

А. А. ЕФРЕМОВ, ГО ЮЙ

ПРИНЯТИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ НА РЫНКЕ КРИПТОВАЛЮТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МАРКОВИЦА И ПРЕДОБУЧЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к формированию оптимального инвестиционного портфеля на рынке криптовалют, включая классические методы технического анализа. Изучены тенденции развития глобального рынка цифровых финансовых активов. Рассмотрены различные трактовки понятия инвестиционной стратегии. Особый акцент сделан на модели Марковица. Рассмотрены ее базовая версия и модификация для криптофьючерсов и криптоопционов. Выполнена компьютерная реализация модели, проведены численные эксперименты с последующей содержательной интерпретацией полученных результатов. Разработан алгоритм решения задачи нелинейной оптимизации с использованием предобученных нейронных сетей и фреймворка Pytorch. Кроме того, рассмотрены альтернативные подходы к оптимизации портфеля криптовалют.

Ключевые слова: принятие решений, нелинейная оптимизация, инвестиции, цифровые финансовые активы, криптовалюты, портфельная теория, модель Марковица, модель Шарпа, предобученные нейронные сети

Введение

В эпоху Web 3.0 цифровые финансовые активы (ЦФА) – криптовалюты, токенизированные активы и другие формы децентрализованных инструментов – стали ключевым драйвером трансформации глобальной экономики. По данным аналитических отчетов Chainalysis за 2025 год [2], объем торгов ЦФА превысил 10 трлн долларов США, что на 45 % больше, чем в предыдущем периоде, однако волатильность этих рынков остается экстремальной: среднесуточные колебания цен достигают 5–15 %.

Широкое распространение криптовалют привело к их повсеместному использованию. По сравнению с акциями, облигациями, паевыми инвестиционными фондами и драгоценными металлами криптовалюты гораздо более гибки в использовании. Монеты BTC и ETH – это больше чем просто инвестиционные активы, они являются формой виртуальных денег. Все больше магазинов, ресторанов, банков уже принимают платежи в криптовалюте, и ожидается только большее признание цифровых денег в качестве платежного инструмента. Кроме этого, стоит отметить, что ряд государств на законодательном уровне приняло криптовалюты как законные средства платежа наравне с национальной фиатной валютой. На наш взгляд, это служит доказательством надежности и дальнейшего развития криптовалют и повсеместное их применение. Это обеспечивает большую гибкость и свободу для инвестора, включая возможность превращать свои активы в товары и услуги одним щелчком мыши.

В Республике Беларусь в 2017 году был принят новаторский Декрет № 8, который подробно описывал систему налогообложения по криптовалютным операциям и механизм их регулирования со стороны государства [1]. Криптовалюту в Беларуси продавать и покупать можно совершенно законно. Важно особо подчеркнуть тот факт, что Беларусь стала первым государством в мире, узаконившим криптовалюты, и первой страной, которая официально зарегистрировала понятие смарт-контракта – компьютерного алгоритма, предназначенного для формирования, управления и предоставления информации о владении чем-либо.

Цель настоящей статьи – разработать и апробировать модель формирования портфеля криптовалют на основе математического аппарата нелинейного программирования и предобученных нейронных сетей для принятия экономически обоснованных инвестиционных решений на рынке ЦФА.

Обзор подходов к принятию инвестиционных решений на рынке криптовалют

Инвестиционная стратегия – план, по которому инвестор покупает и продает различные ценные бумаги либо иные виды активов, в том числе ЦФА [3]. Он включает в себя цель инвестиций, их временной промежуток, выбор инструментов и правила их покупки или продажи. Можно дать и другие определения инвестиционной стратегии, они представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Определения инвестиционной стратегии

Можно сказать, что инвестиционная стратегия – это подробный план действий, который помогает:

- не совершать импульсивных действий;
- выбирать какие ЦФА купить, какие – продать, а также когда именно;
- спрогнозировать примерную доходность на основе истории котировок;
- осознанно принимать собственные решения, а не копировать сделки других инвесторов.

