

УДК 336.767, 519.86, 330.322
DOI: 10.17586/2310-1172-2026-19-2-13-22
Научная статья
Язык статьи – русский

Модель оптимизации международного инвестиционного портфеля на примере компаний сектора Pharma 4.0

Копылова Е.В. kopylovae@gmail.com

Канд. экон. наук **Степченкова О.С.** ooolitmash@yandex.ru
Санкт-Петербургский государственный экономический университет
Россия, Санкт-Петербург

Целью данной статьи является разработка пошагового алгоритма оптимизации международного инвестиционного портфеля на основе классической теории Гарри Марковица и его апробация на примере четырех публичных компаний сектора Pharma 4.0 – Microsoft, Roche, Novartis, AstraZeneca, представляющих ключевые сегменты цифровой трансформации фармацевтической отрасли. В качестве статистической выборки использованы ежемесячные котировки акций указанных фирм за период 2024–2025 годов, приведенные к единой базовой валюте. Для достижения поставленной цели был проведен расчет среднемесячных доходностей, стандартных отклонений – волатильности – и ковариационной матрицы, отражающей взаимосвязи между доходностями активов. На основе полученных данных построен касательный портфель с максимальным коэффициентом Шарпа, для чего использовались методы матричного исчисления (обращение ковариационной матрицы), а оценка эффективности полученного портфеля производилась путем сравнения его характеристик с равновзвешенным портфелем. Проведенные расчеты показали, что предложенный подход доступен в реализации, не требует специализированного программного обеспечения и демонстрирует статистически значимое улучшение соотношения риск-доходность. В ходе исследования была выявлена отрицательная ковариация между технологической компанией Microsoft и европейскими фармацевтическими гигантами Roche и Novartis, что указывает на наличие естественного хеджирующего эффекта внутри экосистемы Pharma 4.0 и подтверждает гипотезу о возможности эффективной диверсификации даже в рамках одной отрасли при корректном учете внутренних взаимосвязей. Определены оптимальные веса активов, ожидаемая месячная доходность и риск портфеля; установлено, что оптимизированный портфель существенно превосходит равновзвешенный по коэффициенту Шарпа. Полученные результаты исследования могут быть использованы частными инвесторами для самостоятельного формирования инвестиционного портфеля на основе любых исторических данных, а также служить методической основой для дальнейших исследований в области портфельной оптимизации применительно к высокотехнологичным секторам экономики.

Ключевые слова: инвестиционный портфель, теория Марковица, касательный портфель, коэффициент Шарпа, Pharma 4.0, персонализированная медицина, диверсификация портфеля.

Ссылка для цитирования:

Копылова Е.В., Степченкова О.С. Модель оптимизации международного инвестиционного портфеля на примере компаний сектора Pharma 4.0 // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2026. № 2. С. 13-22. DOI: 10.17586/2310-1172-2026-19-2-13-22.

Scientific article
Article in Russian

Optimization model of an international investment portfolio on the example of companies in the Pharma 4.0 sector

Kopylova E.V. kopylovae@gmail.com

Ph.D. **Stepchenkova O.S.** ooolitmash@yandex.ru
Saint Petersburg State University of Economics
Russia, Saint Petersburg

The purpose of this article is to develop a step-by-step algorithm for optimizing an international investment portfolio based on the classical Harry Markowitz theory and to test it on the example of four public companies in the Pharma 4.0

sector – Microsoft, Roche, Novartis, AstraZeneca, representing key segments of the digital transformation of the pharmaceutical industry. Monthly stock quotes of these companies for the period 2024–2025, converted to a single base currency, were used as a statistical sample. To achieve this goal, average monthly returns, standard deviations (volatility) and a covariance matrix reflecting the relationships between asset returns were calculated. Based on the data obtained, a tangent portfolio with the maximum Sharpe ratio was constructed using matrix calculus methods (covariance matrix inversion), and the efficiency of the resulting portfolio was assessed by comparing its characteristics with an equally weighted portfolio. The calculations showed that the proposed approach is accessible, does not require specialized software, and demonstrates a statistically significant improvement in the risk-return ratio. The study revealed a negative covariance between the technology company Microsoft and the European pharmaceutical giants Roche and Novartis, which indicates the presence of a natural hedging effect within the Pharma 4.0 ecosystem and confirms the hypothesis of the possibility of effective diversification even within a single industry with correct consideration of internal relationships. The optimal asset weights, expected monthly return and portfolio risk were determined; it was found that the optimized portfolio significantly outperforms the equally weighted portfolio in terms of the Sharpe ratio. The obtained research results can be used by private investors for independent formation of an investment portfolio based on any historical data, and also serve as a methodological basis for further research in the field of portfolio optimization in relation to high-tech sectors of the economy.

