

Международный научно-исследовательский журнал

«Прогрессивная экономика»

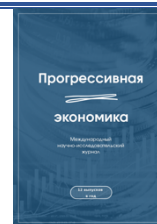
№ 7 / 2026 https://progressive-economy.ru/vypusk_1/postroenie-i-verifikaciya-mnogofaktornoj-ekonometricheskoj-modeli-dlya-prognozirovaniya-volatilnosti-na-rynke-kriptoaktivov-s-ispolzovaniem-garch-modelej/

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности ВАК: 5.2.4

УДК 330.43

DOI: 10.54861/27131211_2026_7_444



ПОСТРОЕНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ МНОГОФАКТОРНОЙ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЛАТИЛЬНОСТИ НА РЫНКЕ КРИПТОАКТИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GARCH-МОДЕЛЕЙ

Иванов К.В., кандидат экономических наук, доцент, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Москва, Россия
119571, Москва, проспект Вернадского, 82

Иванова Н.Ю., кандидат экономических наук, доцент, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Москва, Россия
119571, Москва, проспект Вернадского, 82

Иванова Е.К., студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5

Аннотация. Высочайшая волатильность является главной характеристикой рынка криптоактивов, что создает насущную потребность в точных моделях ее прогнозирования для задач управления рисками и алгоритмической торговли. В данной статье протестируется и верифицируется многофакторная эконометрическая модель прогноза волатильности на основе расширенного GARCH-подхода. В работе использованы данные по доходности BTC и ETH за период с 1 января 2020 г. по 31 декабря 2023 г. Проведен сравнительный анализ спецификаций GARCH, EGARCH и GJR-GARCH. Анализ показал, что асимметричная модель EGARCH (1,1) наиболее точно описывает наблюдаемые данные. Для повышения адекватности модель была усовершенствована путём добавления внешних переменных в уравнение, описывающее изменение дисперсии: индекса волатильности VIX и торгового оборота. При проверке на отложенной выборке обнаружено, что расширенная модель EGARCH-X, учитывающая внешние факторы, демонстрирует статистически значимо превосходящую прогностическую способность по сравнению с базовыми



моделями, что подтверждено использованием теста Диболда-Мариано. Сделанные выводы указывают на важность одновременного учета таких характеристик волатильности, как кластеризация и асимметрия, а также влияния внешних рыночных факторов для достижения более точных прогнозов на рынке криптовалют.

Ключевые слова: волатильность, криптовалюты, биткойн, Ethereum, GARCH, EGARCH, прогнозирование, эконометрическое моделирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов К.В., Иванова Н.Ю., Иванова Е.К. Построение и верификация многофакторной эконометрической модели для прогнозирования волатильности на рынке криптоактивов с использованием GARCH-моделей // Прогрессивная экономика. 2026. № 7. С. 444–458. https://doi.org/10.54861/27131211_2026_7_444.

Статья поступила в редакцию: 22.06.2026 г. Одобрена после рецензирования: 29.07.2026 г. Принята к публикации: 31.07.2026 г.

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF A MULTI-FACTOR ECONOMETRIC MODEL FOR FORECASTING VOLATILITY IN THE CRYPTO-ASSET MARKET USING GARCH MODELS

*Ivanov K.V., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia
119571, Moscow, Vernadsky Avenue, 82*

*Ivanova N.Yu., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia
119571, Moscow, Vernadsky Avenue, 82*

*Ivanova E.K., Student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya St., 5*

Abstract. The highest volatility is the main characteristic of the crypto asset market, which creates an urgent need for accurate forecasting models for risk management and algorithmic trading tasks. This article builds and verifies a multifactorial econometric model for volatility forecasting based on an extended KARCH approach. The paper uses data on the returns of BTC and ETH for the period from January 1, 2020, to December 31, 2023. A comparative analysis of the GARCH, EGARCH and GJR-GARCH specifications has been carried out. The analysis showed that the EGARCH asymmetric model (1,1) most accurately describes the observed data. To increase the adequacy of the model, it was improved by adding external variables to the



equation describing the change in variance.: VIX volatility index and trade turnover. When tested on a deferred sample, it was found that the extended EGARCH-X model, which takes into account external factors, demonstrates statistically significantly superior predictive ability compared to the basic models, which is confirmed by using the Diebold-Mariano test. The conclusions drawn indicate the importance of simultaneously considering such volatility characteristics as clustering and asymmetry, as well as the influence of external market factors, to achieve more accurate forecasts in the cryptocurrency market.

Keywords: volatility, cryptocurrencies, Bitcoin, Ethereum, GARCH, EGARCH, forecasting, econometric modeling.

