
А.Б. Данильчук, кандидат экономических наук, старший преподаватель
*Черкасский национальный университет имени Богдана Хмельницкого,
Черкассы, Украина*

В.Н. Соловьев, доктор физико-математических наук, профессор
*Криворожский государственный педагогический университет,
Кривой Рог, Украина*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЫНКЕ КРИПТОВАЛЮТ

Нестабильность глобальных финансовых систем для обычных и природных возмущений современного рынка и наличие плохо предсказуемых финансовых кризисов свидетельствуют в первую очередь о кризисе методологии моделирования, прогнозирования и интерпретации современных социально-экономических реалий.

В работах [1–4, 6] мы предложили новую парадигму моделирования сложных систем, основанную на идеях и представлениях квантовой, в том числе и релятивистской, механики. Было показано, что использование при описании социально-экономических процессов квантово-механических аналогий, включая принцип неопределенности, понятия оператора и квантовую интерпретацию измерительных процедур, имеет большие перспективы, учитывая дискуссии, которые носят перманентный характер [5].

Целью данного исследования является анализ фундаментальных физических понятий и констант с точки зрения достижений современной теоретической физики, поиск адекватных им и полезных аналогов в социально-экономических явлениях и процессах, а также их использование для возможного раннего предупреждения нежелательных кризисных явлений на финансовых рынках. Ранее мы использовали подобные идеи при анализе кризисных явлений на фондовых рынках [6]. Сейчас же покажем, что квантовые аналоги экономических величин позволяют предвидеть кризисы и на рынке криптовалют.

В последнее время экстраординарная волатильность биткоина и других криптовалют становится угрозой не только для международной финансовой системы, но и политического порядка. Недавняя распродажа на криптовалютном рынке произошла после того, как цены на токены показали за год огромный рост. Так, в 2017 г. биткоин вырос в цене почти на 1300 %, Ethereum — более чем на 8000 %, а Ripple — на 32 000 % [7]. Для сравнения индекс «голубых фишек» американского фондового рынка DJI вырос за год всего на 25 %.

Действительно, на технологию блокчейн, на которой базируются криптовалюты [8, 9], возлагаются надежды как на более безопасный и удобный метод платежей, чем существо-

вавшие ранее. Некоторые эксперты уверяют, что криптовалюта заменит электронные деньги на традиционных банковских счетах так же, как электронные платежи заменили бумажные деньги, пришедшие, в свою очередь, на смену золоту и серебру.

Но другие эксперты справедливо подозревают, что этой новой технологией можно манипулировать и злоупотреблять. Деньги является частью социальной ткани. В течение большей части истории человеческой цивилизации они формировали основу для доверия между людьми и правительствами, а также между частными лицами, совершавшими обмен. В большинстве случаев деньги были также выражением государственного суверенитета, при этом частные валюты встречались крайне редко.

Итак, мы уже достигли точки, когда крах биткоина будет иметь серьезные глобальные последствия. Степень привлечения финансовых учреждений в транзакции с криптовалютами сейчас не понятна, и, видимо, она будет полностью раскрыта уже после финансовой катастрофы. Это слишком похоже на ситуацию 2007–2008 гг., когда никто реально не знал, где в конечном итоге сосредоточены долги по субстандартной ипотеке. Таким образом, раннее предупреждение кризисных явлений на крипторынке является чрезвычайно актуальной проблемой.

Природа и взаимосвязи основных физических понятий. К исходным, строго не определенным физическим понятиям обычно относят время, расстояние и массу, считая, что путем тех или иных процедур измерения им могут быть поставлены в соответствие определенные числовые значения. В таком случае другие физические величины, например, скорость, ускорение, импульс, сила и т.д. могут быть выражены и определены через три указанных выше основных понятия с использованием соответствующих физических законов [10].

Воспользуемся известным соотношением неопределенности Гейзенберга, которое является фундаментальным следствием аксиом нерелятивистской квантовой механики и имеет вид (см., например, [10])

$$\Delta x \cdot \Delta v \geq \hbar / 2m_0, \quad (1)$$

где Δx и Δv — среднеквадратичные отклонения координаты x и скорости v частицы с массой (покоя) m_0 ; \hbar — постоянная Планка. Считая возможными измерения величин Δx и Δv в условиях, когда их произведение достигает минимума, из (1) получаем

$$m_0 = \hbar / (2 \cdot \Delta x \cdot \Delta v), \quad (2)$$

т. е. масса частицы выражается через неопределенности ее координаты и ее скорости — производной по времени от той же координаты.