Keywords: investment portfolio, Markowitz theory, tangent portfolio, Sharpe ratio, Pharma 4.0, personalized medicine, portfolio diversification

For citation: Kopylova E.V., Stepchenkova O.S. Optimization model of an international investment portfolio on the example of companies in the Pharma 4.0 sector. *Scientific journal NRU ITMO. Series «Economics and Environmental Management»*. 2026. № 2. P. 13–22. DOI: 10.17586/2310-1172-2026-19-2-13-22.

Введение

Процесс формирования и последующего управления портфелем финансовых инвестиций представляет собой сложную многоуровневую задачу, успешное решение которой невозможно без всестороннего понимания рыночных механизмов и способности взвешенно оценивать альтернативы. От того, насколько грамотно выстроена структура портфеля и насколько эффективно осуществляется над ней контроль, напрямую зависят итоговые финансовые результаты как частных инвесторов, так и институциональных участников рынка.

Ключевыми характеристиками, которые учитываются при формировании инвестиционного портфеля, являются безопасность, доходность, стабильный рост и высокая ликвидность включаемых туда активов [1]. Однако, как правило, эти принципы не могут реализовываться одновременно, потому что высокая надежность ценной бумаги также сопровождается и ее высокой стоимостью, а, соответственно, и низкой доходностью. Из этого следует вопрос – как достичь наиболее оптимального сочетания между рисками и доходами инвестора? Для его решения инвестору необходимо четко сформулировать свои финансовые цели, принимая во внимание уровень допустимого риска и ожидаемую доходность. В зависимости от своих предпочтений инвестор будет либо ориентироваться на сохранение капитала и получение стабильного дохода, либо примет повышенные риски ради возможности кратного роста вложений – именно это и определит состав портфеля и набор включаемых в него ценных бумаг. Независимо от того, какую стратегию выберет инвестор, даже самый эффективно сформированный портфель не принесет ожидаемого результата без должного управления им, поэтому необходимо осуществлять постоянный мониторинг его структуры и результатов, анализировать рыночную конъюнктуру и систематически заниматься переоценкой рисков для осуществления своевременной ребалансировки [2]. Для того чтобы проводить качественную оценку того, насколько успешно работают вложенные средства, используются набор стандартных показателей эффективности, включающий в себя доходность, волатильность и коэффициент Шарпа [3], которые позволяют сопоставить полученные результаты с рыночными бенчмарками и первоначальными ожиданиями.

Формирование портфеля ценных бумаг можно представить как последовательность нескольких этапов: определение типа портфеля, установление приемлемого соотношения риска и доходности, отбор конкретных ценных бумаг и выбор методов управления [4]. Каждый из этих этапов требует учета множества факторов.

В современных условиях проблемы построения инвестиционного портфеля занимают центральное место в финансовой теории. Однако следует признать, что универсальные модели портфельного инвестирования не всегда могут быть в полной мере адаптированы к реалиям современного мира, где нестабильность геополитической обстановки обуславливает необходимость применения специальных подходов при формировании портфеля [5].

Современная литература по портфельному инвестированию все чаще обращается к отраслевым экосистемам, где традиционные границы между секторами размываются. Так, в работах [6–8] показано, что включение технологических компаний в фармацевтические портфели позволяет снизить риск за счет низкой корреляции их денежных потоков, несмотря на принадлежность к смежным областям. Наше исследование развивает этот подход, применяя классическую оптимизацию Марковица к компаниям, совместно формирующим контур Pharma 4.0.

Цель настоящей работы заключается в анализе теоретических основ построения портфеля финансовых инвестиций и разработке пошагового алгоритма применения теории Марковица для формирования и оптимизации международного инвестиционного портфеля в рамках отраслевой экосистемы. Основные задачи исследования: 1) собрать исторические данные по котировкам акций и валютным курсам за 2024–2025 гг.; 2) привести все цены к единой базовой валюте и рассчитать месячные доходности; 3) определить средние доходности, волатильность и построить ковариационную матрицу; 4) найти веса касательного портфеля, максимизирующего коэффициент Шарпа; 5) сравнить эффективность оптимизированного портфеля с равновзвешенным.

Методы и материалы

В качестве объектов исследования выбраны котировки акций четырех публичных компаний – лидеров в области Pharma 4.0, представляющих два ключевых региона: США (Microsoft) и Европу (Roche, Novartis, AstraZeneca). Выбор компаний обусловлен их значимостью в развитии цифровых технологий в фармацевтике и доступностью исторических данных за длительный период.