На настоящий момент можно констатировать, что традиционные методы принятия инвестиционных решений, основанные на фундаментальном и техническом анализе (в частности, японские свечи [4], волны Эллиота [5, 6], уровни Фибоначчи [7], полосы Боллинджера [8], осцилляторы RSI и Stochastic [9] и др.), часто оказываются недостаточно эффективными в условиях асимметричной информации, рыночного шума и действия поведенческих факторов, что приводит к систематическим ошибкам в прогнозировании и разработке трейдинговой стратегии.

Прикладной искусственный интеллект (в частности, технологии глубокого обучения) предлагает мощный инструмент для преодоления этих ограничений. Сегодня нейронные сети, эволюционировавшие от простых (однослойных) перцептронов к глубоким архитектурам (LSTM, Transformer, GAN), демонстрируют превосходство в обработке нелинейных зависимостей, больших объемов высокочастотных данных и выявлении скрытых паттернов. В контексте ЦФА предобученные нейронные сети успешно применяются для прогнозирования цен (например, модели на базе Gated Recurrent Units), оценки рисков и оптими-

зации портфелей, как показано в работах [10] и [11], где точность предсказаний превышала 70 % на данных Bitcoin и Ethereum. В работе [12] рассматривается комбинация средств технического анализа и рекуррентных нейронных сетей для построения успешной торговой стратегии.

Несмотря на прогресс, существующие исследования фокусируются преимущественно на краткосрочном трейдинге, игнорируя долгосрочные инвестиционные стратегии и интеграцию мультимодальных данных (тексты из соцсетей, on-chain метрики, макроэкономические индикаторы).

Для разработки инвестиционной стратегии в аспекте формирования портфеля криптовалют могут применяться различные подходы. Наиболее классическим из них считается портфельная теория Марковица. Разработанная Гарри Марковицем методика формирования инвестиционного портфеля, направленная на оптимальный выбор активов, исходя из требуемого соотношения доходность/риск [12]. Как правило, решается две задачи: максимизация доходности при заданном уровне риска и минимизация риска при минимально допустимом значении доходности.

Доходность портфеля ЦФА измеряется как средневзвешенная сумма доходностей, входящих в него криптовалют, по формуле:

$$r_p = \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_i, \quad (1)$$

где r_i – доходность i -го ЦФА, w_i – доля ЦФА в портфеле.

Риск отдельного инструмента оценивается как среднее квадратичное отклонение его доходности. Для расчета общего риска портфеля необходимо отразить совокупное изменение рисков отдельного инструмента и их взаимное влияние, что нашло отражение в следующей формуле:

$$\delta_p = \sqrt{w_i \cdot w_j \cdot V_{ij}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \cdot \sigma_i^2 + 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i \cdot w_j \cdot k_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j}, \quad (2)$$

где σ_i – стандартное отклонение доходностей i -го ЦФА, k_{ij} – коэффициент корреляции между i -м и j -м ЦФА, V_{ij} – ковариация доходностей i -го и j -го ЦФА, n – количество потенциально рассматриваемых для включения в инвестиционный портфель ЦФА.

Таким образом, в рамках грамотным образом скомбинированного портфеля риски снижаются за счет обратной корреляции входящих в его состав ЦФА (эффект диверсификации).

Для составления портфеля решаются задачи нелинейной оптимизации в двух базовых постановках. Модель для минимизации риска портфеля криптовалют при заданном уровне его доходности $\hat{r}_p$ имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n w_i^2 \cdot \sigma_i^2 + 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i \cdot w_j \cdot k_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_i \geq \widehat{r}_p, \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1, \\ w_i \geq 0. \end{array} \right. , \quad (3)$$

Модель для максимизации доходности портфеля криптовалют при заданном уровне его риска $\widehat{\sigma}_p$ имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_i \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^n w_i^2 \cdot \sigma_i^2 + 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i \cdot w_j \cdot k_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j \leq \widehat{\sigma}_p, \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1, \\ w_i \geq 0. \end{array} \right. \quad (4)$$

Следует отметить, что при интерпретации результатов оптимизации нужно учитывать делимость монет (что избавляет от необходимости добавления условия целочисленности). Так, например, 1 биткоин делится на 100 млн сатоши, и потому его значение может указываться с 8 знаками после запятой.

