

ФИНАНСЫ

УДК 336.74(045)

ЖИГАЛОВА СВЕТЛАНА ВАЛЕРЬЕВНА

Магистрант кафедры прикладной математики,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия,
e-mail: svetlana.zhigalova00@mail.ru

ВЛАДИМИРОВА ДАРЬЯ БОРИСОВНА

к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной математики
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия,
e-mail: da0807@mail.ru

ПЕРВАДЧУК ВЛАДИМИР ПАВЛОВИЧ

д.т.н., профессор, Пермский национальный
исследовательский политехнический университет
г. Пермь, Россия,
e-mail: pervadchuk@mail.ru

DOI:10.26726/1812-7096-2024-5-290-301

АНАЛИЗ И СОПОСТАВЛЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ

Аннотация. В условиях современного рынка возникает необходимость наиболее выгодного вложения денежных средств в ценные бумаги с целью получения наибольшего дохода. В статье проводится сравнительный анализ основных методов, позволяющих сделать это наиболее эффективно. В основу исследования были положены цены на акции крупнейших компаний американского рынка за 2021 год. Из различных отраслей материального производства, IT, банковской сферы и отраслей социально-культурной ориентации выбирались по 2-3 крупных компании, таким образом формировался набор из 20 активов. На основе этих данных были реализованы модели построения оптимального портфеля в дистрибутиве языков python - Anasconda. Так, в первую очередь, для исследования по классической модели Марковица было сгенерировано 400000 случайных портфелей и далее выбран один из них (наиболее эффективный). Далее рассмотрению подлежала модель SARМ. Под влиянием некоторых субъективных позиций авторы определили интересный именно им набор активов, посредством которого далее нашли оптимальный портфель. Завершающим методом исследования стал алгоритм Элтона-Грубера-Падберга, который помог сформировать портфель с оптимальными показателями доходности и риска. Далее в работе был проведен сравнительный анализ данных методов, который показал все их достоинства и недостатки, а также раскрыл особенности применения каждого из них. Сравнив данные модели и их алгоритмы, были обнаружены некие взаимосвязи, которые также были описаны в статье. Далее, все полученные результаты были интерпретированы графически и проведено сравнение моделей по их основным показателям риска и доходности и сделаны выводы.

Ключевые слова: ценные бумаги, оптимальный портфель, модель Марковица, модель SARМ, алгоритм Элтона-Грубера-Падберга, коэффициент Шарпа.

ZHIGALOVA SVETLANA VALERYEVNA

*Master's Student of the Department of Applied Mathematics,
Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,
e-mail: svetlana.zhigalova00@mail.ru*

VLADIMIROVA DARIA BORISOVNA

*Ph.D. in Physics.-Matem.sc., Associate Professor of the Department
of Applied Mathematics Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia,
e-mail: da0807@mail.ru*

PERVADCHUK VLADIMIR PAVLOVICH

*Dr.Sc of Technical Sciences, Professor, Perm National
Research Polytechnic University, Perm, Russia,
e-mail: pervadchuk@mail.ru*

ANALYSIS AND COMPARISON OF RELEVANT METHODS IN THE FORMATION OF AN OPTIMAL SECURITIES PORTFOLIO

Annotation. *In the conditions of the modern market, there is a need for the most suitable investment of funds in securities in order to obtain the greatest income. The article provides a comparative analysis of the main methods that make it possible to do this most effectively. The study was based on the stock prices of the largest companies in the American market for 2021. 2-3 large companies were selected from various sectors of material production, IT, banking and socio-cultural orientation, thus forming a set of 20 assets. Based on these data, models for building an optimal portfolio in the python - Anaconda language distribution were implemented. So, first of all, 400,000 service portfolios were generated for the study using the classical Markowitz model and then one of them (the most effective) was selected. Next, the CAPM model was subject to review. Under the influence of some subjective positions, the authors identified a set of assets that were interesting to them, through which they found the optimal portfolio. The final research method was the Elton-Gruber-Padberg algorithm, which helped to form a portfolio with optimal indicators of profitability and risk. Further, a comparative analysis of these methods was carried out in the work, which showed all their advantages and disadvantages, as well as revealed the features of the application of each of them. Comparing these models and their algorithms, some relationships were discovered, which were also described in the article. Further, all the results obtained were interpreted graphically and models were compared according to their main risk and profitability indicators and conclusions were drawn.*

Keywords: *securities, optimal portfolio, Markowitz model, CAPM model, Elton-Gruber-Padberg algorithm, Sharpe coefficient.*

1. Введение

Фондовые рынки представляют собой место, где происходит купля-продажа ценных бумаг, таких как акции, облигации и другие финансовые инструменты. Они играют важную роль в экономике каждой страны, поскольку обеспечивают компаниям доступ к капиталу для развития и роста, а инвесторам предоставляют возможность получить доход от инвестиций.

