теоретический анализ классических моделей оптимизации инвестиционного портфеля (Марковица, Шарпа) и ключевых метрик эффективности (коэффициенты Шарпа, Сортино, Кальмара, VaR, CAGR и др.).
2. Разработать детальный алгоритм оптимизации на основе модели CAPM и реализовать его в виде верифицированного прототипа на Python в среде Kaggle.
3. Спроектировать архитектуру и разработать полнофункциональное веб-приложение PortOptima с расширенным пользовательским интерфейсом, функциями объяснения решений (SmartExplain™), интерактивного анализа «Что если?», сценарного моделирования и автоматической генерации отчётов.
4. Реализовать интерактивные функции анализа чувствительности («Что если?») и сценарного моделирования в составе веб-приложения для оценки устойчивости портфеля к изменениям рыночных условий.
5. Провести количественную оценку эффективности предложенного алгоритма на основе реальных рыночных данных за 2021–2026 гг. с расчётом метрик VaR, CVaR, максимальной просадки, коэффициентов Шарпа, Сортино, Кальмара и информационного коэффициента.
6. Протестировать разработанное программное обеспечение на различных пользовательских сценариях и проанализировать полученные результаты.

Научная новизна данной работы заключается в разработке и обосновании комплексного подхода к оптимизации инвестиционного портфеля, объединяющего классические количественные модели с интерактивными механизмами интерпретации результатов и анализа чувствительности. В отличие от существующих решений, предлагаемый подход обеспечивает:

- интеграцию модели CAPM с эвристикой ранжирования активов по коэффициенту Шарпа, что снижает вычислительную сложность и повы-

- шает устойчивость к ошибкам оценки ковариационной матрицы;
- разработку алгоритма «прозрачной» оптимизации, сочетающего численный метод SLSQP с пост-оптимизационным анализом границы эффективности, линий CML и SML, а также расчётом риск-метрик (VaR, CVaR, максимальная просадка, коэффициенты Сортино и Кальмара);
 - внедрение в веб-приложение интерактивных функций «Что если?» и сценарного моделирования, позволяющих оценивать чувствительность портфеля к изменениям рыночных условий;
 - применение единой методологии бэктестинга и количественной оценки эффективности на реальных рыночных данных за период 2021–2026 гг.

Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения разработанного веб-приложения PortOptima в деятельность частных инвесторов, финансовых консультантов, управляющих компаний и образовательных платформ. Решение может быть использовано для автоматизации инвестиционных решений, повышения финансовой грамотности через встроенные функции объяснения (SmartExplain™), интерактивного анализа устойчивости портфеля, автоматической генерации структурированных отчётов (PDF/Excel) и интеграции в корпоративные финансовые системы через REST API.

В ходе выполнения работы использовался комплекс методов, охватывающих как теоретические, так и прикладные аспекты проектирования инвестиционных аналитических систем:

- методы математического моделирования — портфельная теория Марковица, модель CAPM, численная оптимизация (SLSQP);
- методы статистического анализа временных рядов — расчёт доходностей, волатильности, ковариационных матриц, VaR, CVaR;
- методы объектно-ориентированного и веб-программирования — Python (прототипирование в Kaggle), TypeScript/React.js (фронтенд), REST API;
- методы бэктестинга и сценарного анализа — оценка устойчивости портфеля к изменению рыночных параметров.

Также применялись средства визуализации данных (Matplotlib, Plotly), интерактивного тестирования MVP и генерации отчётов.

Структура работы. Магистерская работа состоит из введения, трёх

разделов, заключения, списка литературы и приложений. В первом разделе формализованы задачи оптимизации, приведены математические постановки моделей Марковица и Шарпа, а также абсолютные и относительные показатели доходности и риска. Во втором разделе разработан алгоритм, реализованный в среде Kaggle на реальных исторических данных (акции Apple, Microsoft, Tesla и индекс S&P 500 за 2021–2026 гг.). В третьем разделе представлено веб-приложение PortOptima (React.js), описаны его архитектура, функции объяснения решений, интерактивный анализ «Что если?» и сценарное моделирование. В заключении подведены итоги, сформулированы основные выводы и обозначены направления дальнейшего развития.

В первой главе формализованы теоретические задачи оптимизации инвестиционного портфеля, приведены математические постановки, детально описаны модели Марковица и Шарпа, а также абсолютные и относительные показатели доходности и риска.

Задача оптимизации инвестиционного портфеля представляет собой одну из центральных проблем современного финансового управления. Она заключается в нахождении такой структуры портфеля — то есть определении долей различных активов, входящих в него, — которая обеспечивает наилучшее соотношение между ожидаемой доходностью и уровнем принимаемого на себя риска. При этом эффективное управление инвестициями предполагает не только применение строгих математических моделей, но и глубокий учет множества факторов, связанных с индивидуальными предпочтениями инвестора, рыночной динамикой, стратегическими целями и внешними ограничениями.

С точки зрения системного анализа выделяют две основные постановки.