Апробация модели

Основной проблемой компьютерной реализации моделей (3) и (4) является их нелинейный характер, а также возрастающая сложность при росте количества рассматриваемых инструментов. Так,

встроенный в Excel «Поиск решения» имеет существенные ограничения на размерность задач, решаемых методом ОПГ (обобщенного приведенного градиента). Альтернативой может стать эволюционный поиск решения, т.к. на управляемые переменные легко накладываются ограничения в виде двойного неравенства (доли бумаг в портфеле варьируются от 0 до 1). Однако и в этом случае возможны сбои в работе оптимизационных алгоритмов. К тому же указанные ограничения не всегда выполняются, о чем мы подробнее расскажем ниже.

В связи с этими обстоятельствами возникает необходимость в создании подхода, позволяющего быстро и эффективно находить оптимальное решение. В этом случае можно обратиться к аппарату предобученных нейронных сетей, в которых поставленные задачи могут быть реализованы с использованием специализированного фреймворка Руомо, который предназначен для нахождения близкого к оптимальному решения на основе методов глубокого обучения и средств языка Python. Руомо использует open-source решения, включая натренированные на аналогичных задачах математического программирования алгоритмы и специализированные программы-солверы.

Следующим этапом является подготовка исходных данных для проведения численного эксперимента. Прежде всего необходимо выбрать криптовалюты для потенциального инвестирования. На сегодняшний день около 60 % капитализации глобального рынка ЦФА приходится на Биткоин (BTC), хотя в последние годы и другие проекты демонстрируют заметный рост. Любопытным является тот факт, что в «медвежьих» фазах этот показатель растет, подчеркивая роль BTC как «безопасной гавани» для криптоинвесторов. Среди остальных ЦФА (так называемых альткоинов) доминирующие позиции занимает Эфириум (ETH) – около 16 % от общего рынка. Ключевые характеристики сегментов рынка ЦФА и их основные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные сегменты рынка ЦФА

Сегмент рынка	Доля, %	Основные примеры	Краткая характеристика
BTC	58–60	Bitcoin	«Цифровое золото», относительно низкая волатильность ($\sigma \sim 40\%$), ETF-драйвер (определяет динамику трейдинга других ЦФА)
ETH & Layer1	15–18	Ethereum, Solana, BNB	Основаны на смарт-контрактах и концепции DeFi
Альткоины	20–25	Top-50 (DOGE, XRP, ADA и др.)	Высокий риск/доходность (спекулятивные инструменты)
Стейблкоины	7–10	USDT, USDC, DAI	Ликвидность, объем торгов > 50 %
Токенизированные	2–5	RWA (Real World Assets) – активы, имеющие реальное обеспечение (например, недвижимость, облигации)	Реальные активы, регулирующиеся со стороны государства

Для демонстрации работы модели Марковица рассмотрим механизм формирования оптимального портфеля из семи потенциальных криптовалют. По ито-

гам решения оптимизационных задач (3) и (4) при заданных нами исходных условиях мы получим долю каждого из инструментов в оптимальном инвестиционном

портфеле. Результаты решения оптимизационных задач (3) и (4) представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2. Результаты решения задачи максимизации доходности портфеля с включением высокодоходного криптоактива

Криптоактив	Доля в портфеле
BITCOIN	0.00 %
ETHEREUM	0.00 %
SOLANA	0.00 %
HYPERLIQUID	3.02 %
THE-OPEN-NETWORK	0.00 %
MANTLE	0.00 %
MONERO	0.00 %
ZCASH	96.98 %
Коэффициент Шарпа (годовой)	1,815

Любопытно, что в данном случае модель рекомендует приобретать в основном «второстепенный» актив, хотя для потенциального включения в портфель рассматривались и такие «мастодонты» крипторынка, как Биткоин и Эфириум. Этот парадокс можно объяснить тем, что Zcash демонстрировал в краткосрочной ретроспективе небольшой прирост, что на фоне общего падения рынка интерпретировалось моделью Марковица как высокий уровень доходности. Таким образом, очевидным является тот факт, что предлагаемый подход может применяться лишь для принятия инвестиционных решений на самую ближайшую перспективу. Для более долгосрочных вложений следует проводить комплексный анализ рыночной конъюнктуры, включающий идентификацию макротрендов.