Характерной чертой основных физических законов является то, что для их описания в формулах используются константы, которые, как и сами законы, остаются неизменными в течение по крайней мере последних $\sim 10^{11}$ лет. К таким константам относятся гравитационная постоянная, скорость распространения света в вакууме, постоянная Планка.

Если говорить об экономических законах, которые в принципе основаны на результатах динамических измерений как физического (например, количества тех или иных материальных ресурсов), так и экономического (например, тарифы) характера, то здесь ситуация не-

сколько иная. Адекватность формализмов, используемых для их математического описания, должны подвергаться постоянной проверке и необходимой коррекции. Это связано с тем, что измерения — это всегда сравнение с чем-то, принятым за эталон, однако в экономике постоянных стандартов не существует в принципе. Таким образом, экономические измерения в своей первооснове относительны и имеют локальный во времени, пространстве и других, социально-экономических координатах характер.

Именно по этим причинам для оценки состояния, тенденций и перспектив развития экономик (глобальных, региональных, национальных) важное значение имеет анализ временных рядов, порождаемых динамикой фондовых индексов, курсов валют и криптовалют, цен на спотовых рынках и т. п.

Пусть существует совокупность из M временных рядов длиной N отсчетов каждый, касающийся одного и того же промежутка времени T с одинаковым минимальным шагом времени Δt_{\min} :

$$X_i(t_n), t_n = \Delta t_{\min} n; n = 0, 1, 2, \dots, N-1; i = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

Нормализуем все ряды для приведения их к безразмерному и одинаковому (с точностью до аддитивной постоянной) представлению:

$$x_i(t_n) = \ln X_i(t_n), t_n = \Delta t_{\min} n; n = 0, 1, 2, \dots, N-1; i = 1, 2, \dots, M. \quad (4)$$

Будем считать, что каждый новый ряд $x_i(t_n)$ представляет собой одномерную траекторию некоторой фиктивной частицы с номером i , координата которой достигается через каждый промежуток времени Δt_{\min} , и оценим среднеквадратичные отклонения ее координаты и скорости на некотором временном окне ΔT :

$$\Delta T = \Delta N \cdot \Delta t_{\min} = \Delta N, 1 \ll \Delta N \ll N. \quad (5)$$

«Мгновенная» скорость i -й частицы в момент времени t_n определяется соотношением:

$$v_i(t_n) = \frac{x_i(t_{n+1}) - x_i(t_n)}{\Delta t_{\min}} = \frac{1}{\Delta t_{\min}} \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)}, \quad (6)$$

ее дисперсия D_{v_i} :

$$D_{v_i} = \frac{1}{(\Delta t_{\min})^2} \left(\left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left(\left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2 \right), \quad (7)$$

а среднеквадратичное отклонение Δv_i :

$$\Delta v_i = \sqrt{D_{v_i}} = \frac{1}{(\Delta t_{\min})} \left(\left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left(\left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

где $\langle \dots \rangle_{n, \Delta N}$ означает среднее значение для временного окна длиной $\Delta T = \Delta N \cdot \Delta t_{\min}$.

По аналогии с (1) для траектории фиктивной частицы можно записать соотношение неопределенностей в виде:

$$\Delta x_i \cdot \Delta v_i \sim h / m_i, \quad (9)$$

или,

$$\frac{1}{\Delta t_{\min}} \left(\left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left(\left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2 \right) \sim \frac{h}{m_i}, \quad (10)$$

где m_i — экономическая «масса» i -го ряда, h — величина, являющаяся аналогом экономической «постоянной» Планка.

В отличие от физической постоянной Планка \hbar , величина h , вообще говоря, может зависеть от исторического периода времени, для которого взяты ряды, положения и величины интервала усреднения (экономические процессы по-разному протекают во время кризиса и рецессии), от номера ряда i и т.д.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Для апробации предложенного подхода были выбраны специально подготовленные группы временных рядов ежедневных значений цен криптовалют [10]. Очевидно, что в течение охваченного периода произошли различные критические и кризисные явления, ключевые из которых сводятся к пяти известным кризисам:

1. Обвал рынка в апреле 2013 г. (пик кризиса 08.04.2013 г.).
2. Пузырь 2013 г. (пик кризиса 10.10.2013 г.).
3. Крах биткоин-биржи Mt. Gox в 2014 г. (пик кризиса 05.02.2014 г.).
4. Летняя распродажа (selloff) 2017 г. (пик кризиса 09.06.2017 г.).
5. Великий Китайский холод (начало кризиса — 31.08.2017 г.; пик кризиса — 10.12.2017 г.).

Оказалось, что удобно анализировать вместе второй и третий, а также четвертый с пятым кризисы.

