Соловьев В.Н., Сапцин В.М. **УДК 330.46:519.86**

ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

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

В работах [1-3] мы предложили новую парадигму моделирования сложных систем, основанную на идеях и представлениях квантовой, в том числе и релятивистской, механики. Было показано, что использование в описании социально-экономических процессов квантово-механических аналогий, включая принцип неопределенности, понятие оператора и квантовую интерпретацию измерительных процедур, имеет большие перспективы.

Цель работы. Целью настоящего исследования является анализ фундаментальных физических понятий и констант с точки зрения достижений современной теоретической физики, а также поиск адекватных им и полезных аналогов в социально-экономических явлениях и процессах.

О природе и взаимосвязях основных физических понятий. К исходным, строго не определяемым физическим понятиям обычно относят время, расстояние и массу, считая, что путем тех или иных измерительных процедур им могут быть сопоставлены определенные числовые значения. В таком случае другие физические величины, например, скорость, ускорение, импульс, сила, и т.д., могут быть выражены и определены через три указанные выше основные с использованием соответствующих физических законов.

Подчеркнем, что без базовых физических понятий не обходится ни одна современная физическая теория, включая релятивистскую и квантовую физику. Тем не менее мы хотели бы обратить внимание на следующее.

Как показал Эйнштейн в общей теории относительности, наличие неоднородно распределенных масс приводит к искривлению 4-мерного пространства-времени, в результате «декартовы» координаты пространства Минковского (x, y, z, ict), ($i=\sqrt{-1}$ – мнимая единица, c – скорость света в вакууме, t – время), становятся криволинейными [4]. Таким образом существование масс в нашем мире может быть описано и геометрическим языком.

Если от глобальных макроявлений перейти к микромиру, в котором действуют законы квантовой физики, то мы приходим к тому же самому выводу о приоритетной роли пространственно-временных координат в определении всех остальных физических величин, включая массу.

Воспользуемся известным соотношением неопределенностей Гейзенберга, которое является фундаментальным следствием аксиом нерелятивистской квантовой механики и имеет вид (см., например, [2]):

$$\Delta x \cdot \Delta v \geq \eta / 2m_0 , \qquad (1)$$

где Δx и Δv – среднеквадратичные отклонения координаты x и скорости v соответственно частицы с массой (покоя) m_0, η – постоянная Планка. Считая в принципе возможными измерения величин Δx и Δv в условиях, когда их произведение достигает минимума, из (1) получаем:

$$m_0 = \eta / (2\Delta x \Delta v), \qquad (2)$$

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

Динамические особенности экономических измерений, экономический аналог соотношения неопределенностей Гейзенберга. Характерной чертой основных физических законов является то, что в используемых для их описания формулах присутствуют константы, которые, как и сами законы, остаются неизменными на протяжении по крайней мере последних $\sim 10^{11}$ лет. К таким константам относятся гравитационная постоянная, скорость распространения света в ваккууме, 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, их стоимости) характера, то здесь ситуация несколько иная. Адекватность используемых для их математического описания формализмов должна подвергаться постоянной проверке и необходимой коррекции. Это связано с тем, что измерения – это всегда сравнения с чем-то, принятым за эталон, а в экономике постоянных эталонов 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 важное значение для оценки состояния, тенденций и перспектив развития как глобальных, так и национальных и региональных экономик играет анализ временных рядов, порождаемых динамикой фондовых индексов, курсов валют, цен на спотовых рынках.

Пусть дана совокупность из M временных рядов длиной N отсчетов каждый, относящихся к одному и тому же временному промежутку T, с одинаковым минимальным временным шагом $\Delta t_{\min}$:

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

Чтобы привести все ряды к безразмерному и одинаковому, с точностью до аддитивной постоянной, представлению, нормализуем их:

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

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

$$\Delta T = \Delta N \cdot \Delta t_{\min} = \Delta N, \quad 1 << \Delta N << N . \tag{5}$$

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

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

ее дисперсия D_{v_i}:

$$D_{v_i} = \frac{1}{(\Delta t_{\min})^2} \left(< \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} - \left(< \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} \right)^2 \right), \tag{7}$$

а среднеквадратичное отклонение Δv_i:

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

где $< ... >_{n,\Delta N}$ означает усреднение по временному окну длиной $\Delta T = \Delta N \cdot \Delta t_{\min}$.