Если одна из монет обладает значительно большим ростом относительно других исследуемых монет, то модель Марковица создаст портфель из одной монеты. В связи с этим рассмотрим модель с добавлением дополнительного ограничения, лимитирующего максимальную долю одного актива в портфеле в целях соблюдения принципа диверсификации (см. таблицу 3).

Таблица 3. Результаты решения задачи максимизации доходности портфеля с дополнительным ограничением

Криптоактив	Доля в портфеле
BITCOIN	35.00 %
ETHEREUM	0.00 %
SOLANA	0.00 %
HYPERLIQUID	2.80 %
THE-OPEN-NETWORK	29.34 %
MANTLE	4.44 %
MONERO	28.42 %
Коэффициент Шарпа (годовой)	1,133

Таким образом, при ограничении максимальной доли одного актива до 35 % модель распределит доли минимизируя риски вкладывая в наименее волатиль-

ные монеты. Данный портфель обеспечивает 1,133 единицу прибыли на 1 единицу риска.

При ограничении максимальной доли до 40 % модель распределит вложения, максимизируя прибыль и вкладывая в наиболее доходные монеты. Данный портфель обеспечивает 1,143 единицу прибыли на 1 единицу риска. Также стоит учитывать, что в данном портфеле 40 % занимает безрисковый USDT (см. таблицу 4). При падающем рынке эта стратегия приносит больше прибыли (сравните значения коэффициента Шарпа в таблицах 3 и 4).

Таблица 4. Результаты оптимизации с включением безрискового актива

Криптоактив	Доля в портфеле
BITCOIN	40.00 %
ETHEREUM	0.00 %
SOLANA	0.00 %
HYPERLIQUID	0.00 %
THE-OPEN-NETWORK	9.45 %
MANTLE	0.00 %
MONERO	10.55 %
TETHER (USDT)	40.00 %
Коэффициент Шарпа (годовой)	1,143

Модификации базовой модели

Следует особо отметить, что значительный интерес представляют также модификации представленных выше базовых версий модели Марковица, в которых последние ограничения (на неотрицательность долей) отсутствуют в силу наличия опции так называемых «коротких продаж». Действительно, на рынке криптовалют широкое распространение получили производные финансовые инструменты. Так, сегодня инвесторами активно торгуются криптофьючерсы и криптоопционы. Первые популярны на биржах Bybit, Binance, CME Group и включают срочные контракты и «бессрочные свопы» (без даты экспирации). Вторые торгуются на Deribit, Binance, OKX и позволяют хеджировать риски (страховаться) или спекулировать, используя контракты типа «колл» (на рост) и «пут» (на падение).

Считается, что криптофьючерсы чаще используют для агрессивной торговли с «плечом», тогда как криптоопционы используют для более гибких стратегий. Кредитное «плечо» – это стратегия, позволяющая торговать фьючерсными контрактами, не оплачивая полную стоимость контракта заранее. Трейдеры могут получить заем капитала, необходимого для финансирования контракта, предоставив относительно меньшую долю участия.

Другие модели оптимизации портфеля криптовалют

Следует отметить, что помимо модели Марковица в современной научной литературе выделяются и другие

методические подходы к оптимизации портфеля активов. Так, на наш взгляд, заслуживает внимания модель Шарпа [13]. Ее суть заключается в том, что специалисты нередко отдельно рассматривают задачу формирования оптимального портфеля с учетом опции приобретения обращающихся на рынке безрисковых активов. При данной модификации целевая функция представляет собой максимизируемый коэффициент Шарпа – показатель эффективности инвестиционного портфеля (актива), который вычисляется как отношение средней премии за риск к среднему отклонению портфеля.

Необходимо выбрать безрисковую инвестицию для подсчета коэффициента Шарпа. Например, вклады в очень надежном банке или государственные облигации. Эти инвестиции практически всегда обеспечены государством или организацией, шанс на дефолт которой минимален. В случае криптовалютного рынка подобными активами можно считать так называемые стейблкоины.