С развитием технологий фондовые рынки становятся все более доступными и привлекательными для широкого круга инвесторов. Онлайн-платформы и мобильные приложения позволяют людям легко отслеживать и участвовать в торговле ценными бумагами независимо от их местоположения. Создание оптимального инвестиционного портфеля - это сложный и многогранный процесс, который требует внимательного анализа, оценки рисков и прогнозирования результатов. Инвесторы должны учитывать свои финансовые цели, уровень риска, ликвидность и другие факторы при выборе активов для своего портфеля. Кроме того, современные методы и модели анализа помогают инвесторам оптимизировать свои портфели и управлять рисками. Это вклю-

чает в себя технический и фундаментальный анализ, моделирование доходности и вариации ценных бумаг, а также использование диверсификации для снижения рисков.

Таким образом, фондовые рынки и создание инвестиционных портфелей остаются важными и актуальными аспектами финансовой деятельности, требующими постоянного анализа, обучения и развития. Математическое моделирование процессов эффективного управления доходностью и риском активно исследуется более полувека. Так, в работе Ковальчука А. И. [1] рассматривается проблема формирования так называемого самостоятельного инвестиционного портфеля из-за сложности математических методов и моделей, а также из-за необходимости затратить много времени на изучение материалов по биржевой торговле. Именно поэтому, большинство предпочитает готовые финансовые решения. Авторы статьи утверждают, что решением проблемы могут быть алгоритмы машинного обучения, которые эффективно прогнозируют цены акций и формируют оптимальные инвестиционные портфели. В исследовании Пономаревой Л.М. [2] составляется портфель из акций 79 российских компаний с помощью нейронной сети LSTM. Которая используется для прогноза ожидаемой доходности. Также используя портфельную теорию Марковица, определяется оптимальный портфель ценных бумаг. Использование нейронной сети облегчает жизнь инвестора, потому что ему не придется заниматься самостоятельным прогнозированием доходностей с помощью других известных методик. Сидорова О.И., Перевалова Л.Г., Воеводина М.С. [3] в своей работе показали сравнение двух подходов для формирования оптимального портфеля ценных бумаг: модели Марковица и рыночной модели. Авторы статьи проанализировали два метода, после чего сравнили результаты, получаемые по этим модели. Также Домбровский В.В., Егорычев Ф.Н. в своей статье [4] проводят сравнительный анализ методов для получения оптимального портфеля ценных бумаг. Однако, никто из перечисленных авторов не используют автоматизацию процесса формирования портфелей или программное комбинирование используемых методов анализа. Это приводит к долгим и сложным расчетам, но, что самое главное – любые малые изменения внешних условий процесса инвестирования порождают большие временные затраты на пересчет моделей в то время, когда на принятие верного инвестиционного решения зачастую отводятся лишь секунды. Также заметим, что большая часть авторов опираются в своих исследованиях только на одну модель формирования портфеля ценных бумаг, что, безусловно, сужает вариативность возможных результатов.

В рамках данного исследования осуществлена попытка использования комбинации методов формирования оптимального портфеля и их алгоритмизация. Это стало возможным благодаря созданию авторского программного модуля на языке программирования Python, реализации в нем нескольких модельных подходов с последующим автоматизированным сравнением полученных результатов и выбором наиболее предпочтительного варианта.

Задача решалась для реальных данных за 2021 год с применением программного обеспечения [5].

2. Решение задачи о формировании оптимального портфеля ценных бумаг

Для формирования портфеля были взяты 20 акций крупнейших компаний американского рынка каждой отрасли за 2021 год (Источник данных: <https://finance.yahoo.com/>). Для формирования диверсифицированного портфеля взяты акции крупнейших компаний каждой отрасли [6]. Для начала были рассмотрены основные отрасли США.

Для формирования портфеля были взяты 20 акций крупнейших компаний американского рынка каждой отрасли за 2021 год (Источник данных: <https://finance.yahoo.com/>). Для формирования диверсифицированного портфеля взяты акции крупнейших компаний каждой отрасли [6]. Для начала были рассмотрены основные отрасли США.

Первая рассматриваемая мной отрасль - Информационные технологии (Information Technology). В настоящее время данный сектор стремительно развивается, в нем собрано огромное количество «растущих акций». Компании, выбранные мной для анализа: Apple (AAPL), Microsoft (MSFT), NVIDIA (NVDA), VISA (V), MasterCard (MA).

Вторая отрасль, которая взята для анализа, очень важная для жизни любого человека - здравоохранение (Health Care). Этот сектор не так сильно зависит от экономики, кроме того пандемия

подняла акции данных компаний на новый уровень. Наиболее крупными компаниями этой отрасли являются: Johnson&Johnson (JNJ), UnitedHealth (UNH), Pfizer (PFE), Thermo Fisher Scientific (TMO), Eli Lilly (LLY).

Следующим не менее привлекательным для выбора данным сектором является сектор потребительских товаров вторичной необходимости (Consumer Discretionary). Данная отрасль характеризуется весомым экономическим воздействием. В этом секторе были выбраны компании: Amazon (AMZN), Tesla (TSLA), Home Depot (HD), Nike (NKE), McDonald's (MCD).

Четвертым сегментом являются коммуникационные услуги (Communication Services). Данная отрасль активно развивается в первую очередь за счет социальных сетей, которыми пользуются миллиарды людей по всему миру. В этом сегменте выделены компании: Alphabet (GOOG), X(Facebook) (FB2A.BE), Walt Disney (DIS), Netflix (NFLX), Comcast (CMCSA).