В качестве оценки дисперсии координаты i-й частицы воспользуемся дисперсией $D_{\Delta x_i}$ случайной величины $\ln\left(X_i(t_{n+1})/X_i(t_n)\right)$:

$$\begin{aligned} D_{\Delta x_i} &= < \left(x_i(t_{n+1}) - x_i(t_n)\right)^2 >_{n,\Delta N} - \left(< x_i(t_{n+1}) - x_i(t_n) >_{n,\Delta N}\right)^2 = \\ &= < \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} - \left(< \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} \right)^2 . \end{aligned} \tag{9}$$

Тогда для среднеквадратичного отклонения Δx_i с учетом (9) получаем:

$$\Delta x_i = \sqrt{D_{\Delta x_i}} = \left(< \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} - \left(< \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} . \tag{10}$$

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

$$\Delta x_i \cdot \Delta v_i \sim h/m_i , \tag{11}$$

или, с учетом (7) и (10):

$$\frac{1}{\Delta t_{\min}} \left(< \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} - \left(< \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} \right)^2 \right) \sim \frac{h}{m_i} , \tag{12}$$

где m_i - экономическая «масса» i-го ряда, h - величина, играющая роль экономической «постоянной» Планка.

В отличие от физической постоянной Планка h, 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 др.

Обобщим соотношение (12) на случай, когда экономические измерения на временном интервале T, в результате которых были получены ряды (4), проведены с временным шагом $\Delta t = k \cdot \Delta t_{\min}$, где $k \geq 1$ - некоторое заданное целое положительное число. С формальной точки зрения это означало бы, что в исходных рядах (4) выброшены все члены, за исключением членов с номерами $n = 0, k, 2k, 3k, ...$. В итоге соотношение (12) приобрело бы вид:

$$\frac{1}{k \Delta t_{\min}} \left(< \ln^2 \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} - \left(< \ln \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)} >_{n,\Delta N} \right)^2 \right) \sim \frac{h}{m_i} , \tag{13}$$

и содержало бы зависимость от k.

Как в случае реальной физической частицы, так и для ее формального экономического аналога, любое измерение влияет на результат. Поэтому статистические свойства «прореженных» рядов, на основании которых и было получено соотношение (13), в принципе должны зависеть от того, проводились или нет *реальные* измерения в промежуточных точках.

Таким образом, обобщая все сказанное выше, мы должны считать отношение h/m_i в правой части (13) некоторой неизвестной функцией номера ряда i, размера окна усреднения ΔN, времени $\bar{n}$ (центра окна усреднения), временного шага наблюдения (регистрации) k.

Чтобы получить для этой функции хотя бы и приближенное, но явно вычиляемое выражение, и проследить характер зависимостей, постулируем для правой части (19) следующее модельное представление:

$$\frac{h}{m_i} \cong \frac{\tau(\bar{n}, \Delta N_\tau) \cdot H_i(k, \bar{n}, \Delta N_H)}{\Delta t_{\min} \cdot m_i}, \tag{14}$$

где

$$m_i^{-1} = <\varphi_i(n,1)>_{(0 \le n \le N-2)}, \tag{15}$$

m_i – безразмерная экономическая масса i-го ряда,

$$\tau(\bar{n}) = \frac{<\varphi_i(n,1,\Delta N_\tau)>_{(\bar{n}-\Delta N_\tau/2 \ <n< \ \bar{n}+\Delta N_\tau/2),\ (1 \le i \le M)}}{<\left(<\varphi_i(n,1,\Delta N_\tau)>_{(\bar{n}-\Delta N_\tau/2 \ <n< \ \bar{n}+\Delta N_\tau/2),\ (1 \le i \le M)}\right)>_{\bar{n}}} \tag{16}$$