Полученный коэффициент Шарпа необходимо интерпретировать следующим образом:

- если коэффициент становится отрицательным, то доходность портфеля ниже безрисковой;
- если коэффициент больше нуля, но меньше единицы, то риск не окупается. Такие портфели можно использовать, если нет альтернатив;
- если коэффициент превышает единицу, это означает, что риск окупается, и портфель можно использовать;
- если коэффициент больше 3, то это означает, что вероятность получить убыток в сделке может быть оценена как близкая к нулю (составляет меньше 1 %).

Коэффициент Шарпа представляет собой достаточно простой и наглядный инструмент для оценки различных активов по соотношению доходность/риск. Хотя коэффициент Шарпа применим для оценки отдельных активов, в общепринятой инвестиционной практике он используется для оценки портфелей.

Помимо модели Шарпа исследователи предлагают адаптировать к задаче оптимизации портфеля криптовалют такие подходы, как использование коэффициента Трейнора и коэффициента Дженсена [14].

Таким образом, существует множество различных способов для формирования инвестиционной стратегии на криптовалютном рынке, однако необходимо понимать, что все стратегии, которые формируются в результате различных математических расчетов, носят рекомендательный характер, они лишь могут подсказать какой выбор необходимо сделать в момент принятия решения об инвестировании, но не могут точно предугадать рыночную конъюнктуру.

Заключение

Полномасштабное внедрение ЦФА в повседневную жизнь пока не достигнуто, но такая тенденция имеет место. Рынок ЦФА является достаточно молодым и нестабильным. Необходимо обратить внимание на стоимость криптовалют, которая изменяется постоянно, и часто разница составляет сотни процентов за месяцы или даже недели. Например, в 2016 году цена за одну монету BTC была равна 600 долларам. На февраль 2026 года курс BTC превышает 67 000 долларов. Тем самым можно сказать, что инвесторы, которые вложили свои средства тогда, уже увеличили свой капитал в 112 раз (без учета инфляции). Однако стоит учитывать, что есть и те, кто купил монету BTC на пиковых ценах (например, в октябре 2025 года курс составлял более 126 000 долларов), а позже ее цена снизилась.

Исходя из этого можно сказать, что инвестиции в ЦФА являются довольно рискованными. Однако набирающие популярность криптовалюты становятся подходящим инструментом для вложений физических лиц по всему миру. Инвестирование в криптовалюты немыслимо без создания портфеля, что предполагает использование специфических методов и средств, направленных на диверсификацию и достижения высокой доходности при минимально возможном риске.

Высокая волатильность криптовалют также играет роль в выборе объекта для инвестирования. Это одновременно является и плюсом, и минусом цифровых финансовых активов. Цены на рынке криптовалют нестабильны и очень часто на них влияют факторы, которые невозможно предугадать или предположить. Крайне трудно формализовать механизм воздействия определенных событий на поведение курса криптовалюты. Например, можно вспомнить случаи, когда Илон Маск, размещая публикации в социальной сети X о каких-то своих действиях либо мнениях, резко повышал или понижал курс и стоимость криптовалют. Аналогично, события, произошедшие в Казахстане в начале 2022 года, существенно снизили курс монеты BTC, потому что в стране на тот момент была сосредоточена значительная часть от мировой добычи биткоина.

Таким образом, грамотное сочетание классических подходов к принятию решений на рынке криптовалют с новейшими достижениями в области развития технологий искусственного интеллекта способно обеспечить инвесторам устойчивое прибыльное состояние и открывает новые возможности для широкого внедрения алгоритмов автоматизированной торговли.

ЛИТЕРАТУРА

1. О развитии цифровой экономики : Декрет Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Pd1700008> (дата обращения: 21.02.2026).
2. The 2025 Geography of Crypto Report // Chainalysis. URL: <https://www.chainalysis.com/reports/2025-geo-crypto-report/> (date of access: 22.02.2026).