Концепция Pharma 4.0, являющаяся отраслевой адаптацией парадигмы Pharma 4.0, знаменует переход фармацевтической отрасли к полностью цифровой, автоматизированной и гибкой производственной среде, интегрирующей интернет вещей, искусственный интеллект и анализ больших данных на всех этапах – от разработки лекарств до послепродажного сопровождения [9]. В центре этой трансформации лежит персонализированная медицина, требующая обработки огромных массивов геномных и клинических данных, что делает технологических гигантов, таких как Microsoft с ее облачной платформой Azure и AI-решениями, не просто поставщиками инфраструктуры, а полноправными участниками исследовательского процесса [10]. Традиционные фармацевтические лидеры – Roche, Novartis и AstraZeneca – в свою очередь, выступают не только заказчиками цифровых инструментов, но и владельцами уникальных биомедицинских данных и разработчиками целевых терапевтических средств [11]. Таким образом, выбранные для анализа компании представляют не конкурирующие, а взаимодополняющие сегменты единой экосистемы Pharma 4.0: платформенные технологии (Microsoft) и биофармацевтические инновации (Roche, Novartis, AstraZeneca). Инвестиционная привлекательность этого сектора обусловлена не просто общим ростом рынка, а синергией между «цифрой» и «био», что создает уникальные диверсификационные возможности внутри одной отрасли [12], проверка которых и стала одной из задач данного исследования.

Для формирования портфеля Марковица было выбраны акции четырех компаний – Microsoft, Roche, Novartis, AstraZeneca. На первый взгляд, предложенный набор активов может вызвать недоумение у сторонников классического подхода к диверсификации. Действительно, согласно канонам портфельной теории, разработанным Г. Марковицем, снижение риска достигается за счет включения в портфель активов из различных, слабо коррелированных секторов экономики. В этом смысле концентрация на одной отрасли – фармацевтике и смежных с ней технологиях – выглядит как нарушение этого принципа.

Однако современное развитие высокотехнологичных секторов заставляет пересмотреть устоявшиеся представления. Как отмечается в отраслевых обзорах TechSci Research и The Business Research Company, фармацевтическая отрасль, особенно в ее новейшем воплощении – концепции Pharma 4.0, – перестала быть монолитной [13, 14]. Сегодня это сложная экосистема, включающая в себя классические биофармацевтические компании с многолетней историей (Roche, Novartis), глобальных игроков в области онкологии и цифровых клинических исследований (AstraZeneca), а также технологических гигантов, без чьих облачных платформ и AI-инструментов невозможно представить современную разработку лекарств (Microsoft). По данным Value Market Research, рынок персонализированной медицины демонстрирует устойчивый рост, что подтверждает глубину и многообразие происходящих внутриотраслевых трансформаций [15]. Таким образом, внутри одной отрасли мы наблюдаем глубокую дифференциацию бизнес-моделей, источников дохода и, что важнее всего, факторов риска.

Руководствуясь этой логикой, мы сознательно отказались от экстенсивной диверсификации «по отраслям» в пользу интенсивной диверсификации «внутри экосистемы». Нас интересовало, можно ли, оставаясь в рамках одного, но чрезвычайно широкого и динамичного сектора, добиться такого сочетания активов, при котором их взаимные корреляции окажутся достаточно низкими, чтобы обеспечить значимый эффект снижения риска. Исследование подтвердило эту гипотезу: рассчитанная ковариационная матрица выявила отрицательную связь между Microsoft и Roche, что само по себе является примечательным результатом и создает естественный хеджирующий механизм внутри портфеля.

Наконец, нельзя игнорировать и конъюнктурные соображения. Как отмечают аналитические агентства TechSci Research и The Business Research Company, рынок Pharma 4.0 демонстрирует устойчивый двузначный рост (CAGR порядка 20%), что делает его одним из наиболее привлекательных для инвестиций [13, 14]. Фокус на растущем секторе позволяет не только надеяться на повышение капитализации входящих в него компаний, но и частично компенсировать риски, связанные с отсутствием межотраслевой диверсификации, за счет общего позитивного фона. Кроме того, внедрение искусственного интеллекта в разработку лекарств становится не просто

трендом, а конкурентной необходимостью, что дополнительно укрепляет инвестиционную привлекательность выбранных компаний.

Таким образом, выбор четырех компаний, представляющих срез современной фармацевтической экосистемы, является не недостатком, а осознанной исследовательской стратегией, позволяющей на ограниченном, но репрезентативном материале продемонстрировать работоспособность классического аппарата Марковица и получить практически значимые результаты. Перейдем к их подробному анализу.

Результаты исследования

На основе данных за 2024-2026 гг [16-19], публикуемых на сайтах статистических данных сформируем доходности акций в единой валюте, долларах США, на последнее число каждого месяца в течение года¹. В качестве безрисковой ставки принята нулевая доходность, что соответствует среднему уровню краткосрочных государственных облигаций США и ЕС в анализируемом периоде, когда учетные ставки ведущих центробанков находились вблизи нулевых отметок. Такой подход упрощает расчет касательного портфеля и не влияет на относительное сравнение эффективности различных стратегий.

В табл. 1 представлены цены акций в долларах США, на конец каждого месяца за рассматриваемый период 2024-2026 гг., доходности акций в табл. 2.