JEL classification: C01, C02, C1, C33.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Ivanov K.V., Ivanova N.Yu., Ivanova E.K. (2026). Postroenie i verifikatsiya mnogofaktornoj ehkonometricheskoi modeli dlya prognozirovaniya volatil'nosti na rynke kriptoaktivov s ispol'zovaniem GARCH-modelei [Development and verification of a multi-factor econometric model for forecasting volatility in the crypto-asset market using GARCH models]. Progressivnaya ekonomika [Progressive Economy], 7, 444–458. https://doi.org/10.54861/27131211_2026_7_444. (In Russ., abstract in Eng.)

The article was submitted to the editorial office: 22/06/2026. Approved after review: 29/07/2025. Accepted for publication: 31/07/2026.

Введение

За последние десять лет рынок криптовалют трансформировался из узкоспециализированного цифрового явления в важный глобальный финансовый сектор с капитализацией в миллиарды долларов [1]. Его ключевыми особенностями являются непрерывная торговля, децентрализованная структура, сравнительно низкий уровень государственного контроля и, что особенно актуально для данного исследования, чрезвычайно высокая волатильность. Криптовалюты представляют собой цифровые активы, базирующиеся на технологии блокчейн и характеризующиеся высокой волатильностью [2]. Эта последняя черта создает как значительные риски, так и возможности для инвесторов, вызывая острую необходимость в разработке надежных методов для ее прогнозирования. Точные прогнозы волатильности имеют критическое значение для решения практических задач управления финансовыми рисками, хеджирования инвестиционных портфелей, оценки стоимости опционов и других производных финансовых инструментов, а также для создания алгоритмических торговых стратегий.

Хотя существует множество эконометрических моделей, созданных для анализа традиционных финансовых рынков, их использование для изучения данных криптовалютного рынка зачастую не приносит желаемых результатов. Это объясняется специфическими особенностями данного рынка, такими как



чрезвычайная зависимость от новостей и обсуждений в социальных медиа, а также преобладание спекулятивных факторов. Такие характеристики делают криптовалютный рынок значительно отличающимся от классических финансовых систем [3], что делает актуальным применение эконометрических моделей для прогнозирования волатильности криптовалют [4].

В научной литературе значительное внимание уделяется вопросу моделирования изменчивости криптовалют. Многочисленные исследования указывают на то, что доходности криптоактивов обладают такими характеристиками, как кластеризация волатильности (ARCH-эффект), отклонение от нормального распределения и асимметричная реакция на положительные и отрицательные шоки (эффект леввериджа) [5]. Основным инструментом анализа в данных работах являются модели семейства GARCH, которые демонстрируют свою эффективность. Тем не менее, многие исследования ограничиваются применением одномерных подходов, не учитывающих влияние внешних факторов на динамику криптовалют.

Цель данного исследования – преодоление ограничения путем построения, оценки и верификации многофакторной эконометрической модели, интегрирующей внутренние свойства ряда доходностей и внешние рыночные переменные.

Задачи исследования:

- Сформировать выборки данных по доходностям BTC и ETH, а также по потенциальным внешним факторам.
- Провести предварительный статистический анализ рядов на стационарность, автокорреляцию и наличие ARCH-эффекта.
- Построить, оценить и сравнить одномерные модели GARCH(1,1), EGARCH(1,1) и GJR-GARCH(1,1).
- Лучшую модель расширить до многофакторной спецификации путем включения значимых внешних переменных.
- Осуществить верификацию прогнозной силы всех моделей на тестовой выборке с использованием набора статистических критериев.

Материалы и методы

В рамках исследования рассматривались ежедневные логарифмические доходности двух ведущих криптовалют: Bitcoin (BTC) и Ethereum (ETH). Период анализа охватывает временной интервал с 1 января 2020 года по 31 декабря 2023 года, на основе 1043 наблюдений. Для дальнейшей проверки прогностических моделей выборка была разделена на обучающую часть (с 01.01.2020 по 31.12.2022, примерно 80% данных) и тестовую (с 01.01.2023 по 31.12.2023, около 20%).

Кроме того, стоит упомянуть и о том, что помимо рядов доходностей, были собраны данные по следующим факторам: внутренний фактор – объем торгов для каждого актива в долларах), внешние рыночные факторы – индекс волатильности S&P 500 (VIX) как индикатор страха на глобальных рынках.



Информация была загружена через открытые интерфейсы API криптоплатформы Binance и аналитического ресурса Yahoo Finance. Данные по ценам криптоактивов (BTC/USDT и ETH/USDT) и торговым оборотам были получены через публичный REST API криптобиржи Binance. Данные по индексу волатильности VIX - через API Yahoo Finance (тикер VIX). Все ряды собраны в ежедневной периодичности. Временной горизонт охватывает период с 1 января 2020 г. по 31 декабря 2023 г. включительно. Выборка охватывает глобальный рынок криптоактивов без привязки к конкретной юрисдикции, поскольку криптовалютные биржи функционируют трансгранично. Индекс VIX отражает ожидаемую волатильность американского фондового рынка (S&P 500) и используется как прокси-переменная глобального инвестиционного аппетита.