3. Ихсанов, И. Р. Анализ инвестиционных стратегий в криптовалюту / И. Р. Ихсанов // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 87(3). С. 157–161. DOI: 10.18411/trnio-07-2022-122.
4. Технический анализ как инструмент формирования инвестиционных решений на рынке акций / О. В. Ваганова, Н. С. Мельникова, А. С. Буряк, М. Н. Пузанков // *Modern Economy Success*. 2025. № 6. С. 347–354. URL: <https://journals.rcsi.science/2500-3747/article/view/369340> (дата обращения: 22.02.2026).
5. Малышенко, К. А. Теория Эллиотта и ее значение в развитии фондового рынка / К. А. Малышенко, В. А. Малышенко, Э. Ю. Терещенко // *Экономика, социология и право*. 2017. № 6. С. 11–18.
6. Волобуева, Е. А. О возможностях применения системы Bloomberg для исследования цен акций на основе волновой теории Эллиота / Е. А. Волобуева // *Современная математика и концепции инновационного математического образования : материалы Всероссийской конференции, Москва, 19 мая 2015 г. / Финуниверситет ; В. Л. Куликов, Е. Ф. Олехова, Е. Н. Орел [и др.] ; редкол.: В. Б. Гисин [и др.]. Москва, 2015. С. 173–178. URL: http://elibrary.ru/fbook/gisin_sovremennay_matematika_sbornik.pdf (дата обращения: 21.02.2026).*
7. Чемяков, Р. А. Уровни Фибоначчи в трейдинге / Р. А. Чемяков // *Научному прогрессу – творчество молодых : материалы XVIII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам, Йошкар-Ола, 21–22 апреля 2023 г. : в 2 ч. / Поволжский государственный технологический университет ; редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. Йошкар-Ола, 2023. Ч. 2. С. 391–394. URL: <https://science.volgatech.net/nm/Conferences/Young%20creations/sbornic2.pdf> (дата обращения: 21.02.2026).*
8. Диголь, И. Д. Оценка эффективности фильтрационных методов технического анализа: скользящие средние и полосы Боллинджера / И. Д. Диголь // *Russian Economic Bulletin*. 2023. Т. 6, № 3. С. 266–273 URL: <https://journals.rcsi.science/2658-5286/article/view/403474/671212> (дата обращения: 21.02.2026).
9. Карпова, А. Н. Технический анализ как метод прогнозирования криптовалютного рынка / А. Н. Карпова, М. В. Дубатовская // *Основные тенденции экономического развития Республики Беларусь : сборник докладов II Научно-практического Круглого стола преподавателей, аспирантов и студентов, Минск, 15 апреля 2020 г. / БГУ; редкол.: А. М. Сидорова (отв. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2020. С. 226–233. URL: <https://elibrary.bsu.by/handle/123456789/250997>.*
10. Review of deep learning models for crypto price prediction: implementation and evaluation / J. Wu, X. Zhang, F. Huang [et al.]. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2405.11431.
11. Attention-augmented hybrid CNN-LSTM model for social media sentiment analysis in cryptocurrency investment decision-making / D. Tiwari, B. S. Bhati, B. Nagpal [et al.]. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. DOI: 10.1038/s41598-025-18245-x.
12. Манкелевич, П. В. Комбинированное применение рекуррентной нейронной сети и технического анализа для прогнозирования изменения цен на рынке криптовалют / П. В. Манкелевич // *Форум молодых ученых*. 2019. № 5(33). С. 877–880. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovanное-primenenie-rekurrentnoy-neyronnoy-seti-i-tehnicheskogo-analiza-dlya-prognozirovaniya-izmeneniya-tsen-na-rynke> (дата обращения: 21.02.2026).
13. Федоров, Г. В. Применение теории Марковица к криптовалютному портфелю / Г. В. Федоров // *Белгородский экономический вестник*. 2023. № 2(110). С. 91–95.
14. Ермаков, Н. С. Оптимизация портфеля в эпоху цифровой финансовизации с использованием криптовалют / Н. С. Ермаков, Е. А. Галкина // *Modern Economy Success*. 2021. № 2. С. 164–169.
15. Оптимизация портфеля в эпоху цифровой финансовизации с использованием криптовалют / А. А. Халяпин, Т. В. Стрельцова, А. А. Милованов, С. А. Ким // *Естественно-гуманитарные исследования*. 2025. № 1(57). С. 533–538. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-portfelya-v-epohu-tsifrovoy-finansializatsii-s-ispolzovaniem-kriptovalyut> (дата обращения: 21.02.2026).