Финансовый сектор (Financials) играет очень важную роль в экономике страны. Эта отрасль сильно востребована малым и средним бизнесом. От того, как работает данный сектор зависит в целом вся экономика страны. Компании, выбранные для анализа: Berkshire Hathaway (BRK-B), JP Morgan (JPM), Bank of America (BAC), Wells Fargo (WFC), Morgan Stanley (MS).

Промышленная отрасль (Industrials) – одна из крупнейших отраслей экономики каждого государства, которая оказывает решающее воздействие на уровень развития производительных сил общества. Из этого сектора наиболее большими являются: United Parcel Service (UPS), Honeywell International (HON), Union Pacific (UNP), Raytheon Technologies (RTX), Boeing (BA).

И также рассмотрены и другие не менее значимые отрасли для экономики США:

Потребительские товары первой необходимости (Consumer Staples): Wal-Mart (WALM34.SA), Procter&Gamble (PG), Coca-Cola (KO), Costco Wholesale (COST).

Энергетика (Utilities): NextEra Energy (NEE), Duke Energy (DUK), Southern Co (SO), Dominion Energy (D), Exelon (EXC).

Материалы (Materials): Linde PLC (LIN), Sherwin-Williams(SHW), Air Products and Chemicals (APD), Ecolab (ECL), Freeport-McMoRan (FCX).

Недвижимость (Real Estate): American Tower (AMT), Prologis (PLD), Crown Castle International (CCI), Equinix (EQIX), Public Storage (PSA).

Нефть и газ (Energy): Exxon Mobil (XOM), Chevron (CVX), EOG Resources (EOG), Schlumberger (SLB).

Для исследования был построен график изменения цен на акции, но данные оказались плохо обусловленными, поэтому для дальнейшей работы мы построили график ежедневных доходностей, с помощью которого была проанализирована волатильность акций.



Рис.1. График ежедневных доходностей.

Такие компании как UPS (United Parcel Service), WFC (Wells Fargo), TSLA (Tesla) имеют достаточно рискованные акции, а PG (Procter & Gamble Co.), LIN (Linde PLC), KO (Coca-Cola), JNJ (Johnson&Johnson), DUK (Duke Energy), SHW (Sherwin-Williams) – самые стабильные из них (рис. 1).

2.1. Применение метода CAPM.

Исследование началось с формирования портфеля посредством модели CAPM. Она, как правило, является первым этапом при формировании портфеля и часто используется в паре с методом Г. Марковица [7]. В практике данная теория используется чаще всего для выбора активов из всего множества акций на рынке, а далее уже с помощью модели Г. Марковица формируется тот самый оптимальный портфель.

CAPM указывает, что ожидаемая доходность актива равна безрисковой доходности плюс премия за риск. Математически можно определить формулу CAPM следующим образом: если имеется N рискованных активов, то условие минимальной дисперсии: $E(R_i) = E(R_f) + [E(R_M) - E(R_f)]\beta_i, i = 1, \dots, N$. Здесь $E(R_f)$ - ожидаемая доходность активов, у которых рыночная бета равна нулю, что означает, что их доходность некоррелирована с рыночной доходностью, $E(R_M)$ - ожидаемая рыночная доходность, $E(R_i)$ - это ожидаемая доходность актива i , $\beta_i = \frac{cov(R_i, R_M)}{\sigma^2(R_M)}$ - рыночная бета актива i , - это ковариация его доходность с рыночной доходностью, деленная на дисперсию рыночной доходности. [8]

Реализовав модель CAPM, были получены значения ожидаемой доходности для каждой акции.

Наибольший интерес представляли акции, ожидаемая доходность которых $>17\%$. Тогда, после исключения из нашего портфеля акции компаний: AMT (American Tower), DUK (Duke Energy), JNJ (Johnson&Johnson), KO (Coca-Cola), PG (Procter & Gamble Co.), UNH (UnitedHealth), был получен лишь набор из 14 акций, а далее с помощью модели Марковица формировался оптимальный портфель (рис. 2).