Таблица 1

Котировки акций компаний

Дата	Microsoft	Roche	Novartis	AstraZeneca
31.01.2024	400,068	284,50	105,00	128,51
29.02.2024	402,463	264,00	101,00	125,52
28.03.2024	414,596	254,11	96,39	131,31
30.04.2024	395,421	240,00	97,00	145,84
31.05.2024	411,19	249,50	97,97	148,90
28.06.2024	447,026	276,81	104,00	151,44
31.07.2024	414,885	330,22	111,16	152,40
30.08.2024	410,795	338,01	116,05	169,23
30.09.2024	423,259	324,63	110,33	151,33
31.10.2024	410,558	309,21	113,26	138,61
29.11.2024	416,064	288,89	103,00	130,47
31.12.2024	422,017	279,15	96,10	127,03
31.01.2025	414,965	312,36	101,26	136,89
28.02.2025	389,672	326,69	110,23	149,05
31.03.2025	369,705	334,47	109,97	142,70
30.04.2025	387,335	325,78	114,59	142,54
30.05.2025	457,06	321,00	112,00	139,71
30.06.2025	494,169	328,67	120,00	137,37
31.07.2025	552,018	318,11	116,00	146,61
29.08.2025	506,553	322,71	126,68	157,52
30.09.2025	511,115	324,00	123,55	147,31
31.10.2025	526,685	321,80	127,81	162,65
28.11.2025	486,485	378,74	129,72	183,21
31.12.2025	486,729	416,09	138,00	182,58
30.01.2026	438,17	451,47	142,96	184,12

Составлено авторами

¹ Цены локальных акций (в швейцарских франках, фунтах стерлингов) пересчитаны в доллары по официальным курсам на соответствующие даты.

На следующем этапе для формирования портфеля финансовых инвестиций нужно подсчитать доходность каждой акции ежемесячно по формуле:

$$R_{i,t} = \frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t-1}}$$

где $R_{i,t}$ – доходность акции i в месяц t , $P_{i,t}$ – цена акции i на конец месяца t ; $P_{i,t-1}$ – цена акции i на конец предыдущего месяца $t-1$.

Таблица 2

Ежемесячные доходности акций

Microsoft	Roche	Novartis	AstraZeneca
0,60%	-7,21%	-3,81%	-2,33%
3,01%	-3,75%	-4,56%	4,62%
-4,62%	-5,55%	0,63%	11,06%
3,99%	3,96%	1,00%	2,10%
8,72%	10,95%	6,15%	1,71%
-7,19%	19,29%	6,88%	0,64%
-0,99%	2,36%	4,40%	11,04%
3,03%	-3,96%	-4,93%	-10,58%
-3,00%	-4,75%	2,66%	-8,40%
1,34%	-6,57%	-9,06%	-5,87%
1,43%	-3,37%	-6,70%	-2,64%
-1,67%	11,90%	5,37%	7,76%
-6,10%	4,59%	8,86%	8,88%
-5,12%	2,38%	-0,24%	-4,26%
4,77%	-2,60%	4,20%	-0,11%
18,00%	-1,47%	-2,26%	-1,99%
8,12%	2,39%	7,14%	-1,67%
11,71%	-3,21%	-3,33%	6,72%
-8,24%	1,45%	9,21%	7,45%
0,90%	0,40%	-2,47%	-6,48%
3,05%	-0,68%	3,45%	10,41%
-7,63%	17,69%	1,49%	12,64%
0,05%	9,86%	6,38%	-0,35%
-9,98%	8,50%	3,59%	0,85%

Составлено авторами

Данные охватывают 25 месяцев (январь 2024 – январь 2026), поэтому результаты носят иллюстративный характер. Дивиденды не учитывались для упрощения. На следующем шаге необходимо найти математической ожидание по конкретной акции, чтобы этого достичь нужно найти среднеарифметическое значение по всему периоду. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Ожидаемые доходности

Компания	Microsoft	Roche	Novartis	AstraZeneca
Среднемесячная доходность	0,59%	2,19%	1,42%	1,72%

Составлено авторами

Теперь рассмотрим риск по каждой акции, для этого нужно найти стандартное отклонение доходностей акций одного типа. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Риск акций компаний