Предварительный анализ включал проверку стационарности рядов при помощи тестов Дики-Фулера и Тест Квитковски-Филлипса-Шмидта-Шина [6], выявление автокорреляции в рядах и в квадратах рядов проводилось тестом Лиунга-Бокса, тест ARCH-LM применялся для проверки наличия эффекта кластерности волатильности, для проверки гипотезы о нормальности распределения использовался тест Харке-Бера. Центральным звеном является моделирование волатильности, зависящей от определенных условий. Для этой цели были отобраны три наиболее часто используемые модели. GARCH (1,1):

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha * \varepsilon_{t-1}^2 + \beta * \sigma_{t-1}^2$$

Модель экспоненциальной GARCH, позволяющая учесть эффект использования – EGARCH (1,1):

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \alpha * \frac{|\varepsilon_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} + \gamma * \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \beta * \ln(\sigma_{t-1}^2)$$

где коэффициент γ отражает асимметричный эффект.

Альтернативная модель, учитывающая ассиметрию через индикаторную функцию I – GJR-GARCH (1,1):

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha * \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma * I_{t-1} * \varepsilon_{t-1}^2 + \beta * \sigma_{t-1}^2$$

где $I_{t-1} = 1$, если $\varepsilon_{t-1} < 0$ и 0 в противном случае.

Модели семейства GARCH широко применяются для анализа финансовых временных рядов [7] и позволяют учитывать кластеризацию волатильности.

Для оценивания параметров моделей применялся метод максимального правдоподобия (ММП). В качестве распределения инноваций использовалось

распределение Стьюдента, поскольку оно лучше отражает «тяжелые хвосты», характерные для распределения доходностей криптовалютных активов [8].

При определении оптимальной модели, основываясь на обучающем наборе данных, применялись критерии информации Акаике (AIC) и Байесовский информационный критерий (BIC).

Лучшая из базовых моделей была расширена до спецификации GARCH-X путем добавления лагированных значений внешних переменных X_{t-1} в уравнение условной дисперсии. Для модели EGARCH-X уравнение принимает вид:

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \alpha * \frac{|\varepsilon_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} + \gamma * \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \beta * \ln(\sigma_{t-1}^2) + \delta * X_{t-1}$$

где X_{t-1} – лагированное значение объема торгов или индекса VIX.

Прогнозная точность, в свою очередь, оценивалась на тестовой выборке по следующим критериям – среднеквадратическая ошибка, корень из среднеквадратичной ошибки, средняя абсолютная ошибка. Статистическая значимость различий в точности прогнозов проверялась с помощью теста Диболда-Мариано. Дополнительно для анализа категориальных переменных может применяться критерий хи-квадрат Пирсона [9]

Результаты

Ниже, в таблице 1, приведем результаты предварительного анализа для ряда доходностей BTC (аналогичные результаты получены и для ETH).

Таблица 1

Описательная статистика и результаты тестов для доходности BTC

Table 1

Descriptive Statistics and Test Results for BTC Profitability

Показатель	Значение
Среднее	0.0012
Стандартное отклонение	0.0419
Эксцесс	4.872
Асимметрия	-0.351
P-value (Jarque-Bera)	<0.001
P-value (ADF)	<0.001
P-value (ARCH-LM, LAG=5)	<0.001

Источник: расчёты авторов

Source: the authors' calculations

Превышение эксцесса над нормальным уровнем и статистическая значимость теста Харке-Бера являются доказательством отклонения распределения от нормального. Результаты теста расширенного Дики-



Фуллера демонстрируют стационарность временного ряда. Существенная значимость тета ARCH-LM безоговорочно указывает на присутствие эффекта кластеризации волатильности, что является основанием для использования моделей GARCH. Все три выбранные модели были оценены на обучающей выборке. Результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Результаты оценки параметров моделей для BTC

Table 2

Results of evaluation of model parameters for BTC

Параметр	GARCH	EGARCH	GJR-GARCH
Ω	0.00001*	-0.254*	0.00001*
A	0.092*	0.145*	0.057*
B	0.897*	0.978*	0.918*
Г	-	-0.082*	0.061*
AIC	-4032.1	-4045.8	-4038.2
BIC	-4021.5	-4021.4	-4018.8

* - значимость на уровне 5%

Источник: расчёты авторов
Source: the authors' calculations

Выявленная асимметрия волатильности согласуется с результатами предыдущих эмпирических исследований криптовалютных рынков [13].