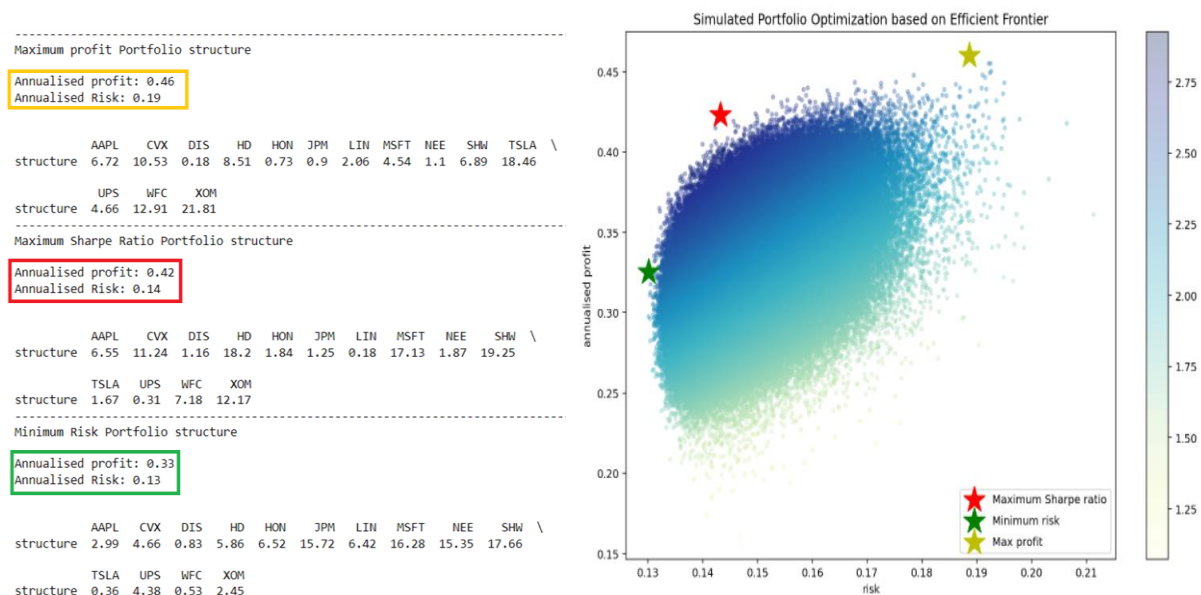


Рис.2. Структура множества оптимальных портфелей.

При построении данной модели были получены следующие результаты (рис. 2): портфель с максимальным коэффициентом Шарпа (детальнее о расчете этого коэффициента речь пойдет ниже) имеет доходность 42% при риске 14%, портфель с минимальным риском имеет доходность 33% при риске 13%, а портфель с максимальной доходностью имеет доходность 46%, при риске 19%. Таким образом, если выбирать стратегию с невысокой долей риска, то наиболее эффективным и сбалансированным портфелем по доходности является портфель с максимальным коэф-

фициентом Шарпа (рис. 2: красный цвет). Если же инвестор склонен к риску, то можно предложить ему выбрать портфель с максимальной доходностью (рис. 2: желтый цвет). Портфель с минимальным риском дал минимальную доходность (рис. 2: зеленый цвет).

2.2. Модель Марковица.

Целью модели является составление оптимального портфеля, то есть с минимальным риском и максимальной доходностью.

Чаще всего, решаются две задачи: максимизация доходности при заданном уровне риска и минимизация риска при минимально допустимом значении доходности [9].

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i w_j k_{ij} \sigma_i \sigma_j} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n w_i r_i > r_p \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ w_i \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n w_i r_i \rightarrow \max \\ \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i w_j k_{ij} \sigma_i \sigma_j} < \sigma_p \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ w_i \geq 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

Для составления портфеля решается оптимизационная задача (1), (2). При этом сумма долей активов равна единице, а доли эти положительны [10]. Для расчета доходности портфеля использована формула: $r_p = \sum_{i=1}^n w_i r_i$, где w_i - доля инструмента в портфеле, r_i - доходность инструмента. А для получения значения риска применим формулу: $\sigma_p =$

$\sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i w_j Cov_{ij}}$, где w_i - доля инструмента в портфеле, σ_i - среднеквадратичное отклонение доходности инструмента.

В рассматриваемом нами портфеле 20 акций. Одно решение, которое необходимо было принять, — это то, как распределить бюджет на каждую акцию в портфеле. Сгенерировав 400000 случайных портфелей и отобразив их на графике, несложно заметить эффективную границу (или границу Марковица). На ней находится множество эффективных портфелей (рис.3).

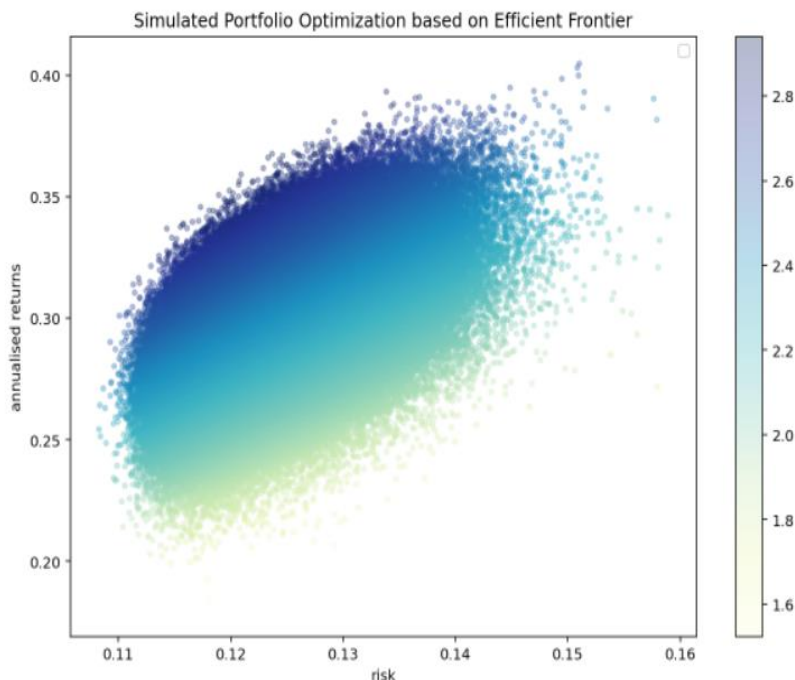


Рис. 3. Граница Марковица

2.3. Расчет Коэффициент Шарпа.