Расчеты экономической массы проводились в рамках алгоритма скользящего окна: величина массы рассчитывалась для подряда определенной длины (окна), например, 25–250 точек, затем смещалось с определенным шагом пропорциональным Δt_{\min} и процедура продолжалась до исчерпания временного ряда. Интересно теперь сопоставить динамику исходного временного ряда с рассчитанным показателем — в нашем случае с экономической массой. Если в период кризиса выбранный показатель ведет себя характерным образом, например, растет или падает, то его можно использовать для идентификации или предупреждения кризиса.

На рис. 1а, 1б приведена динамика значений биткоина BTC и его экономической массы M , рассчитанной для окна размером в 250 дней. На рис. 1б, где представлена динамика массы в период первого кризиса, видно, что в докризисный и собственно кризисный периоды масса заметно уменьшается, восстанавливаясь в посткризисный период.

Результаты расчета чувствительны к размеру окна. Поскольку рынок криптовалют значительно более волатильный, следует выбирать меньшие значения окон, чем для фондовых рынков. Мы остановились дальше на окнах размером в 15 и 25 дней (рис. 2а, 2б).

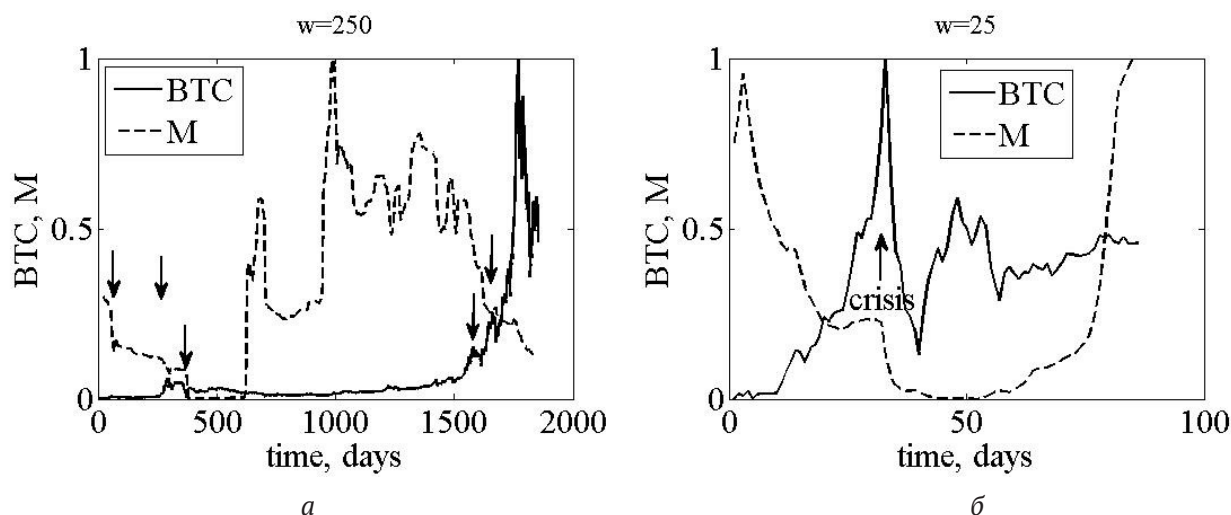


Рис. 1. Сравнительная динамика ежедневных значений цены биткоина и экономической массы: а — период включает все рассмотренные кризисы, отмеченные стрелками, размер окна $w = 250$; б — обвал рынка в апреле 2013 г., размер окна $w = 25$

Источник: рассчитано авторами по данным [7]