В моделях EGARCH и GJR-GARCH коэффициент асимметрии (γ) показал статистически значимые и отрицательные значения (в случае EGARCH), что свидетельствует о существовании эффекта леввериджа: плохие новости оказывают более сильное влияние на увеличение волатильности, чем хорошие. Модель EGARCH(1,1) продемонстрировала самые низкие значения информационных критериев AIC и BIC, поэтому она была выбрана в качестве основной для дальнейшего анализа и модификаций.

В уравнение дисперсии модели EGARCH поочередно включались запаздывающие значения объема торгов, а также индекса VIX. Выяснилось, что оба этих компонента являются статистически значимыми. Окончательная модель приняла следующий вид:

$$\ln(\sigma_t^2) = -0.261 + 0.141 * \frac{|\varepsilon_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} - 0.078 * \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + 0.970 * \ln(\sigma_{t-1}^2) + 0.015 * VIX_{t-1} + 0.0001 * Volume_{t-1}$$

Наконец, прогнозная сила всех моделей была проверена на тестовой выборке. Данные представлены ниже, в Таблице 3.



Таблица 3

Критерии прогнозной точности на тестовой выборке (BTC)

Table 3

Criteria for predictive accuracy in the test sample (BTC)

Модель	MSE	RMSE	MAE
GARCH	4.92	0.0070	0.0052
EGARCH	4.85	0.0069	0.0051
GJR-GARCH	4.88	0.0069	0.0051
EGARCH-X	4.52	0.0067	0.0049

Источник: расчёты авторов

Source: the authors' calculations

Анализ показал, что многофакторная EGARCH-X модель имеет минимальные значения ошибок прогнозирования. Проверка Диболда-Мариано (с нулевой гипотезой об идентичной точности прогнозов) против двусторонней альтернативы привела к отклонению нулевой гипотезы при сопоставлении EGARCH-X с обычной EGARCH (значение $p < 0.05$). Это указывает на статистически существенное повышение качества прогнозирования.



Рис. 1. Динамика цен BTC и ETH, 2020–2023 гг.