Постановка 1 (минимизация риска при фиксированной доходности):

$$\min_x \sigma_p^2 = x^\top \Sigma x, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$x^\top \mu = \mu_p, \quad x^\top \mathbf{1} = 1, \quad x \geq 0.$$

Здесь x — вектор-столбец весов активов размерности n (доли капитала, вложенные в каждый актив), Σ — ковариационная матрица доходностей активов,

μ — вектор ожидаемых доходностей, μ_p — заданный уровень доходности портфеля, $\mathbf{1}$ — вектор из единиц. Ограничение $x \geq 0$ означает запрет коротких позиций (только длинные позиции).

Постановка 2 (максимизация доходности при фиксированном риске):

$$\max_x x^\top \mu, \quad (2)$$

при ограничениях:

$$x^\top \Sigma x \leq \sigma_{\max}^2, \quad x^\top \mathbf{1} = 1, \quad x \geq 0.$$

Здесь σ_{\max}^2 — максимально допустимая дисперсия портфеля (квадрат риска). Остальные обозначения те же, что и в постановке 1.

Задача относится к классу многокритериальных. Ключевыми параметрами, которые учитываются при моделировании, являются: ожидаемая доходность, риск (дисперсия, стандартное отклонение, VaR, CVaR, максимальная просадка), степень диверсификации, ликвидность активов, транзакционные издержки.

В рамках данного исследования для практической реализации выбрана модель Шарпа (САРМ) как менее чувствительная к ошибкам оценки ковариаций и более простая в вычислительном отношении при работе с большим числом активов. Модель Марковица используется для построения эталонной эффективной границы и сравнения результатов.

Гарри Марковиц предложил модель оптимизации портфеля с использованием анализа средней дисперсии. Целевая функция — минимизация дисперсии портфеля при заданной ожидаемой доходности:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где σ_{ij} — ковариация доходностей i -го и j -го активов. Ограничения:

$$\sum_{i=1}^n r_i x_i = r_p, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad 0 \leq x_i \leq 1.$$

Здесь r_i — ожидаемая доходность i -го актива, r_p — заданная доходность портфеля, x_i — вес i -го актива.

Теория Марковица основана на предположениях: инвестор вкладывает всю сумму в n активов на период T ; распределение доходностей стационарно; короткие позиции невозможны. Модель предоставляет строгую математическую основу для диверсификации, однако её практическое применение ограничено высокой чувствительностью к входным параметрам и предположением о стационарности.

Уильям Ф. Шарп разработал модель ценообразования капитальных активов (Capital Asset Pricing Model, CAPM), которая устанавливает связь между уровнем систематического риска и ожидаемой доходностью финансовых инструментов. Основная идея модели заключается в том, что более высокая ожидаемая доходность возможна только при увеличении принимаемого на себя риска. Шарп также предложил коэффициент β , который используется для количественной оценки риска и эффективности инвестиций.

Основное уравнение CAPM выглядит следующим образом:

$$E(R_i) = R_f + \beta_i \cdot (E(R_m) - R_f), \quad (4)$$

где $E(R_i)$ — ожидаемая доходность акции, R_f — безрисковая ставка, $E(R_m)$ — ожидаемая доходность рыночного портфеля, β_i — коэффициент чувствительности акции к изменениям на рынке (систематический риск). Величина $E(R_m) - R_f$ называется рыночной премией за риск.

Модель основана на линейной регрессии:

$$R_i(t) = \alpha_i + \beta_i R_m(t) + \varepsilon_i(t), \quad (5)$$

где α_i — средняя независимая доходность (альфа), $\varepsilon_i(t)$ — случайная ошибка, отражающая несистематический (идиосинкратический) риск. Риск портфеля рассчитывается как:

$$\sigma_p^2 = \beta_p^2 \sigma_m^2 + \sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_{\varepsilon,i}^2, \quad (6)$$

где $\beta_p = \sum_{i=1}^n w_i \beta_i$ — портфельная бета, σ_m^2 — дисперсия рыночной доходности, $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ — дисперсия специфического риска i -го актива, w_i — вес актива в портфеле. При увеличении числа активов и диверсификации специфический риск $\sum w_i^2 \sigma_{\varepsilon,i}^2$ стремится к нулю, остаётся только систематический риск $\beta_p^2 \sigma_m^2$.

Показатели абсолютной доходности: арифметическая доходность, логарифмическая доходность, среднемесячная прибыль, среднемесячный убыток.

Показатели относительной доходности: коэффициент захвата движения рынка вверх (Up-Market Capture Ratio) и вниз (Down-Market Capture Ratio).

Абсолютные показатели доходности с поправкой на риск:

Коэффициент Шарпа (Sharpe ratio) — избыточная доходность на единицу общего риска:

$$SR = \frac{r_p - r_f}{\sigma_p}, \quad (7)$$

где r_p — доходность портфеля, r_f — безрисковая ставка, σ_p — стандартное отклонение доходности портфеля.