Коэффициент Шарпа используется для определения того, насколько хорошо доходность актива компенсирует принимаемый инвестором риск. При сравнении двух активов, имеющих оди-

наковую ожидаемую доходность, менее рискованным будет актив с более высоким коэффициентом Шарпа. Коэффициент Шарпа вычислялся с применением формулы (3) [11].

$$H = \frac{r_p - r_f}{\sigma_p} \quad (3)$$

Здесь r_p -ожидаемая доходность, σ_p - стандартное отклонение портфеля, r_f - безрисковая ставка.

Расчитав коэффициент Шарпа для каждого портфеля, его значения были учтены при формировании оптимального портфеля. Найденный портфель с максимальным коэффициентом Шарпа был отображен на карте фронта возможных портфелей специальным символом «красная звезда», с минимальным риском - символом «зеленая звезда», а портфель с максимальной доходностью – символом «желтая звезда» (рис.4). Все случайно сгенерированные портфели были также нанесены на карту, более интенсивный синий цвет означал большее значение коэффициента Шарпа. Программная реализация процесса расчета была организована так, что при обнаружении портфеля с самым высоким коэффициентом Шарпа, далее рассчитывались соответствующие веса, доходность и риск. Аналогичные шаги были проделаны и для остальных портфелей.

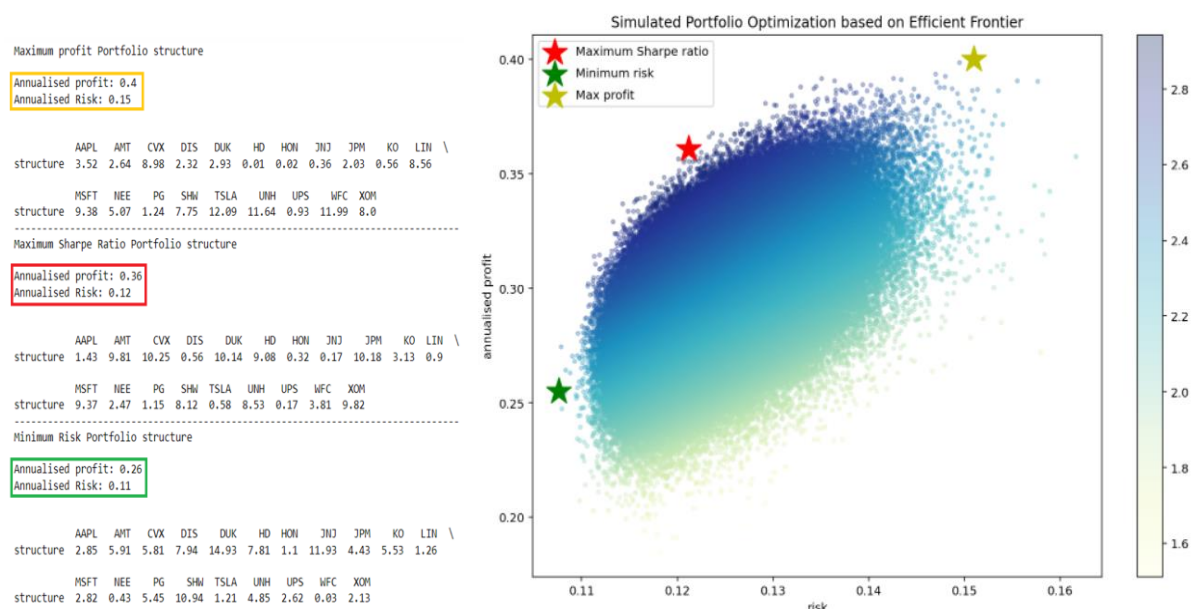


Рис. 4. Структура оптимальных портфелей.

По результатам расчета был получен портфель с максимальным коэффициентом Шарпа. Он имеет доходность 39% при риске 13%. При этом портфель с минимальным уровнем риска имеет доходность всего 26% при уровне риска 11%. При максимальной доходности - доходность - 40% при риске - 15%. Таким образом, как и ранее, оптимальным является портфель с максимальным коэффициентом Шарпа, так как его доходность чуть меньше, чем у портфеля с максимальной доходностью и при этом их риск не соразмерен.

Таким образом, путем генерирования многих возможных случайных портфелей и с помощью описанных моделей при постоянном расчете коэффициента Шарпа, отобрано 3 оптимальных портфеля, лучше всех отвечающие предъявляемым критериям отбора (рис.5).