Источник: расчёты авторов

Fig. 1. BTC and ETH price dynamics, 2020-2023

Source: the authors' calculations



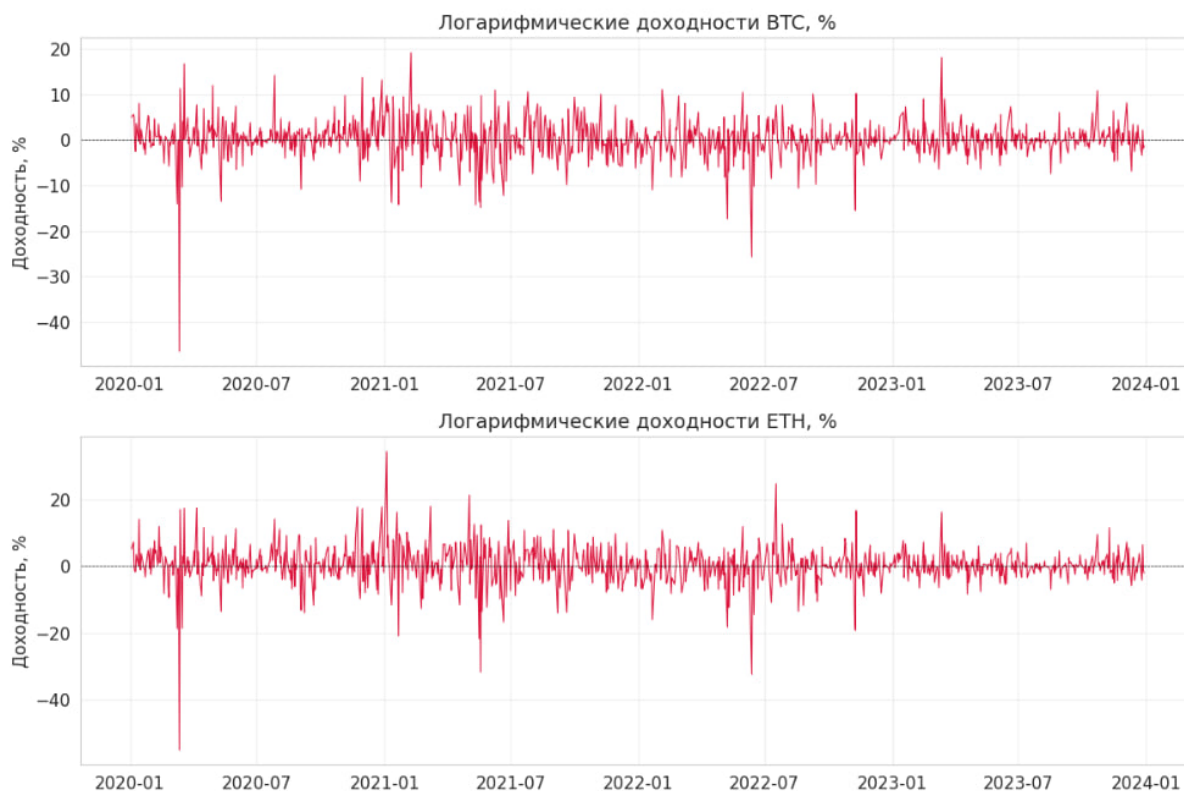


Рис. 2. Логарифмические доходности BTC и ETH

Источник: расчёты авторов

Fig. 2. Logarithmic returns of BTC and ETH

Source: the authors' calculations

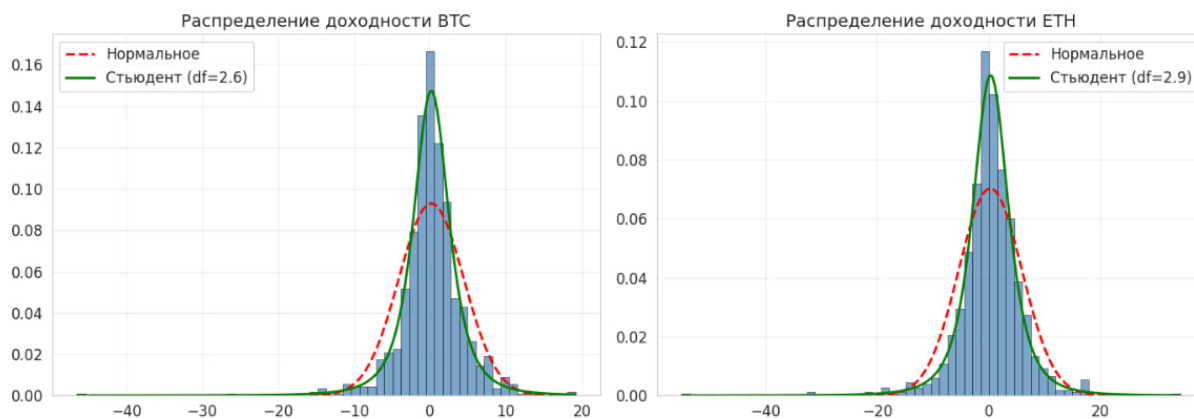
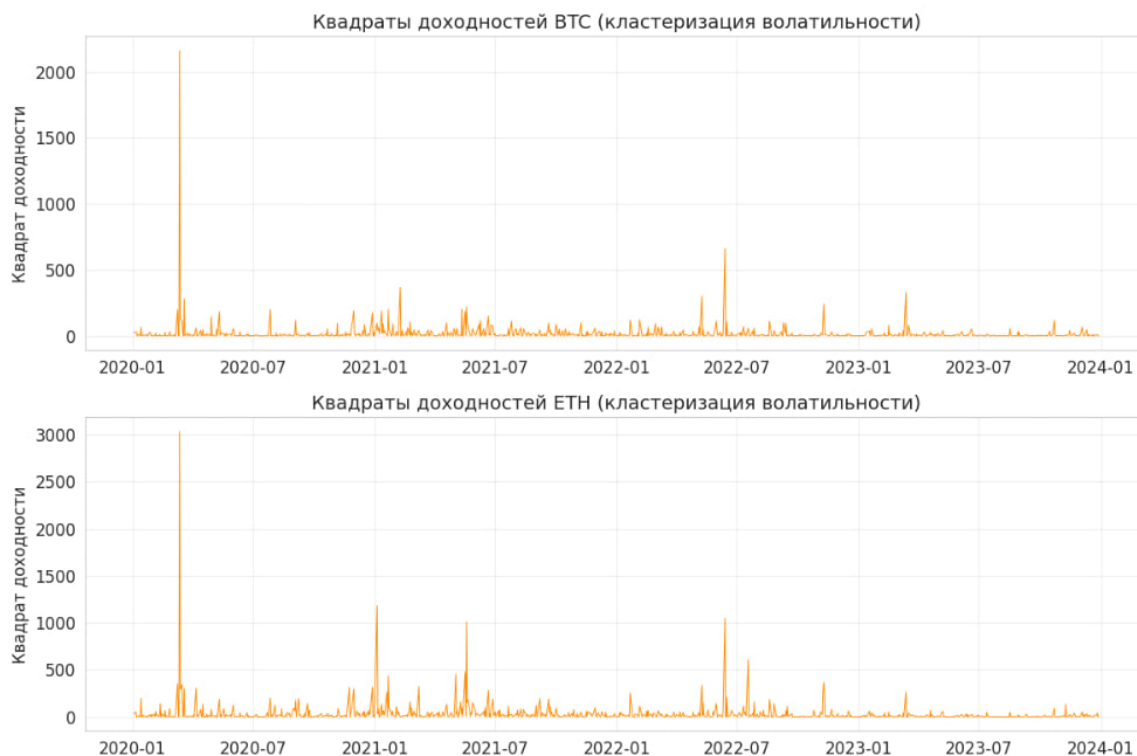