Совокупный годовой темп роста (CAGR, Compound Annual Growth Rate):

$$CAGR(t_0, t_n) = \left(\frac{V(t_n)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{t_n - t_0}} - 1, \quad (8)$$

где $V(t)$ — стоимость актива в момент времени t .

Коэффициент Кальмара (Calmar ratio) — это отношение среднегодовой доходности (CAGR) к максимальной просадке портфеля за рассматриваемый период. Он показывает, сколько процентов годовой доходности приходится на каждый процент максимального падения.

Коэффициент Сортино (Sortino ratio) — аналог коэффициента Шарпа, но вместо общего риска (стандартного отклонения всех доходностей) использует только риск отрицательных отклонений (downside risk). В знаменателе стоит стандартное отклонение лишь тех доходностей, которые оказались ниже целевого уровня (обычно ниже безрисковой ставки). Тем самым Сортино более точно оценивает эффективность стратегий с асимметричным распределением доходностей.

Относительные показатели доходности с поправкой на риск:

Альфа Дженсена (Jensen's alpha) — это фактическая избыточная доходность портфеля по сравнению с ожидаемой доходностью по модели CAPM. Положительная альфа означает, что портфель показал результат выше предсказанного его рыночным риском (бета).

Коэффициент информации (Information ratio) — отношение активной доходности портфеля к ошибке трекинга. Активная доходность — это разность между доходностью портфеля и доходностью бенчмарка (эталонного индекса). Ошибка трекинга — стандартное отклонение этой разности. Коэффициент информации показывает, насколько эффективно управляющий генерирует избыточную доходность относительно выбранного ориентира.

Коэффициент Трейнора (Treynor ratio) — избыточная доходность портфеля на единицу систематического риска (бета). В отличие от коэффициента Шарпа, учитывающего общий риск, Трейнор фокусируется только на рыночном (недиверсифицируемом) риске.

Таким образом, при оптимизации портфеля необходимо комплексно учитывать как абсолютные, так и относительные показатели доходности и риска, что и будет реализовано в разработанном алгоритме.

Во второй главе рассмотрены этапы разработки алгоритма оптимизации инвестиционного портфеля на основе модели CAPM, его программная реализация на Python в среде Kaggle, а также результаты бэктестинга на реальных рыночных данных за 2021–2026 гг.

В отличие от модели Марковица, требующей оценки полной ковариационной матрицы активов (формулы минимизации риска при фиксированной доходности и дисперсии портфеля), модель Шарпа (CAPM) сводит систематический риск каждого актива к единственному параметру — коэффициенту β (основное уравнение CAPM и формула бета), что значительно снижает вычислительную сложность. Коэффициент Шарпа используется на всех этапах: для ранжирования активов, в качестве целевой функции при построении касательного портфеля и для сравнения стратегий.

Загрузка и предобработка данных. Из CSV-файлов загружены дневные цены закрытия акций Apple (AAPL), Microsoft (MSFT), Tesla (TSLA) и рыночного индекса S&P 500 (SPY) за период 04.05.2021 – 04.05.2026 (1255 торговых дней). Вычислены дневные логарифмические доходности, которые

затем преобразованы в годовые (умножением на 252). Данные разделены на обучающую (04.05.2021 – 31.12.2023) и тестовую (01.01.2024 – 04.05.2026) выборки.

Расчёт параметров на обучающей выборке. Для каждого актива рассчитаны: средняя годовая доходность μ_i , годовое стандартное отклонение σ_i , ковариационная матрица Σ , коэффициент β , альфа Дженсена α_i , коэффициенты Шарпа SR_i и Трейнора TR_i . Полученные численные характеристики активов обобщены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры активов (обучающая выборка 2021–2023 гг.)

Актив	μ_i	σ_i	β_i	α (год.)	Коэф. Шарпа	Коэф. Трейнора
AAPL	0,1603	0,2739	1,2588	0,0849	0,4756	0,1035
MSFT	0,1662	0,2826	1,2490	0,0912	0,4820	0,1091
TSLA	0,0382	0,5777	1,8218	-0,0575	0,0141	0,0045

Акции AAPL и MSFT имеют положительную альфу (недооценены рынком) и умеренную волатильность, тогда как TSLA характеризуется отрицательной альфой и аномально высокой волатильностью, что предопределяет её низкую инвестиционную привлекательность.

Построение эффективной границы и нахождение касательного портфеля. Решена задача максимизации коэффициента Шарпа портфеля (формула (14)) методом SLSQP. В результате получен касательный портфель, состав которого представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Касательный (оптимальный) портфель

Актив	Доля
AAPL	0,4872
MSFT	0,5128
TSLA	0,0000

Акции TSLA полностью исключены из оптимального портфеля. Касательный портфель имеет ожидаемую доходность $\mu_{\text{tan}} = 0,1633$, риск $\sigma_{\text{tan}} = 0,2589$ и коэффициент Шарпа 0,5151.

Наглядно положение активов и портфелей на плоскости «риск–доходность» демонстрирует эффективная граница Марковица (рисунок 1).