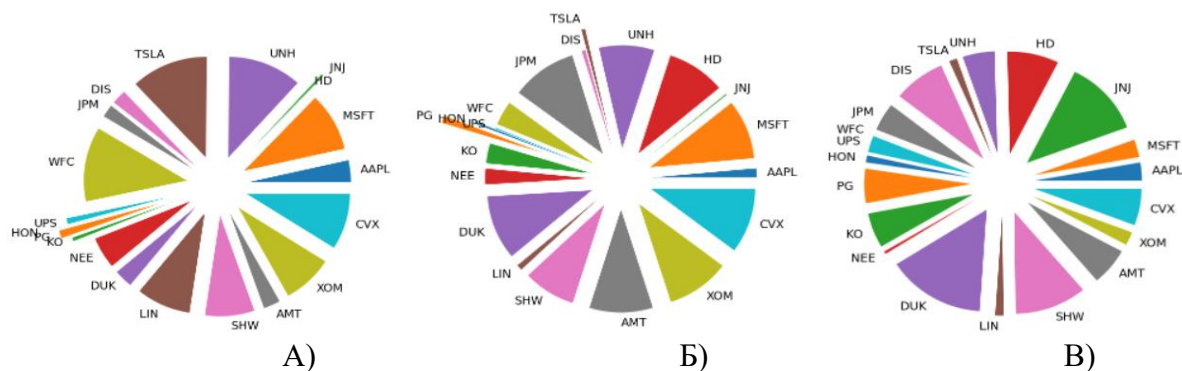


Рис.5. Диаграммы структуры портфелей: а) Портфель с максимальной доходностью, б) Портфель с максимальным коэффициентом Шарпа, в) Портфель с минимальным риском

Из диаграмм (рис. 5) мы видим, что большая часть бюджета в портфеле с минимальным риском сосредоточена в акциях компаний: DUK (Duke Energy), JNJ (Johnson&Johnson), SHW (Sherwin-Williams). Если еще раз вернуться к графику дневной доходности (рис.1), можно заметить, что акции этих компаний являются наименее изменчивыми среди всех. Доходность данного портфеля составляет 26%, при риске 11%. Но инвесторы с агрессивным риск-профилем готовы к максимальному риску. Поэтому в портфель с максимальной доходностью входят по большей мере наиболее нестабильные акции, такие как: TSLA (Tesla), WFC (Wells Fargo), а наиболее стабильные составляют меньшую часть портфеля. В этом случае доходность портфеля 40%, при риске 15%.

2.4. Реализация алгоритма Элтона-Грубера-Падберга.

Структура портфеля по алгоритму Элтона-Грубера-Падберга определяется путем расчета оценки $\theta = \frac{r_p - r_f}{\sigma_p}$, где r_p -ожидаемая доходность, σ_p - стандартное отклонение портфеля, r_f - доходность безрисковой ставки, причем $\theta \rightarrow \max$ [12].

Для реализации данного алгоритма были выполнены определенные шаги с последующим определением значений X_i , которые и являются долями ценных бумаг в портфеле (Таблица 1).

Таблица 1

Результаты алгоритма Элтона-Грубера-Падберга

	beta	RVOL	F	zi	xi	ri	xi*ri
DUK	0,23993	0,30920	0,07414	402,39306	0,08925	0,07419	0,00662
UNH	0,65155	0,24114	0,12193	649,30312	0,14401	0,15712	0,02263
HD	0,80567	0,23399	0,13942	745,25765	0,16529	0,18852	0,03116
SHW	0,72350	0,20978	0,14072	494,05364	0,10957	0,15177	0,01663
PG	0,37305	0,20436	0,13902	234,55012	0,05202	0,07624	0,00397
XOM	0,95624	0,20405	0,14086	598,19434	0,13267	0,19512	0,02589
AMT	0,62188	0,19163	0,14063	311,81883	0,06916	0,11917	0,00824
WFC	1,15995	0,18355	0,14134	487,92419	0,10821	0,21291	0,02304
CVX	0,89694	0,18183	0,14142	361,79716	0,08024	0,16309	0,01309
MSFT	1,15097	0,15621	0,14151	169,40546	0,03757	0,17979	0,00676
UPS	0,77622	0,14847	0,14149	54,168303	0,01201	0,11525	0,00138
			сумма	4508,8659	1		40,16793
							Доходность,%

После получения расчетных значений доходности и долей в инвестиционном портфеле, мы в среде разработки Anaconda провели расчет риска полученного портфеля. В результате был получен портфель акций с доходностью 40%, при риске 12,8%.

3. Результаты и их обсуждение

Изучение и анализ реализованных методов позволил составить сравнительную таблицу примененных методов и алгоритмов расчета оптимальных портфелей (Таблица 2), в которой, по мнению авторов, отражены сильные и слабые стороны каждого из реализованных алгоритмов. Красным цветом выделены недостатки, а зеленым - преимущества.

Таблица 2

Сравнительная таблица реализованных алгоритмов по изученным моделям

	Марковиц	САРМ	Элтон-Грубер-Падберг (EGP)
Сущность модели	Определяется соотношением доходности и риска.	Учитывает связь актива с рынком ценных бумаг.	Определяется наклоном прямой, проходящей через безрисковую ставку до каждого портфеля (устремляем к тах).
Область применения	Служит базовым этапом для формирования портфеля ценных бумаг.	Служит этапом для формирования портфеля ценных бумаг. Определяет только конкретные активы, которые будут входить в портфель.	Является самостоятельной моделью. Определяет и какие акции должны быть в портфеле и структуру самого портфеля.
Сложность вычислений	Высокая сложность вычислений.	Относительно простые вычисления.	Простые вычисления.
Количество вычислений	Большое количество вычислений, при большом количестве рассматриваемых акций.	Небольшое количество вычислений.	Небольшое количество вычислений.
Объем данных	Необходим большой объем информации.	Небольшой объем информации.	Небольшой объем информации.
Виды ценных бумаг	Портфель строится только по акциям.	На разных видах бумаг.	На разных видах бумаг.
Простота в использовании	Достаточно простой в использовании, несмотря на сложность вычислений.	Простой в использовании.	Простой в использовании. Требуется мало шагов.
Особенности технической реализации	Одновременная генерация большого числа портфелей.	Сложность точно посчитать бета.	Сложность точно посчитать бета.
Вариативность	Получаем множество портфелей, из которых инвестор может выбрать подходящий именно ему.	Получаем лишь ожидаемые доходности акций, но с последующим применением модели Марковица получим также множество портфелей.	Получаем один оптимальный портфель.
Риск	Выражен через средне-квадратичное отклонение.	Выражен через коэффициент бета.	Выражен через коэффициент бета.