Рис. 3. Распределение доходностей: эмпирическая гистограмма, нормальная кривая и распределение Стьюдента

Источник: расчёты авторов

Fig. 3. Distribution of returns: empirical histogram, normal curve, and Student's distribution

Source: the authors' calculations



Source: the authors' calculations

Рис. 4. Квадраты доходностей (визуализация кластеризации волатильности)

Источник: расчёты авторов

Fig. 4. Squares of returns (visualization of volatility clusterization)

Source: the authors' calculations

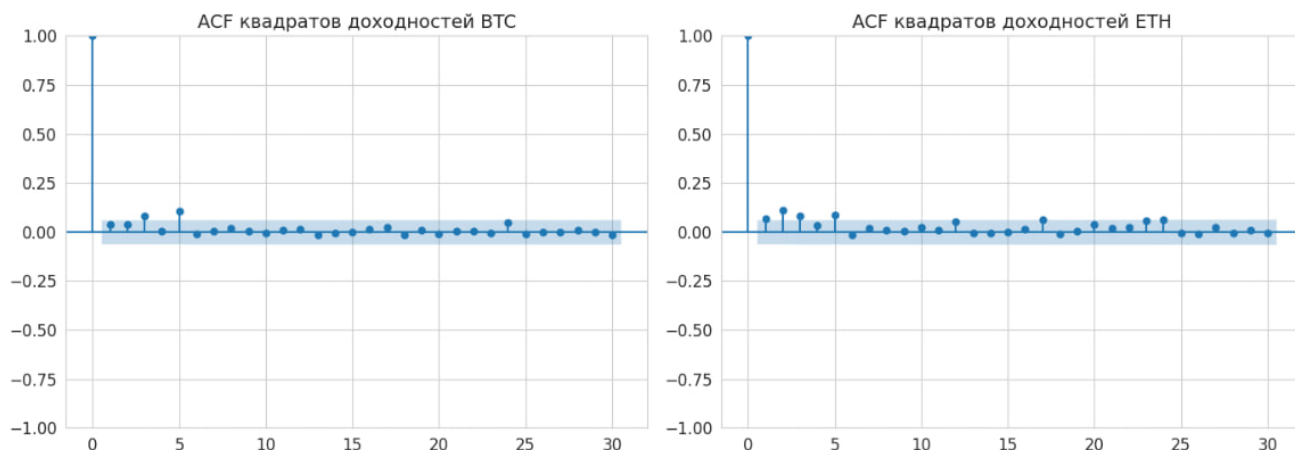


Рис. 5. Автокорреляционная функция квадратов доходностей

Источник: расчёты авторов

Fig. 5. Autocorrelation function of squares of yields

Source: the authors' calculations

Обсуждение

Наблюдаемые итоги демонстрируют высокую степень соответствия с прогнозируемыми теоретическими значениями и выводами предыдущих научных работ. Подтверждено существенное влияние асимметричных эффектов на изменения волатильности криптовалютных активов, что указывает на большую адекватность моделей EGARCH и GJR-GARCH по сравнению с обычной моделью GARCH. Ключевым результатом проведенного анализа является подтверждение значительного влияния внешних условий на улучшение предиктивной силы модели. Выявленная прямая и статистически значимая зависимость между индексом VIX и динамикой рынка криптовалют демонстрирует тесную взаимосвязь настроений в сфере цифровых активов и традиционном финансовом секторе.

В условиях усиления опасений и нестабильности в глобальной экономике, отражающихся в увеличении индекса VIX, инвесторы стремятся избавиться от активов с повышенным уровнем риска, включая криптовалюты, что приводит к росту их изменчивости. Наблюдаемая положительная корреляция с объемом транзакций отражает внутренние процессы на рынке: увеличение торговой активности типично для периодов повышенной неопределенности, сопровождающихся интенсивными продажами или покупками. Данное исследование имеет ряд ограничений, в частности, рассмотрены только два наиболее торгуемых криптоактива, что не дает возможности распространить полученные результаты на всю криптовалютную индустрию. Помимо этого, анализ базируется на ежедневных данных, в то время как для алгоритмической торговли внутри дня более подходящими являются модели, использующие более частотные данные. Также, в разработанной модели не учтены показатели, отражающие общественное мнение в социальных сетях, которые могут оказывать существенное влияние на рынок.