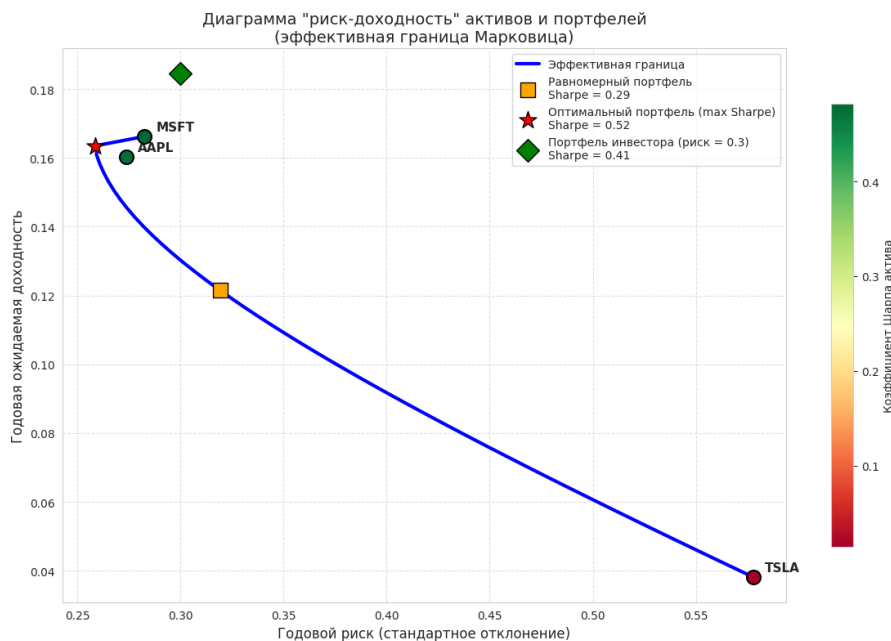


Рисунок 1 – Диаграмма «риск–доходность» активов и портфелей (эффективная граница Марковица)

AAPL и MSFT лежат вблизи эффективной границы, что подтверждает их рациональную доходность относительно риска. TSLA значительно удалена от границы и имеет низкий коэффициент Шарпа, поэтому её включение в портфель нецелесообразно.

Формирование портфеля инвестора на линии CML. Задан целевой годовой риск $\sigma_p = 0,30$. Портфель инвестора представляет собой комбинацию безрискового актива ($r_f = 0,03$) и касательного портфеля. Доля касательного портфеля = $\sigma_p / \sigma_{\text{тан}} = 1,1589$, доля безрискового актива = $-0,1589$ (кредитное плечо). Итоговое распределение весов приведено в таблице ???. Ожидаемая доходность такого портфеля $\mu_p = 0,1845$.

Для достижения более высокого уровня риска (30%) необходимо заимствование под безрисковую ставку, что увеличивает доли рискованных активов пропорционально.

Графическое представление CML (рисунок 2) показывает соотношение риска и доходности для комбинаций безрискового актива и рыночного портфеля.

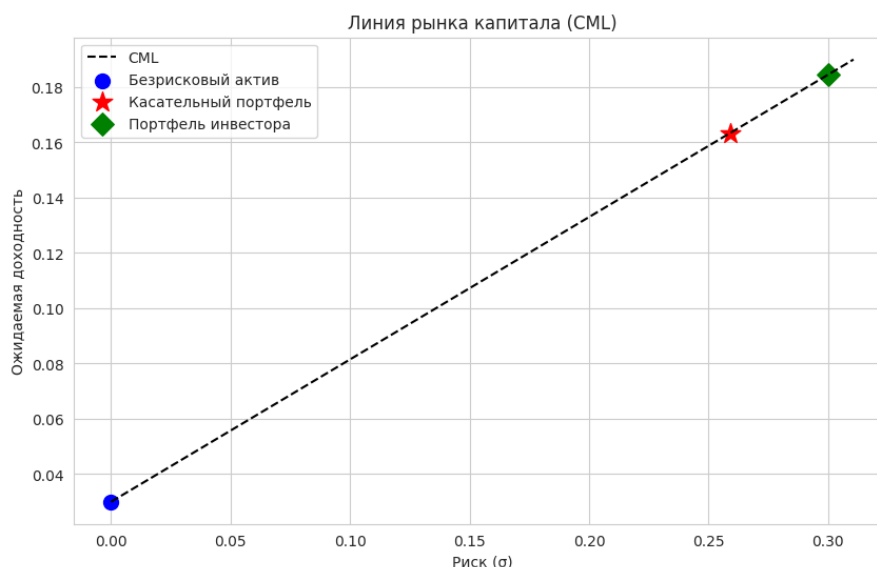


Рисунок 2 – Линия рынка капитала (CML)

Портфель инвестора лежит на CML правее касательного портфеля, что соответствует использованию кредитного плеча и более высокой ожидаемой доходности.