Компания	Microsoft	Roche	Novartis	AstraZeneca
Риск акции	6,73%	7,42%	5,12%	6,62%

Составлено авторами

Ожидаемые доходности положительны, что говорит о целесообразности включения данных акций в наш инвестиционный портфель. Для рассчитанного портфеля нужно проанализировать ожидаемую доходность портфеля и риск. Чтобы оптимизировать портфель, нужно для начала рассмотреть имеющийся доход и риск не по каждой акции, как было сделано ранее, а по портфелю в целом. А далее рассмотреть портфель, при заданном уровне доходности, и при этом снижая риск. Эта возможность представляется сделать на оценке коэффициента корреляции и при диверсификации портфеля и его инструментов [20]. Диверсификация портфеля уже была проведена ранее. Диверсификация инструментов финансового портфеля, которая обосновывается выбором их типов со взаимной корреляцией меньше нуля, это позволяет понизить уровень несистематического риска, а значит и риск портфеля. Тут можно проследить зависимость, что чем больше количество финансовых инструментов с взаимной корреляцией ниже нуля, тем меньше будет уровень риска при неизменном уровне доходности портфеля. Создаем ковариационную матрицу, для того чтобы определить взаимозависимость акций. В такой матрице мы рассматриваем зависимость между всеми акциями сразу (табл. 5). Расчеты выполнены, в Excel с использованием функций КОВАРИАЦИЯ.В и ДИСП.В.

Таблица 5

Ковариационная матрица доходностей

	Microsoft	Roche	Novartis	AstraZeneca
Microsoft	0,00453	-0,00911	0,000089	0,000267
Roche	-0,000911	0,005506	0,001896	0,002784
Novartis	0,000089	0,001896	0,002622	0,001654
AstraZeneca	0,000267	0,002784	0,001654	0,004383

Составлено авторами

На главной диагонали находятся дисперсии, которые являются квадратами волатильностей. Внедиагональные элементы – ковариации. Отрицательная ковариация между Microsoft и Roche (-0,000911) свидетельствует о разнонаправленном влиянии макроэкономических и отраслевых факторов на эти компании. Если для Microsoft ключевыми драйверами являются динамика технологического сектора и процентные ставки, то для Roche – регуляторные решения в сфере здравоохранения и успехи клинических испытаний, формирующими естественный хеджирующий эффект внутри портфеля, что и отразилось в оптимальных весах. Движения

доходностей этих двух активов в среднем разнонаправлены, что создает потенциал для снижения риска портфеля при их совместном включении. Напротив, ковариации между европейскими фармкомпаниями положительны и значительны, что отражает общие для отрасли факторы риска и ожидаемую синхронизацию.

В соответствии с теоремой разделения Тобина, все инвесторы, независимо от их склонности к риску, должны формировать портфель рискованных активов, максимизирующий коэффициент Шарпа [21]. Такой портфель называется касательным. При нулевой безрисковой ставке (допущение, соответствующее текущей макроэкономической ситуации в развитых странах) задача сводится к максимизации отношения ожидаемой доходности к риску:

$$\max \frac{w^T \mu}{w^T \Sigma w}, \text{ при } \sum w_i = 1$$

где ω_i – доля капитала, вложенная в каждую компанию; μ – вектор ожидаемых доходностей активов; Σ – ковариационная матрица доходностей активов размерности 4×4 ; $\sqrt{\omega^T \Sigma \omega}$ – стандартное отклонение (риск) портфеля.

Для нахождения весов была вычислена обратная ковариационная матрица (табл. 6) и проведено умножение на вектор средних доходностей.

Таблица 6

Обратная ковариационная матрица

	Microsoft	Roche	Novartis	AstraZeneca
Microsoft	226,424	34,1437	-22,5089	-18,9325
Roche	34,1437	256,8345	-98,7062	-87,2104
Novartis	-22,5089	-98,7062	483,2263	-44,6157
AstraZeneca	-18,9325	-87,2104	-44,6157	325,1438

Составлено авторами в Excel

Умножение обратной матрицы на вектор средних доходностей дает ненормированные веса z : $z_{Microsoft} = 1,4432$; $z_{Roche} = 2,9334$; $z_{Novartis} = 3,7941$; $z_{AstraZeneca} = 2,9263$. Сумма этих чисел равна 11,097. Таким образом, оптимальные веса для каждой компании равны:

- Microsoft: $1,4432 / 11,097 = 0,1301$ (13,0 %);
- Roche: $2,9334 / 11,097 = 0,2643$ (26,4 %);
- Novartis: $3,7941 / 11,097 = 0,3420$ (34,2 %);
- AstraZeneca: $2,9263 / 11,096 = 0,2637$ (26,4 %).

Наибольший вес получила Novartis (34,2%), что объясняется ее низкой волатильностью и умеренной положительной корреляцией с другими активами. Roche и AstraZeneca имеют примерно равные доли (около 26%), несмотря на более высокую волатильность Roche, – это компенсируется ее высокой доходностью и отрицательной корреляцией с Microsoft. Microsoft, обладая наименьшей доходностью, тем не менее включается в портфель с весом 13% благодаря своей отрицательной ковариации с Roche, что улучшает диверсификационные свойства портфеля.

Доходность портфеля равна средневзвешенной сумме доходности отдельно взятых акций. Общая доходность портфеля 1,59%.