Несмотря на существующие рамки, ценность исследования для практики несомненна. Разработанная структура легко интегрируется в системы управления рисками криптовалютных инвестиционных и хедж-фондов, позволяя более достоверно оценивать показатель Value at Risk (VaR). Кроме того, алгоритмические трейдеры могут применять подобные разработки для улучшения стратегий выбора оптимального времени для открытия и закрытия позиций на рынке.

Заключение

В рамках проведенного анализа основная задача была успешно решена: разработана и протестирована многомерная эконометрическая модель, предназначенная для предсказания изменчивости цен криптовалютных активов. После всестороннего исследования, были сформулированы следующие заключения:



1. Для временных рядов доходности биткоина и эфириума свойственны такие черты, как стационарность, отклонение распределения от нормального, наличие кластеризации волатильности и ее асимметричный характер.

2. Асимметричная модель EGARCH(1,1) показывает наиболее точное соответствие представленным данным, выделяясь среди основных вариантов спецификации.

3. Учет внешних переменных в формуле дисперсии, таких как индекс VIX и торговый объем, дает возможность значительно повысить точность прогнозирования модели.

4. Применение многомерной модели EGARCH-X продемонстрировало статистически существенное превосходство в точности прогнозирования на контрольных данных в сравнении с одномерными вариантами.

Перспективные области для дальнейших изысканий включают: интеграцию в модель элементов, основанных на анализе тональности новостных лент и платформ социальных медиа (использование альтернативных источников информации); использование алгоритмов машинного обучения, например, рекуррентных нейронных сетей (LSTM), для учета нелинейных взаимосвязей; изучение изменчивости цен на менее ликвидные альткойны и выявление каналов распространения волатильности между разнообразными криптовалютными активами.

Литература

1. Горда А.С. Мировой рынок криптовалют: риски и механизмы регулирования // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции, 2018. № 4 С. 96–104.

2. Baur D.G., Dimpfl T. Asymmetric Volatility in Cryptocurrencies // Economics Letters, 2018. Vol. 173. P. 148–151.

3. Ушакова Н.Е. Криптовалюта и ее влияние на мировую экономику на примере Bitcoin // Вопросы управления. 2019. № 1 (37). С. 57–64.

4. Katsiampa P. Volatility Estimation for Bitcoin: A Comparison of GARCH Models // Economics Letters. 2017. Vol. 158. P. 3–6.

5. Валеев С.Г., Кувайскова Ю.Е. Использование arch-структур и фильтра Калмана для моделирования динамики технико-экономических показателей // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2007. № 2. С. 29–33.

6. Энгл Р.Ф., Грэнджер К.У.Дж. Коинтеграция и коррекция ошибок: представление, оценивание и тестирование // Прикладная эконометрика. 2015. № 3 (39). С. 107–133.

7. Семенов В.С. Прогнозирование волатильности финансовых активов: сравнительный анализ моделей семейства GARCH // Экономика и математические методы. 2019. № 3. С. 5–18.



8. Атласов И.В., Ефимов А.О., Рогозин Е.А., Черкасова А.С. Оценка уязвимостей автоматизированных систем с применением теории вероятностей, распределения Стюдента и нормальных случайных величин // Вопросы кибербезопасности. 2025. № 2 (66). С. 124–131.

9. Иванов К.В., Иванова Н.Ю. Сравнительный анализ вовлеченности и конверсии в рекламе с дополненной реальностью: методология А/В-тестирования и статистической проверки гипотез в SPSS // Наукосфера. 2025. № 1(10). С. 1–6.

10. Трусова А.Ю. Эконометрическое моделирование как инструмент развития методологии анализа банковских показателей // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2023. №1. С. 202–218.

11. Болдырева Д.А., Александрова Е.Н. Моделирование волатильности криптовалют с помощью GARCH-моделей // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2021. № 3. С. 114–136.

12. Лимонова Н.Г. Эконометрическое моделирование влияния элементов национального богатства на ВРП регионов России по результатам многомерной группировки // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2014. № 4 (64). С. 14–19.

13. Шилов К.Д., Зубарев А.В. Факторы доходности Ethereum как платформы для создания децентрализованных приложений // Финансовый журнал. 2023. № 1. С. 95–115.

14. Baur D.G., Dimpfl T. Asymmetric Volatility in Cryptocurrencies // Economics Letters. 2018. Vol. 173. P. 148–151.

15. Ратникова Т.А., Фурманов К.К. Анализ панельных данных и данных о длительности. М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2014.