Бэктестинг и оценка рисков. На тестовой выборке (2024–2026) рассчитаны фактические метрики эффективности портфеля инвестора. Все ключевые показатели сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Метрики портфеля инвестора на тестовой выборке (2024–2026)

Метрика	Значение
Факт. годовая доходность	0,1332
Факт. годовой риск	0,2495
VaR(95%)	–0,0247
CVaR(95%)	–0,0362
Максимальная просадка	–0,3160
Коэф. Шарпа	0,4135
Коэф. Сортино	0,5734
Коэф. Кальмара	0,3407
Информационный коэффициент	0,4199
Up Capture (%)	116,45
Down Capture (%)	128,08

Коэффициент Шарпа 0,41 является приемлемым для агрессивной стратегии. $VaR(95\%) = -2,47\%$ означает, что дневные потери не превысят 2,47% с вероятностью 95%, а $CVaR = -3,62\%$ указывает на средние потери в худших 5% случаев. Максимальная просадка $-31,6\%$ соответствует высокому уровню риска. Положительный информационный коэффициент (0,42) подтверждает способность портфеля генерировать избыточную доходность относительно рынка. Превышение Down Capture (128%) над 100% является платой за использование кредитного плеча.

Дополнительная визуализация результатов. Для более глубокого анализа построены следующие графики.

Регрессионные линии CAPM (рисунок 3) показывают зависимость доходности каждого актива от доходности рынка.

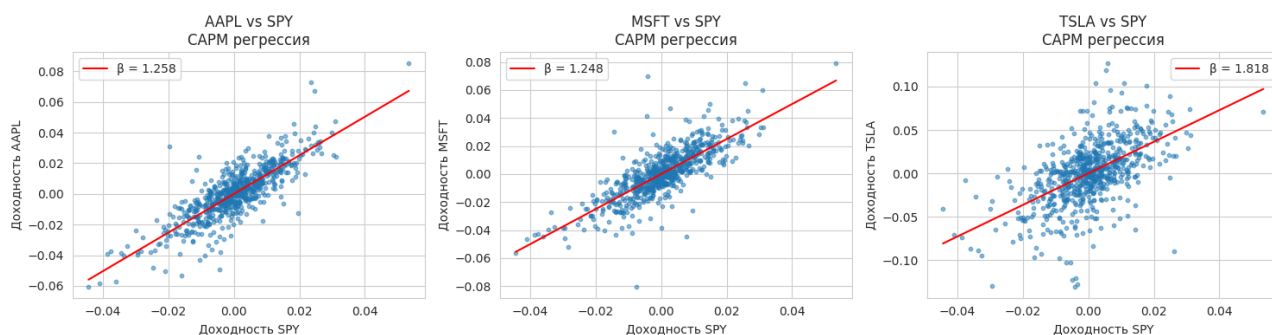


Рисунок 3 – Регрессионные линии CAPM для AAPL, MSFT, TSLA

У AAPL и MSFT коэффициент $\beta \approx 1,25-1,26$ при плотной группировке точек (высокая доля систематического риска). TSLA имеет $\beta = 1,82$ и значительный разброс точек вокруг линии регрессии, что свидетельствует о преобладании несистематического (идиосинкратического) риска.

Линия рынка ценных бумаг SML (рисунок 4) отображает равновесную зависимость между β и ожидаемой доходностью.

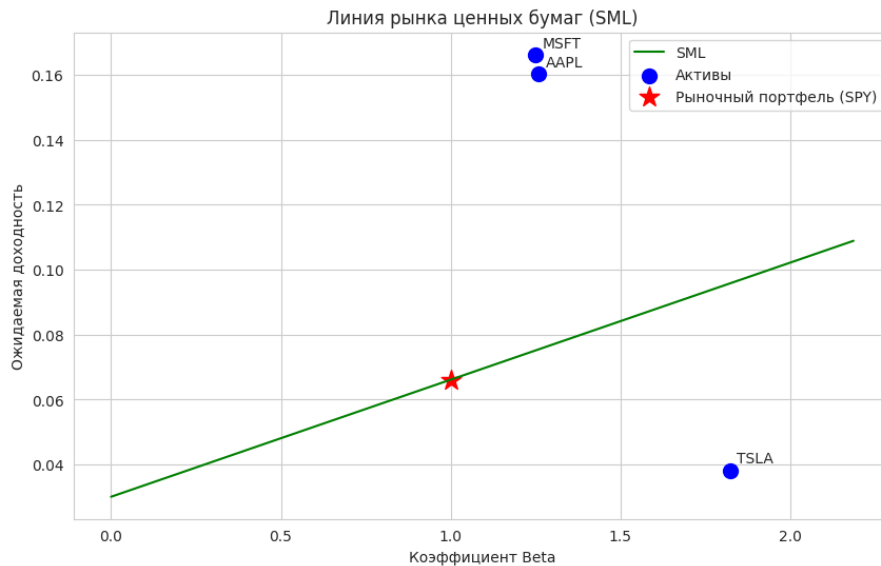


Рисунок 4 – Линия рынка ценных бумаг (SML)

Точки AAPL и MSFT лежат выше SML (положительная альфа), что говорит об их недооценённости рынком. TSLA – ниже SML (отрицательная альфа), то есть переоценена.