REFERENCES

1. O razvitiy tsifrovoy ekonomiki : Dekret Prezidenta Respubliki Belarus ot 21 dekabrya 2017 g. № 8 [On the development of the digital economy : Decree of the President of the Republic of Belarus of December 21, 2017 No 8]. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus* (in Russian). Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Pd1700008> (accessed 21 February 2026).
2. The 2025 geography of crypto report. *Chainalysis*. Available at: <https://www.chainalysis.com/reports/2025-geo-crypto-report/> (accessed 22 February 2026).
3. Ikhsanov I.R. Analiz investitsionnykh strategiy v kriptovalyutu [Analysis of investment strategies in cryptocurrency]. *Tendentsii Razvitiya Nauki i Obrazovaniya [Trends in the Development of Science and Education]*. 2022;87(3):157–161 (in Russian). doi: 10.18411/trnio-07-2022-122.
4. Vaganova O.V., Melnikova N.S., Buryak A.S., Puzankov M.N. Technical analysis as a tool for forming investment decisions in the stock market. *Modern Economy Success*. 2025;6:347–354 (in Russian). Available at: <https://journals.rcsi.science/2500-3747/article/view/369340> (accessed 22 February 2026).
5. Malyschenko K.A., Malyschenko V.A., Tereshchenko E.Yu. Teoriya Elliotta i ee znacheniye v razvitiy fondovogo

rynka [Elliott theory and its importance in the development of the stock market]. *Ekonomika, Sotsiologiya i Pravo* [Economics, Sociology and Law]. 2017;6:11–18 (in Russian).

6. Volobueva E. About capabilities of application of Bloomberg system for research of the stock prices based on Elliott wave theory. *Sovremennaya Matematika i Kontseptsii Innovatsionnogo Matematicheskogo Obrazovaniya: Materialy Vserossiyskoy Konferentsii* [Modern Mathematics and Concepts of Innovative Mathematical Education: Proceedings of the All-Russian Conference], Moscow, May 19, 2015. Moscow; 2015. pp. 173–178 (in Russian). Available at: http://elibrary.ru/fbook/gisin_sovremennaya_matematika_sbornik.pdf (accessed 21 February 2026).

7. Chemekov R.A. Urovni Fibonachchi v treidinge [Fibonacci retracements in trading]. *Nauchnomu Progressu – Tvorchestvo Molodykh: Materialy XVIII Mezhdunarodnoi Molodezhnoi Nauchnoi Konferentsii po Estestvennonauchnym i Tekhnicheskim Distsiplinam* [Scientific Progress – Creativity of the Young: Proceedings of the XVIII International Youth Scientific Conference on Natural Sciences and Engineering Disciplines], Yoshkar-Ola, April 21–22, 2023. In 2 parts. Yoshkar-Ola; 2023. Part 2. pp. 391–394 (in Russian). Available at: <https://science.volgatech.net/nm/Conferences/Young%20creations/sbornic2.pdf> (accessed 21 February 2026).

8. Digol I.D. Effectiveness of technical analysis filtering methods: moving averages and Bollinger bands. *Russian Economic Bulletin*. 2023;6(3):266–273 (in Russian). Available at: <https://journals.rcsi.science/2658-5286/article/view/403474/671212> (accessed 21 February 2026).

9. Karpova A.N., Dubatovskaya M.V. Technical analysis as a method of forecasting the cryptocurrency market. *Osnovnye Tendentsii Ehkonomicheskogo Razvitiya Respubliki Belarus: Sbornik Dokladov II Nauchno-prakticheskogo Kruglogo Stola Prepodavatelei, Aspirantov i Studentov* [Main Trends in the Economic Development of the Republic of Belarus: Collection of Reports of the II Scientific and Practical Round Table of Teachers, Graduate Students and Students], Minsk, April 15, 2020. Minsk; 2020. pp. 226–233 (in Russian). Available at: <https://elibrary.bsu.by/handle/123456789/250997>.