Главным отличием данных моделей является область применения. Алгоритм EGP позволяет не только определить веса ценных бумаг в оптимальном портфеле, но и понять, какие именно активы должны войти в него. Тогда как реализация по модели Марковица в итоге не имеет отбора акций из портфеля, речь здесь ведется только о распределении весов акций в портфеле.

Модель САРМ, наоборот, производит отбор акций. Реализация по этой модели показывает, какие акции могут принести требуемую норму ожидаемой доходности, но при этом не решает основной задачи. Модель не подбирает веса, с которыми акции должны войти в портфель.

Также данные модели имеют некоторые связи, схожие шаги в алгоритме или последовательность в применении методов. Данные связи показаны на рис. 6, представленном ниже:

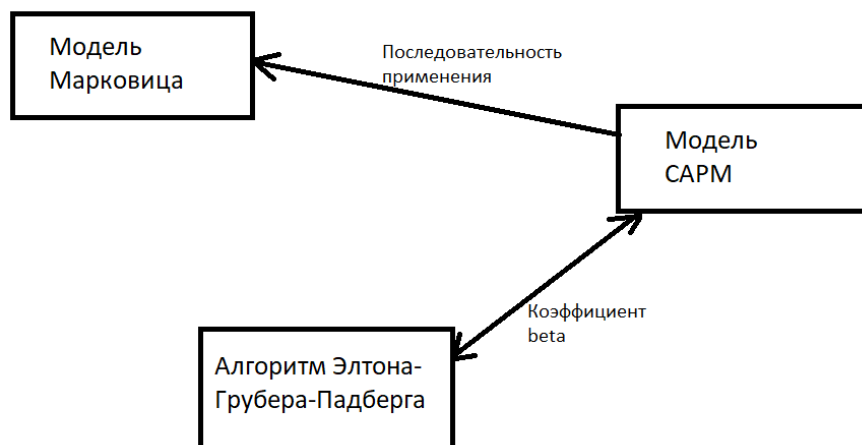


Рис.6. Выявленные взаимосвязи реализованных моделей.

По данной схеме заметно, что модели CAPM и Марковица связывает последовательное применение, а модели CAPM и Элтона-Грубера-Падберга – расчет коэффициента бета, который необходим для реализации обеих моделей.



Рис.7. Сравнение результатов моделирования (доходность-> max)

На рис. 7 показано сравнение результатов численного моделирования по расчету доходности и риска по ряду исследованных моделей. Критерием качества здесь выступает максимизация доходности. При сравнении полученных результатов можно заметить, что все портфели показали доходность, близкую к 40%. При этом расчетный уровень риска имел более заметные расхождения в значениях.

4. Заключение

В работе, на основе статистических данных, представляющих цены акций ведущих компаний рынка США, проведено формирование оптимальных портфелей ценных бумаг. Рассчитаны портфели с минимальными рисками, с максимальной доходностью и гибридный портфель с риск-скорректированной доходностью. Для реализации задач оптимизации были использованы алгоритмы CAPM, Марковица и Элтона-Грубера-Падберга, а также рассчитан коэффициент Шарпа. Полученные результаты позволили провести сравнительный анализ применяемых алгоритмов и выявить предпочтения для расчета аналогичных портфелей в будущем.