Динамика скользящего коэффициента Шарпа портфеля инвестора (окно 60 дней) представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Динамика коэффициента Шарпа портфеля инвестора (окно 60 дней)

Значения колеблются в диапазоне 0,3–0,6, в среднем около 0,4, что подтверждает относительную стабильность стратегии даже при использовании кредитного плеча.

Гистограмма распределения дневных доходностей портфеля (рисунок 6) позволяет оценить отклонение от нормального закона.



Рисунок 6 – Распределение доходностей портфеля инвестора

Фактическое распределение имеет более тяжёлые хвосты (эксцесс 4,2 против 3 у нормального) и отрицательную асимметрию ($-0,31$), что обосновывает использование VaR и CVaR вместо нормальной аппроксимации.

График просадки (drawdown) портфеля инвестора (рисунок 7) визуализирует периоды снижения капитала относительно исторических максимумов.



Рисунок 7 – Просадка портфеля инвестора

По рисунку 7 наблюдается максимальная просадка $-31,6\%$ достигнута в конце 2025 года. Коэффициент Кальмара $0,34$ указывает на умеренную устойчивость стратегии ($0,34\%$ годовой доходности на каждый процент просадки).

Ограничения и направления дальнейших исследований:

- Стационарность параметров – перспективно использование моделей GARCH, EWMA и байесовских подходов.
- Запрет коротких продаж – введение коротких позиций могло бы улучшить коэффициент Шарпа за счёт хеджирования.
- Одна безрисковая ставка – более реалистичной является двусторонняя ставка (для кредитования и заимствования).
- Неучёт транзакционных издержек – бэктестинг с комиссиями дал бы более консервативные оценки.

Рекомендации инвесторам (при целевой волатильности 25–30%): включать активы с устойчиво положительной альфой, избегать активов с отрицательной альфой, контролировать не только дневную VaR, но и максимальную просадку, устанавливать стоп-лоссы, ежемесячно пересматривать веса портфеля, резервировать часть капитала в защитных инструментах.

Таким образом, предложенный во втором разделе подход, основанный на комбинации теории Марковица, модели CAPM и коэффициента Шарпа, позволяет построить инвестиционный портфель с заданным уровнем риска, обеспечивающий положительную премию за риск даже на волатильном рынке. Полученные количественные результаты могут служить основой для принятия реальных инвестиционных решений при соблюдении указанных ограничений.

В третьей главе представлено программное приложение PortOptima — аналитическая платформа, реализующая ключевые положения теории Марковица и модели Шарпа для оптимизации инвестиционного портфеля. Приложение ориентировано на конечного пользователя (инвестора или финансового аналитика).

Основная цель разработки — преодоление «чёрного ящика» классических моделей с помощью функции SmartExplain™, которая делает процесс принятия решений прозрачным даже для пользователей без глубокой математической подготовки. Платформа позволяет загружать данные, автоматически рассчитывать метрики, строить эффективную границу, оптимизировать портфель под заданный риск и генерировать отчёты.

Приложение построено на стеке React.js с использованием Tailwind CSS,

Lucide и Chart.js/Plotly. Архитектура модульная, что обеспечивает масштабируемость. Важная особенность — интеграция с Yahoo Finance API: котировки загружаются напрямую, что гарантирует актуальность данных и позволяет легко менять набор активов.

На рисунке 8 показан интерфейс загрузки данных. Пользователю доступны три вкладки: «Тикеры», «Файл», «Демо». В деморежиме можно загрузить готовый набор из 8 технологических акций США.

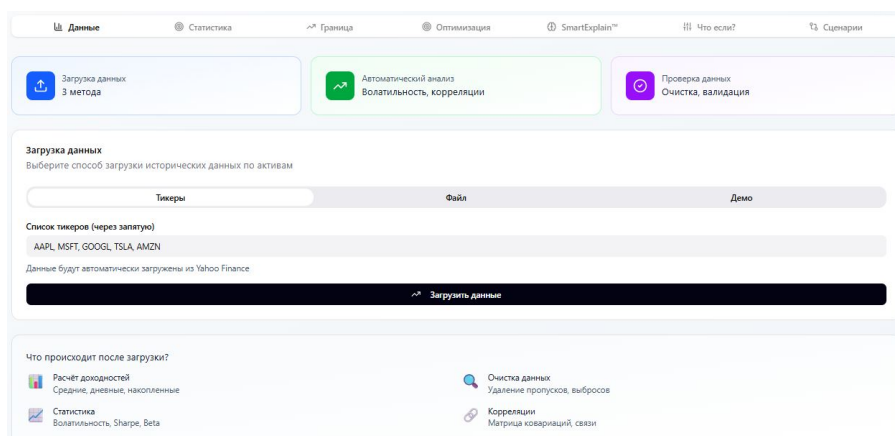


Рисунок 8 – Интерфейс загрузки данных в приложении PortOptima

После нажатия «Загрузить» приложение отправляет асинхронные запросы к Yahoo Finance API. JSON-ответы содержат дневные цены, которые нормализуются и очищаются. Все вычисления (от логарифмических доходностей до ковариационных матриц) выполняются на клиенте, что исключает необходимость в серверной инфраструктуре.