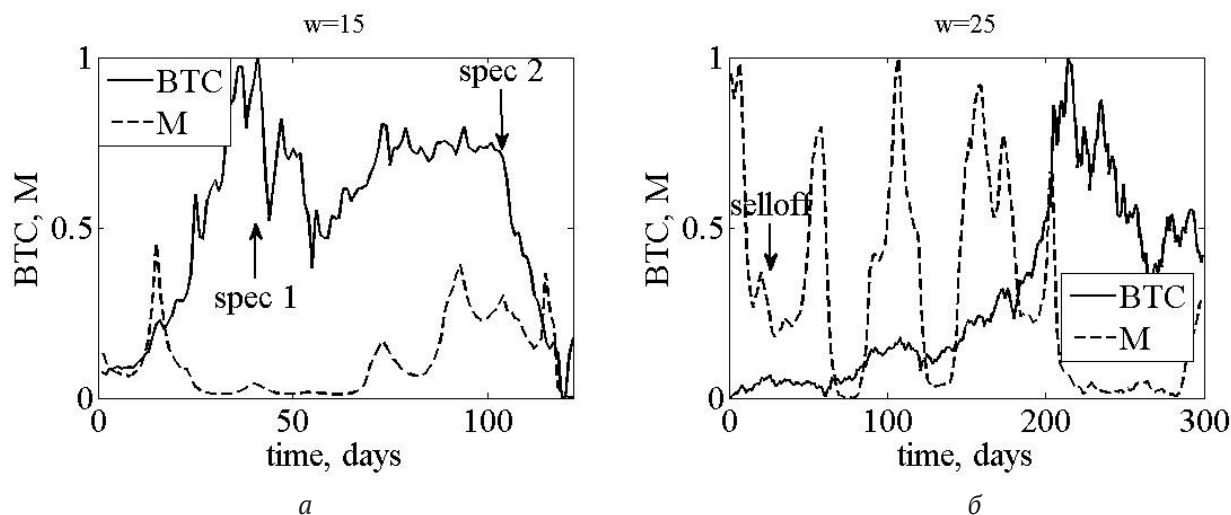


Рис. 2. Динамика поведения биткоина и его эффективной массы в период 2–3-го (а) и 4–5-го (б) кризисов. Второй кризис обозначен как spec 1, а третий как spec 2

Источник: рассчитано авторами по данным [7]

Проведен методологический и философский анализ фундаментальных физических понятий и их формальных и неформальных связей с реальными экономическими измерениями. Используются базовые представления общей теории относительности и релятивистской квантовой механики о свойствах пространства-времени и особенности физических измерений. Предложены процедуры определения нормализованных экономических координат, экономической массы и неоднородного экономического времени. Процедуры основаны на анализе временных рядов, описывающих социально-экономические процессы, и экономической интерпретации принципа неопределенности Гейзенберга, введено понятие экономической постоянной Планка. Теория апробирована на реальных рядах экономической динамики, ко-

торые включают известные кризисы. Показано, что индикатором кризисных явлений может служить экономическая масса временного ряда. Во-первых, чем меньше масса, тем ощутимее есть кризис. Во-вторых, уменьшение массы опережает падение индекса, что позволяет использовать этот факт в качестве индикатора-предвестника надвигающегося кризиса.

Список использованных источников

1. *Soloviev, V.* Quantum econophysics — problems and new conceptions / V. Soloviev, V. Saptsin, I. Stratiychuk // Вісник КНУТД. — 2012. — № 5. — С. 243–248.
2. *Сапцин В.М.* Релятивистская квантовая эконофизика. Новые парадигмы моделирования сложных систем: моногр. / В.М. Сапцин, В.Н. Соловьев. — Черкассы : Брама-Украина, 2009. — 64 с.
3. *Saptsin, V.* Relativistic quantum econophysics — new paradigms in complex systems modelling [Electronic resource] / V. Saptsin, V. Soloviev — URL: [arXiv:0907.1142v1](https://arxiv.org/abs/0907.1142v1) [physics.soc-ph] 7 Jul 2009.
4. *Saptsin, V.M.* Heisenberg uncertainty principle and economic analogues of basic physical quantities / V.M. Saptsin, V.M. Soloviev // Computer Modelling and New Technologies. — 2011. — Vol. 15. — № 3. — P. 21–26.
5. *Ozawa, M.* Heisenberg original derivation of the uncertainty principle and its universally valid reformulations [Electronic resource] / M. Ozawa. // — URL: [http:// arXiv:1507.02010](https://arxiv.org/abs/1507.02010) [quant-ph].
6. *Соловйов, В.М.* Принцип невизначеності Гейзенберга і економічні кризи / В.М. Соловйов, В.М. Сапцін // Вісник Черкаського університету. — 2016. — Сер. «Економ.науки». — № 3. — С. 3–10.
7. Дані ринку криптовалют [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://finance.yahoo.com/cryptocurrencies>.
8. *Nakamoto, S.* Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System [Electronic resource] / S. Nakamoto. — URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
9. *Мелани, С.* Блокчейн: Схема новой экономики: пер. с англ. / М. Свон. — М. : Олимп-Бизнес, 2017. — 240 с.
10. *Ландау, Л.Д.* Квантовая механика. Нерелятивистская теория / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М. : Наука, 1973. — 750 с.
11. *Danilchuk, G.* Dynamics of graph spectral entropy in financial crisis / G. Danilchuk, V. Soloviev // Socio-economic aspects of economics and management. — Taunton, MA, USA. — 2015. — Vol. 2. — P. 227–234.