Литература

1. А. И. Ковальчук, Е. А. Разумовская *Современные методы формирования оптимального инвестиционного портфеля, методы машинного обучения* / А. И. Ковальчук, Е. А. Разумовская [Текст] // *Весенние дни науки : сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых.* — Екатеринбург, 21–23 апреля 2022 г.: УрФУ, 2022. — С. 1172-1176.
2. Л. М. Пономарева, С. Г. Шорохов *Построение оптимального инвестиционного портфеля с прогнозом доходностей активов методами машинного обучения* [Текст] / Л. М. Пономарева, С. Г. Шорохов // *Молодой ученый.* — 2023. — № 21 (468). — С. 131-135.
3. О. И. Сидорова, Л. Г. Перевалова, М. С. Воеводина *Сравнительный анализ двух методов формирования портфеля ценных бумаг* [Текст] / О. И. Сидорова, Л. Г. Перевалова, М. С. Воеводина // *Вестник ТвГУ.* — 2021. — № 1. — С. 48–58.
4. Домбровский, В. В., Егорычев, Ф. Н. *Сравнение стратегий управления портфелем ценных бумаг* [Текст] / В. В. Домбровский, Ф. Н. Егорычев // *Вестник Томского государственного университета.* — 2000. — № 271. — С. 138-141.
5. Яворски Михал, Зиаде Тарек Python. *Лучшие практики и инструменты* [Текст] / Яворски Михал, Зиаде Тарек — 3-е изд.. — Санкт-Петербург: Питер, 2021 — 560 с.
6. Никитин К. В. *Готовый портфель акций для инвесторов на 2022 год. Только для инвесторов* [Текст] / Никитин К. В. — . — : Издательское решение, 2022 — 11 с.
7. Фама, Ю. Ф., Френч, К. Р. *Модель ценообразования капитальных активов (САРМ): теория и доказательств* [Текст] / Ю. Ф. Фама, К. Р. Френч // *Журнал экономических перспектив.* — 2004. — № . — С. 25-46.
8. Аскинадзи, В. М. *Инвестиции: учебник для вузов* [Текст] / Аскинадзи, В. М. — 3-е изд.. — Москва: Издательство Юрайт, 2024 — 386 с. — стр. 152
9. Шарп, У. Ф. *Теория портфеля и рынки капитала* [Текст] / У. Ф. Шарп — 3-е изд.. — N.Y. : McGraw-Hill, 1970 — 316 с.
10. Марковиц, Х. М. *Выбор портфеля* [Текст] / Х. М. Марковиц // *Финансовый журнал.* — 1952. — № 7. — С. 77-91.
11. Т. В. Никитина, А. В. Репета-Турсунова, М. Фрёммель, А. В. Ядрин *Основы портфельного инвестирования: учебник для вузов* [Текст] / Т. В. Никитина, А. В. Репета-Турсунова, М. Фрёммель, А. В. Ядрин — 2-е изд.. — Москва: Издательство Юрайт, 2024 — 195 с.
12. Элтон Э.Дж., Грубер М.Дж., Браун С.Дж., Гетцманн У.Н *Современная портфельная теория и инвестиционный анализ* [Текст] / Элтон Э.Дж., Грубер М.Дж., Браун С.Дж., Гетцманн У.Н — . — : , 1995 — с. , стр. 290-309.

References

1. I. Kovalchuk, E. A. Razumovskaya *Modern methods of optimal investment portfolio formation, machine learning methods* / A. I. Kovalchuk, E. A. Razumovskaya [Text] // *Spring Days of Science : Collection of reports of the International Conference of Students and Young Scientists.* - Ekaterinburg, April 21-23, 2022:UrFU, 2022. - C. 1172-1176.
2. L. M. Ponomareva, S. G. Shorokhov *Construction of the optimal investment portfolio with the forecast of asset returns by machine learning methods* [Text] / L. M. Ponomareva, S. G. Shorokhov // *Young Scientist.* - 2023. - № 21 (468). - C. 131-135.
3. O. I. Sidorova, L. G. Perevalova, M. S. Voyevodina *Comparative analysis of two methods of securities portfolio formation* [Text] / O. I. Sidorova, L. G. Perevalova, M. S. Voyevodina // *Vestnik TvSU.* - 2021. - № 1. - C. 48-58.
4. Dombrovsky, V. V., Egorychev, F. N. *Comparison of strategies of securities portfolio management* [Text] / V. V. Dombrovsky, F. N. Egorychev // *Vestnik of Tomsk State University.* - 2000. - № 271. - C. 138-141.
5. Jaworski Michal, Ziade Tarek Python. *Best practices and tools* [Text] / Jaworski Michal, Ziade Tarek - 3rd ed. - St. Petersburg: Peter, 2021 - 560 c.
6. Nikitin K. V. *Ready portfolio of shares for investors for 2022. Only for investors* [Text] / Nikitin K. V. B. - . - : Publisher's Solution, 2022 - 11 c.
7. Fama, Y. F., French, K. R. *Capital Asset Pricing Model (CAPM): Theory and Evidence* [Text] / Y. F. Fama, K. R. French // *Journal of Economic Perspectives.* - 2004. - № . - C. 25-46.
8. Askinadzi, V. M. *Investments: a textbook for universities* [Text] / Askinadzi, V. M. - 3rd ed. - Moscow: Yurait Publishing House, 2024 - 386 c. - pp. 152

9. Sharpe, W. F. *Theory of portfolio and capital markets [Text]* / W. F. Sharpe. F. Sharpe - 3rd ed. - N.Y.. McGraw-Hill, 1970 - 316 с.
10. Markowitz, H. M. *Portfolio Selection [Text]* / H. M. Markowitz // *Financial Journal*. - 1952. - № 7. - С. 77-91.
11. T. V. Nikitina, A. V. Repeta-Tursunova, M. Frömmel, A. V. Yadrin *Fundamentals of portfolio investment: a textbook for universities [Text]* / T. V. Nikitina, A. V. Repeta-Tursunova, M. Frömmel, A. V. Yadrin - 2nd ed. - Moscow: Yurait Publishing House, 2024 - 195 с.
12. Elton E.J., Gruber M.J., Brown S.J., Getzmann W.N *Modern portfolio theory and investment analysis [Text]* / Elton E.J., Gruber M.J., Brown S.J., Getzmann W.N - . - : , 1995 - с. , pp. 290-309.