Архитектура основана на компонентном подходе. Главный модуль App.tsx управляет состоянием и координирует работу блоков:

- DataLoader — загрузка и предобработка данных (включая API).
- StatisticsPanel — расчёт и отображение статистик активов.
- EfficientFrontier — построение эффективной границы.
- PortfolioOptimizer — оптимизация портфеля по заданным критериям.
- SmartExplain — текстовые пояснения к составу портфеля.
- WhatIfAnalysis — интерактивный анализ изменения риска.
- ScenarioAnalysis — пересчёт параметров при изменении рыночных условий.
- ReportGenerator — формирование PDF-отчёта.

После загрузки данных пользователь переходит к расчёту статистики (рисунок 9).

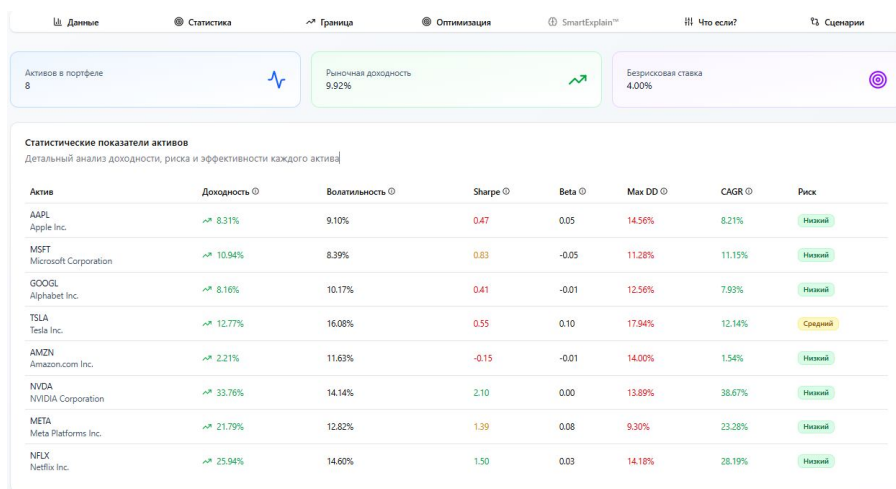


Рисунок 9 – Статистические показатели активов

Центральная визуализация — эффективная граница Марковица (рисунок 10).

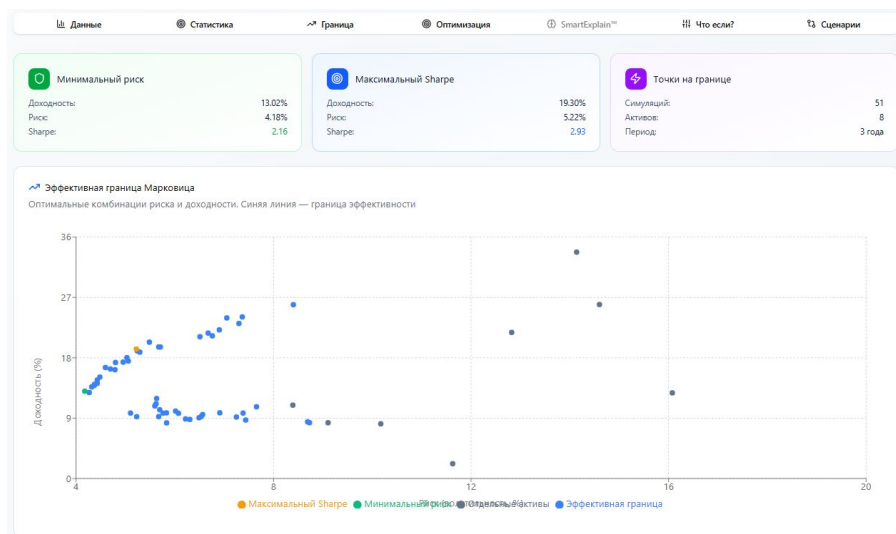


Рисунок 10 – Эффективная граница Марковица

Ключевая инновация — функция *SmartExplain™* (рисунок 11), которая текстово объясняет включение каждого актива (например, высокий коэффициент Шарпа). Это устраняет эффект «чёрного ящика».