References

1. Gorda A.S. (2018). Mirovoi rynek kriptovalyut: riski i mekhanizmy regulirovaniya [Global cryptocurrency market: risks and regulatory mechanisms]. Nauchnyi vestnik: finansy, banki, investitsii [Scientific Bulletin: Finance, Banking, Investment], 4, 96–104. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Baur D.G., Dimpfl T. (2018). Asymmetric Volatility in Cryptocurrencies. Economics Letters, 173, 148–151. (In Eng.)

3. Ushakova N.E. (2019). Kriptovalyuta i ee vliyanie na mirovuyu ekonomiku na primere Bitcoin [Cryptocurrency and its impact on the global economy: the case of Bitcoin]. Voprosy upravleniya [Management Issues], 1(37), 57–64. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Katsiampa P. (2017). Volatility Estimation for Bitcoin: A Comparison of GARCH Models. Economics Letters, 158, 3–6. (In Eng.)

5. Valeev S.G., Kuvaiskova Yu.E. (2007). Ispol'zovanie ARCH-struktur i fil'tra Kalmana dlya modelirovaniya dinamiki tekhniko-ekonomicheskikh



pokazatelei [The use of ARCH structures and the Kalman filter for modelling the dynamics of technical and economic indicators]. Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Ulyanovsk State Technical University], 2, 29–33. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Engle R.F., Granger C.W.J. (2015). Kointegratsiya i korrektsiya oshibok: predstavlenie, otsenivanie i testirovanie [Cointegration and error correction: representation, estimation and testing]. Prikladnaya ekonometrika [Applied Econometrics], 3(39), 107–133. (In Russ., abstract in Eng.)

7. Semenov V.S. (2019). Prognozirovaniye volatil'nosti finansovykh aktivov: sravnitel'nyi analiz modelei semeistva GARCH [Forecasting the volatility of financial assets: a comparative analysis of GARCH-family models]. Ekonomika i matematicheskie metody [Economics and Mathematical Methods], 3, 5–18. (In Russ., abstract in Eng.)

8. Atlasov I.V., Efimov A.O., Rogozin E.A., Cherkasova A.S. (2025). Otsenka uyazvimostei avtomatizirovannykh sistem s primeneniem teorii veroyatnostei, raspredeleniya St'yudenta i normal'nykh sluchainykh velichin [Assessment of automated system vulnerabilities using probability theory, Student's distribution and normal random variables]. Voprosy kiberbezopasnosti [Cybersecurity Issues], 2(66), 124–131. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Ivanov K.V., Ivanova N.Yu. (2025). Sravnitel'nyi analiz vovlechnosti i konversii v reklame s dopolnennoi real'nost'yu: metodologiya A/B-testirovaniya i statisticheskoi proverki gipotez v SPSS [Comparative analysis of engagement and conversion in augmented reality advertising: A/B testing methodology and statistical hypothesis testing in SPSS]. Naukosfera [Naukosfera], 1(10), 1–6. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Trusova A.Yu. (2023). Ekonometricheskoe modelirovaniye kak instrument razvitiya metodologii analiza bankovskikh pokazatelei [Econometric modelling as a tool for developing the methodology of banking indicator analysis]. Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravleniye [Vestnik of Samara University. Economics and Management], 1, 202–218. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Boldyreva D.A., Aleksandrova E.N. (2021). Modelirovaniye volatil'nosti kriptovalyut s pomoshch'yu GARCH-modelei [Cryptocurrency volatility modelling using GARCH models]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika [Moscow University Economics Bulletin], 3, 114–136. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Limonova N.G. (2014). Ekonometricheskoe modelirovaniye vliyaniya elementov natsional'nogo bogatstva na VRP regionov Rossii po rezul'tatam mnogomernoi gruppirovki [Econometric modelling of the impact of national wealth components on the gross regional product of Russian regions based on

multidimensional grouping]. Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyi nauchnyi zhurnal [Management of Economic Systems: Electronic Scientific Journal], 4(64), 14–19. (In Russ., abstract in Eng.)

13. Shilov K.D., Zubarev A.V. (2023). Faktory dokhodnosti Ethereum kak platformy dlya sozdaniya detsentralizovannykh prilozhenii [Factors affecting the returns of Ethereum as a platform for creating decentralized applications]. Finansovyi zhurnal [Financial Journal], 1, 95–115. (In Russ., abstract in Eng.)

14. Baur D.G., Dimpfl T. (2018). Asymmetric Volatility in Cryptocurrencies. Economics Letters, 173, 148–151. (In Eng.)

15. Ratnikova T.A., Furmanov K.K. (2014). Analiz panel'nykh dannykh i dannykh o dlitel'nosti [Analysis of panel data and duration data]. Moscow: HSE Publishing House. (In Russ.)

ИВАНОВ К.В., ИВАНОВА Н.Ю., ИВАНОВА Е.К., 2026