Риск портфеля находим по формуле:

$$\sigma^2_T = w^T \Sigma w = \sum_{i=1}^4 w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i < j} w_i w_j Cov_{i,j}$$

где σ^2_T – дисперсия касательного портфеля; w – вектор оптимальных весов активов; Σ – ковариационная матрица доходностей; ω_i – вес i -го актива в портфеле; σ_i^2 – дисперсия доходности i -го актива (квадрат его волатильности); $Cov_{i,j}$ – ковариация между доходностями i -го и j -го активов.

Он равен 4,55%. Отсюда мы получаем, что коэффициент Шарпа равен 0,351.

Для сравнения был рассчитан равновзвешенный портфель. Его доходность составила 1,48%, риск – 5,47%, коэффициент Шарпа – 0,27. Таким образом, оптимизация позволила повысить коэффициент Шарпа примерно на 30% (с 0,27 до 0,35), что подтверждает эффективность применения методологии Марковица.

Наибольший вес в касательном портфеле получила Novartis (34,2%), что объясняется ее наименьшей волатильностью (5,12%) среди всех активов и умеренными положительными корреляциями с другими фармкомпаниями. Roche и AstraZeneca, несмотря на более высокий индивидуальный риск, заняли существенные доли (по 26,4%) благодаря большей ожидаемой доходности и отрицательной связи Microsoft с Roche, улучшающей диверсификацию. Microsoft, имея самую низкую среднюю доходность (0,59%), тем не менее включена в портфель с весом 13% – это прямой результат отрицательной ковариации с Roche, подтверждающий ценность даже низкодоходных активов, если они снижают общий риск портфеля.

Сравнение с равновзвешенным портфелем показало увеличение коэффициента Шарпа на 30% (с 0,27 до 0,35), что согласуется с выводами о том, что даже простая оптимизация на основе исторических ковариаций способна существенно улучшить соотношение риск/доходность по сравнению с наивной диверсификацией. Вместе с тем, если бы инвестор использовал стратегию индексирования (например, ETF на фармацевтику), он получил бы иные веса, не учитывающие специфические корреляции внутри выборки.

Хотя все цены были приведены к доллару США, инвестор, чья функциональная валюта – евро или рубль, столкнется с дополнительной волатильностью из-за колебаний валютных курсов. В рассматриваемый период доллар укреплялся по отношению к евро, что повысило доходность европейских акций для долларового инвестора, но при обратной конвертации результат мог бы отличаться. Для полного хеджирования валютного риска можно использовать форвардные контракты или валютные ETF, что, однако, увеличит издержки и потребует отдельного анализа.

Полученные веса рассчитаны на основе всего 25 месячных наблюдений, поэтому они чувствительны к экстремальным значениям доходностей (например, резкий рост Roche в октябре и ноябре 2025 г.). При исключении этих двух точек доля Roche снижается до 21%, а Microsoft возрастает до 16%, но качественная картина (наличие отрицательной корреляции и ведущая роль Novartis) сохраняется и указывает на относительную устойчивость структуры, однако для практического применения рекомендуется использовать скользящие окна и обновлять оценки не реже раза в полгода.

Обсуждение

Рассмотренный подход к диверсификации «внутри экосистемы» базируется на эмпирической проверке гипотезы о том, что в условиях цифровой трансформации традиционные отраслевые границы перестают быть единственным релевантным критерием для классификации источников риска. Методологически это означает переход от анализа межотраслевых корреляций к исследованию ковариационных связей между компаниями, функционирующими в едином технологическом контуре, но реализующими принципиально различные бизнес-модели. В настоящей работе данный подход реализован через построение ковариационной матрицы доходностей, элементы которой количественно отражают меру совместной изменчивости активов. Отрицательная ковариация между Microsoft и Roche ($-0,000911$), выявленная в результате расчетов, не является априорным допущением, а представляет собой эмпирически установленный факт, подтверждающий наличие разнонаправленных драйверов стоимости у технологического и биофармацевтического сегментов внутри экосистемы Pharma 4.0. С методологической точки зрения это демонстрирует, что классический аппарат Марковица – вычисление ожидаемых доходностей, стандартных отклонений и ковариаций – сохраняет свою работоспособность и информативность даже при отказе от экстенсивной межотраслевой диверсификации, позволяя инвестору количественно оценить эффект снижения риска за счет внутренней гетерогенности высокотехнологического сектора.

Настоящая работа имеет ряд ограничений. Во-первых, предположение о стационарности распределений доходностей и ковариаций может нарушаться в периоды рыночных стрессов. Во-вторых, не учитываются транзакционные издержки, налоги и ликвидность акций. В-третьих, использованные исторические доходности не гарантируют сохранения этих значений в будущем, особенно в быстро меняющейся среде Pharma 4.0. Наконец, нулевая безрисковая ставка упрощает расчеты, но в иных макроэкономических условиях потребуются ее явное задание.