10. Wu J., Zhang X., Huang F., Zhou H., Chandra R. Review of deep learning models for crypto price prediction: implementation and evaluation. *arXiv* [Preprint]. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.11431>.

11. Tiwari D., Bhati B.S., Nagpal B., Alturki N., Bayisenge L. Attention-augmented hybrid CNN-LSTM model for social media sentiment analysis in cryptocurrency investment decision-making. *Scientific Reports*. 2025;15:33201. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18245-x>.

12. Mankialevich P.V. Combined application of the recurrent neural network and technical analysis for predicting the change in the prices of the cryptate market. *Forum Molodykh Uchenykh* [Forum of Young Scientists]. 2019;5(33):877–880 (in Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovannoe-primeneniye-rekurrentnoy-neyronnoy-seti-i-tehnicheskogo-analiza-dlya-prognozirovaniya-izmeneniya-tsen-na-rynke> (accessed 21 February 2026).

13. Fedorov G. V. Primenenie teorii Markovitsa k kriptovalyutnomu portfelyu. [Application of Markowitz's theory to a cryptocurrency portfolio]. *Belgorodskii Ehkonomicheskii Vestnik* [Belgorod Economic Bulletin]. 2023;2(110):91–95 (in Russian).

14. Ermakov N.S., Galkina E.A. Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies. *Modern Economy Success*. 2021;2:164–169 (in Russian).

15. Khalyapin A.A., Streltsova T.V., Milovanov A.A., Kim S.A. Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies. *Estestvenno-gumanitarnye Issledovaniya* [Natural Sciences and Humanities Studies]. 2025;1(57):533–538 (in Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-portfelya-v-epohu-tsifrovoy-finansializatsii-s-ispolzovaniem-kriptovalyut> (accessed 21 February 2026).

A. A. EFREMOV, GUO YU

MAKING INVESTMENT DECISIONS IN THE CRYPTOCURRENCY MARKET USING THE MARKOWITZ MODEL AND PRE-TRAINED NEURAL NETWORKS

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article examines modern approaches to forming an optimal investment portfolio in the cryptocurrency market, including classical methods of technical analysis. Trends in the development of the global digital financial assets market are studied. Various interpretations of the concept of investment strategy are considered. Particular emphasis is placed on the Markowitz model. Its basic version and modification for crypto-futures and crypto-options are reviewed. A computer implementation of the model was developed, numerical experiments were conducted, followed by a substantive interpretation of the obtained results. An algorithm for solving the nonlinear optimization problem using pre-trained neural networks and the Pyomo framework was developed. Additionally, alternative approaches to cryptocurrency portfolio optimization are considered.

Keywords: decision-making, nonlinear optimization, investments, digital financial assets, cryptocurrencies, portfolio theory, Markowitz model, Sharpe model, pre-trained neural networks

Ефремов Андрей Александрович

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР), г. Минск, Республика Беларусь.

Кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономической информатики, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий. Область научных интересов: нелинейные и негладкие оптимизационные модели большой размерности, теория принятия решений, цифровая трансформация экономики.

A. A. Efremov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), Minsk, Republic of Belarus.

PhD in Economics, Associate Professor, Head of the Department of Economic Informatics, Associate Professor at the Department of Intellectual Information Technologies.

Research interests include nonlinear and nonsmooth high-dimensional optimization models, decision-making theory, digital transformation of economics.

E-mail: efremov.kafei@gmail.com

Го Юй

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР), г. Минск, Республика Беларусь.

Аспирант кафедры информационных технологий автоматизированных систем. Область научных интересов: методы глубокого обучения, автоматизированная торговля на рынках цифровых активов.

Guo Yu

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), Minsk, Republic of Belarus.

Postgraduate Student of the Department of Information Technologies in Automated Systems. The area of scientific interests is related to deep learning methods and automated trading in digital assets markets.

E-mail: 305619456@qq.com