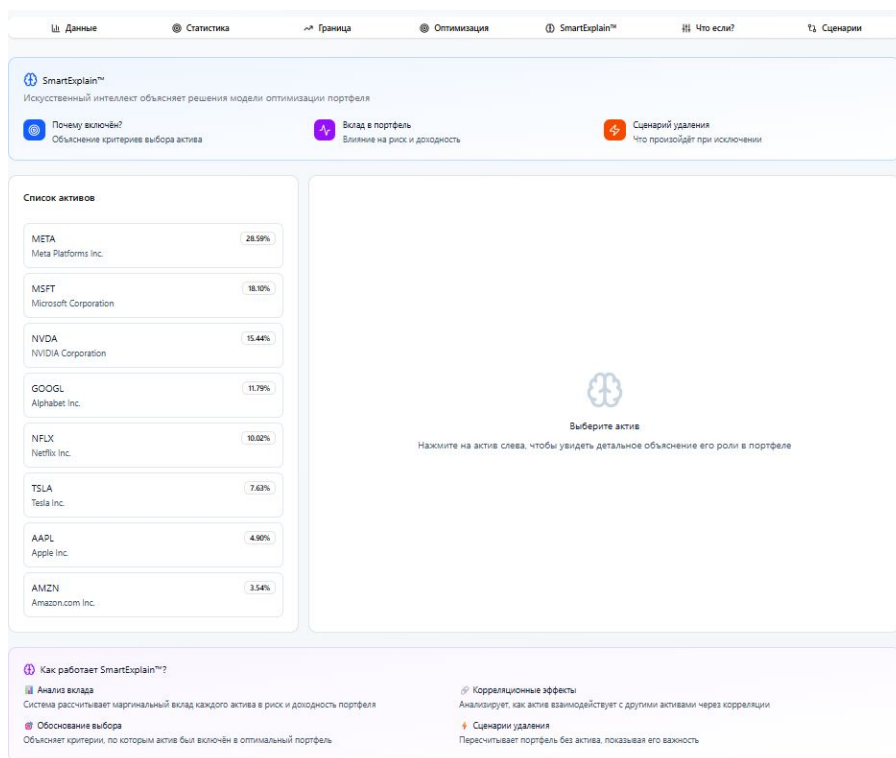


Рисунок 11 – Функция SmartExplain™

Финальный этап — генерация PDF-отчёта (SmartReport™) .

Тестирование проведено на трёх сценариях с использованием реальных данных Yahoo Finance API.

Сценарий 1 (новичок, демо-данные). Пользователь загружает демо-набор из 8 акций, выбирает сбалансированный профиль и получает рекомендации SmartExplain™.

Сценарий 2 (профессионал). Пользователь вводит тикеры или загружает Excel-файл. Приложение через API подтягивает котировки, рассчитывает матрицу и позволяет в режиме «Что если?» менять риск и мгновенно видеть пересчёт весов.

Сценарий 3 (кризис). Пользователь выбирает сценарий «Падение рынка на 10%». Приложение пересчитывает доходности, обновляет ковариационную матрицу и строит новую границу, перераспределяя портфель в пользу активов с низкой β .

Результаты подтверждают: PortOptima обеспечивает удобство, точность (соответствие математическим моделям), прозрачность (SmartExplain™) и гибкость (работа с API).

Разработанное приложение:

- реализует классические модели оптимизации в интуитивном интерфейсе;
- интегрируется с Yahoo Finance API для работы с актуальными котировками;
- предоставляет SmartExplain™ для объяснения решений;
- позволяет проводить анализ «Что если?» и сценарное моделирование;
- автоматически генерирует PDF-отчёты (SmartReport™).

PortOptima успешно протестировано, подтвердило практическую ценность для частных инвесторов и аналитиков, делая сложные финансовые расчёты доступными и понятными.

Заключение. В рамках магистерской работы решена задача разработки программного комплекса для оптимизации инвестиционного портфеля на основе моделей Марковица и CAPM.

По итогам работы достигнуты следующие результаты:

- Проведён анализ классических моделей оптимизации, выявлены их ограничения (статичность, чувствительность к параметрам, эффект «чёрного ящика»).
- Обоснованы архитектурные принципы алгоритма на основе CAPM с использованием коэффициента Шарпа в качестве целевой функции.
- Разработан и верифицирован на реальных данных (2021–2026) прототип на Python (среда Kaggle), включающий расчёт доходностей, волатильности, бета-коэффициентов, VaR, CVaR и максимальной просадки.
- Создано веб-приложение PortOptima (React.js + TypeScript) с модульной архитектурой, обеспечивающее загрузку данных, построение эффективной границы, выбор профиля инвестора, анализ «Что если?», сценарное моделирование и генерацию отчётов.
- Реализована функция SmartExplain™ для текстового объяснения рекомендаций, преодолевающая эффект «чёрного ящика».
- Выполнена демонстрация работы системы; на тестовой выборке портфель инвестора показал доходность 13,32% и коэффициент Шарпа 0,41.

Разработанный продукт подтвердил возможность создания единого инструмента, сочетающего математическую строгость, интерактивность и про-

зрачность. Работа создаёт основу для дальнейшего расширения (GARCH, учёт издержек, интеграция с брокерскими API).

Таким образом, поставленные цели и задачи выполнены в полном объёме, результаты обладают научной новизной и высокой практической значимостью для сферы количественного финансирования.