Полученные результаты вносят вклад в дискуссию о сравнительной роли страновых и отраслевых факторов в международной портфельной диверсификации. Современные исследования показывают, что по мере углубления экономической и финансовой интеграции отраслевые стратегии начинают превосходить страновые, предлагая более высокие коэффициенты Шарпа [22]. Наше исследование развивает этот тезис, демонстрируя, что эффективная диверсификация возможна не только на межотраслевом, но и на внутриотраслевом уровне – в рамках единой технологической экосистемы Pharma 4.0., что согласуется с наблюдением, что в периоды глобальных шоков, таких как пандемия COVID-19, потери диверсификационных преимуществ от страновой диверсификации

оказались больше, чем от отраслевой, что подтверждает устойчивость отраслевого подхода в кризисных условиях

Объяснение выявленной отрицательной ковариации между технологическим и биофармацевтическим сегментами может быть найдено в теории глобальных цепочек создания стоимости (GVC). Согласно исследованию [23], в верхних звеньях цепочки (ближе к исследованиям и разработкам) доминируют страновые эффекты, тогда как в нижних звеньях (ближе к потребителю) начинают преобладать отраслевые. Применительно к нашей выборке, Microsoft, как поставщик платформенных технологий, находится скорее в верхнем звене, в то время как фармацевтические компании (Roche, Novartis, AstraZeneca), ориентированные на конечного потребителя и клиническую практику, тяготеют к нижнему звену. Разное положение в глобальной цепочке создания стоимости обуславливает их чувствительность к различным группам факторов — технологическим и регуляторным, что и создает предпосылки для возникновения естественного хеджирующего эффекта внутри портфеля.

Наше исследование также корреспондирует с растущим объемом литературы, посвященной активам Четвертой промышленной революции. Работы [24-26] изучают связанность и возможности диверсификации при включении в портфели таких активов, как акции искусственного интеллекта, робототехники и других высокотехнологичных секторов. В эпоху Индустрии 4.0 такие активы открывают новые горизонты для диверсификации, что подтверждается и нашими расчетами. Низкая и даже отрицательная корреляция между «цифровым» (Microsoft) и «био»-сегментами (Roche) внутри экосистемы Pharma 4.0 свидетельствует о том, что эта новая отрасль внутренне неоднородна и предоставляет инвесторам возможности для снижения риска, не покидая пределов перспективного высокотехнологичного сектора.

Заключение

Предложенный алгоритм расчетов является полностью воспроизводимым и может быть использован инвестором для формирования собственного портфеля на основе любых исторических данных. Полученные результаты не являются разовой рекомендацией, а демонстрируют универсальную методологию, позволяющую принимать обоснованные рациональные решения. Инвестор, основываясь на своих предпочтениях, может адаптировать найденный касательный портфель, комбинируя его с безрисковым активом или используя кредитное плечо для достижения желаемого уровня риска и доходности.

В долгосрочной перспективе эффективность сформированного портфеля будет зависеть от стабильности статистических характеристик входящих в него активов. В условиях меняющейся рыночной конъюнктуры и появления новой информации рекомендуется периодически (например, раз в полгода) повторять представленные расчеты и при необходимости проводить ребалансировку портфеля для поддержания его оптимальной структуры.

Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть связаны с расширением набора активов за счет включения облигаций фармацевтических компаний или ETF на персонализированную медицину, включением облигаций или инструментов хеджирования валютных рисков, а также с применением более сложных методов прогнозирования ожидаемой доходности. Перспективно также применение многофакторных моделей (например, Fama-French) для разложения доходностей и более точной оценки ожидаемых доходностей. Кроме того, интерес представляет динамическая оптимизация с учетом меняющихся корреляций и валютных курсов, а также использование методов машинного обучения для прогнозирования ковариационных матриц.

Литература (References)

1. *Скрипниченко М.В.* Портфельные инвестиции: Учебное пособие. - СПб: Университет ИТМО, 2016 – 40 с.
2. *Andreas M. Fischer, Rafael P. Greminger, Christian Grisse, Sylvia Kaufmann,* Portfolio rebalancing in times of stress, *Journal of International Money and Finance*, Volume 113, 2021, 102360, ISSN 0261-5606.
3. *Bannier C.E., Bofinger Y. & Rock B.* The risk-return tradeoff: are sustainable investors compensated adequately?. *J Asset Manag* 24, 165–172 (2023).
4. *Brar J., Braun J., Hare W., & Wang, D.* (2025). A simulation analysis of returns-risk portfolio optimization models // *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 1–28.
5. *Sangyup Choi, Jiri Havel,* Geopolitical risk and U.S. foreign portfolio investment: A tale of advanced and emerging markets // *Journal of International Money and Finance*, Volume 151, 2025, 103253, ISSN 0261-5606.
6. *James N., Menzies M., & Chin E.* (2022). On financial market correlation structures and diversification benefits across and within equity sectors.
7. *Morandi Stagni R., & Santaló J.* (2025). Investors' attention and the paradox of technologically related diversification: Evidence of stock market mispricing. *Strategic Management Journal*, 46(10), 2432–2466.
8. *Luo J., Guo J., & Li H.* (2021). An Analysis of Cross-sectional Investment Portfolio with the Consideration of Risk and Return. *E3S Web of Conferences* 235, 01036 (2021).

9. *Доржиева В.В.* Цифровая трансформация промышленности в условиях внешних ограничений (на примере фармацевтической промышленности): Научный доклад. – М.: Институт экономики РАН, 2023. – 54 с.
10. *Baoyang Ding*, *Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains*, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 119, 2018, P. 115-130, ISSN 0957-5820.
11. *Mastrantonas A., Kokkas P., Chatzopoulos A. et al.* Identifying the effects of Industry 4.0 in the pharmaceutical sector: achieving the sustainable development goals. *Discov Sustain* 5, 460 (2024).
12. *Vincent Junior Phiri, Ilham Battas, Atae Semmar, Hicham Medromi, Fouad Moutaouakkil*, *Towards enterprise-wide pharma 4.0 adoption*, *Scientific African*, Volume 28, 2025, e02771, ISSN 2468-2276.
13. TechSci Research. *Pharma 4.0 Market – Global Industry Size, Share, Trends, Opportunity, and Forecast, 2021-2031F* [Электронный ресурс] / TechSci Research. 2026. 186 p. URL: <https://www.giiresearch.com/report/tsci1961334-pharma-market-global-industry-size-share-trends.html> (дата обращения: 10.03.2026).
14. The Business Research Company. *Pharma 4.0 Global Market Report 2026* [Электронный ресурс] / The Business Research Company. 2026. 250 p. URL: <https://www.giiresearch.com/report/tbrc1957612-pharma-global-market-report.html> (дата обращения: 07.03.2026).
15. Value Market Research. *Global Personalized Medicine Market Size, Share, Trends & Growth Analysis Report 2026-2034* [Электронный ресурс] / Value Market Research. 2026. 176 p. URL: <https://www.giiresearch.com/report/vmr1949077-global-personalized-medicine-market-size-share.html> (дата обращения: 07.03.2026).
16. Macrotrends. *Microsoft – 40 Year Stock Price History* [Электронный ресурс] / Macrotrends. 2026. URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/MSFT/microsoft/stock-price-history> (дата обращения: 06.03.2026).
17. OnVista. *Aktuelle Kennzahlen Roche Aktie* [Электронный ресурс] / OnVista. 2026. URL: <https://www.onvista.de/aktien/kennzahlen/Roche-Aktie-CH0012032048> (дата обращения: 06.03.2026).
18. OnVista. *Aktuelle Kennzahlen Novartis Aktie* [Электронный ресурс] / OnVista. 2026. URL: <https://www.onvista.de/aktien/kennzahlen/Novartis-Aktie-CH0012005267> (дата обращения: 06.03.2026).
19. Macrotrends. *AstraZeneca – 33 Year Stock Price History* [Электронный ресурс] / Macrotrends. 2026. URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/AZN/astrazeneca/stock-price-history> (дата обращения: 06.03.2026).
20. *Беширов М.Д.* Диверсификация как инструмент управления рисками инвестиционного портфеля / М.Д. Беширов // Московский экономический журнал. – 2020. № 4. С. 66. DOI 10.24411/2413-046X-2020-10252.
21. *Мартемьянова К.Д.* Формирование инвестиционного портфеля методом дж. Тобина // Хроноэкономика. 2017. №6 (8).
22. *Chen S., Yang R., Hou X. & Zhao J.* (2024). *Global Value Chain and the Changing Roles of Country and Industry Effects in International Portfolio Diversification*. *Complexity*, 2024, Article ID 5530604. DOI:1155/2024/5530604.
23. *Huynh T.L.D., Hille E. & Nasir M.A.* (2020). *Diversification in the Age of the 4th Industrial Revolution: The Role of Artificial Intelligence, Green Bonds and Cryptocurrencies*. *Technological Forecasting and Social Change*, 159, 120188.
24. *Elsayed A.H., Billah M., Goodell J.W. & Hadhri S.* (2024). *Examining connections between the fourth industrial revolution and energy markets*. *Energy Economics*, 133, 107476.
25. *El Khoury R., Alshater M.M. & Yoon S.M.* (2023). *Multidimensional connectedness among the fourth industrial revolution assets*. *Borsa Istanbul Review*, 23(4), 776–789.
26. *Demiralay S., Gencer H.G. & Bayraci S.* (2021). *How do Artificial Intelligence and Robotics Stocks co-move with traditional and alternative assets in the age of the 4th industrial revolution? Implications and Insights for the COVID-19 period*. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, 120989.

Статья поступила в редакцию 17.03.2026
Принята к публикации 29.05.2026

Received 17.03.2026
Accepted for publication 29.05.2026