– локальный коэффициент сжатия ($\tau(\bar{n})<1$) или растяжения ($\tau(\bar{n})>1$) физического времени, позволяющий ввести понятие неоднородного экономического времени (для однородного случая $\tau(\bar{n})=1$),

$$H_i(k,\bar{n}) = \frac{<\varphi_i(n,k,\Delta N_H)>_{\bar{n}-\Delta N_H/2 \ <n< \ \bar{n}+\Delta N_H/2}}{<\varphi_i(n,1,\Delta N_H)>_{\bar{n}-\Delta N_H/2 \ <n< \ \bar{n}+\Delta N_H/2}}; \quad k = 1,2,\ldots k_{\max} \tag{17}$$

– безразмерный коэффициент порядка единицы, указывающий, для заданных i и $\bar{n}$, на отличия в зависимости дисперсии $D_{\Delta x_i}$ (см. (9) с учетом случая $k \ge 1$) от закона $D_{\Delta x_i} \sim k$,

$$\varphi_i(n,k,\tilde{N}) = \frac{1}{k}\left(\ln^2 \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)} - \left(<\ln \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)}>_{n,\tilde{N}}\right)^2\right) \tag{18}$$

(в последней формуле индекс $\tilde{N} = N, \Delta N_\tau, \Delta N_H$ указывает на параметры усреднения по n в соответствии с формулами (15-17)), окна усреднения $\Delta N_\tau, \Delta N_H$ выбираются с учетом условий:

$$k_{\max} < \Delta N_\tau < \Delta N_H < N. \tag{18}$$

В соответствии с определениями (16,17) для коэффициентов $\tau(\bar{n})$ и $H_i(k,\bar{n})$ имеют место условия нормировки:

$$<\tau(\bar{n})>_{\bar{n},N} = 1; \quad H_i(1,\bar{n}) = 1, \tag{19}$$

а множитель $1/\Delta t_{\min}$ в правой части (14) можно рассматривать как инвариантную составляющую экономической постоянной Планка h:

$$\bar{h} = 1/\Delta t_{\min}, \tag{20}$$

Как видно, величина $\bar{h}$ имеет естественную размерность обратного времени. Отметим также, что можно ввести среднюю экономическую массу всей совокупности рядов (или любой выделенной группы рядов) по формуле:

$$m^{-1} = M^{-1}\sum_{i=1}^{M} m_i^{-1}. \tag{21}$$

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Для апробации предложенных соотношений и определений мы выбрали 9 экономических рядов с $\Delta t_{\min}$ в один день за период с 1993 по 2010 годы. Выбранные ряды относятся к трем следующим, различным по происхождению группам: 1) индексы фондового рынка США (S&P500), Великобритании (FTSE) и Бразилии (BVSP); 2) кросс-курсы валют (chf, jpy, gbp) к доллару; 3) спотовый рынок (цены на золото, серебро и нефть).

В качестве примера на рис. 1-3 приведены индексы фондового рынка (рис. 1), модули мгновенных скоростей (abs returns, формула (6)) и их дисперсии (volatility, формула (9)) для ряда кросс-курса японской йены (jpy) к американскому доллару (рис. 2), коэффициент сжатия-растяжения времени $\tau(t)$ (формула (16)) для каждого из трех рынков (рис. 3).

В табл. 1. приведены значения безразмерной экономической массы ряда m_i (формула (15)) для всех 9 входных рядов, а также средние по каждой группе массы (формула (21)) и их относительные стандартные отклонения.

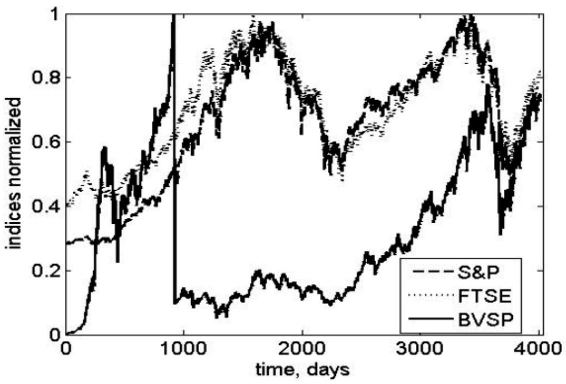


Рис. 1. Ежедневные фондовые индексы США (S&P), Великобритании (FTSE) и Бразилии (BVSP) за период с 1993 по 2010 годы.

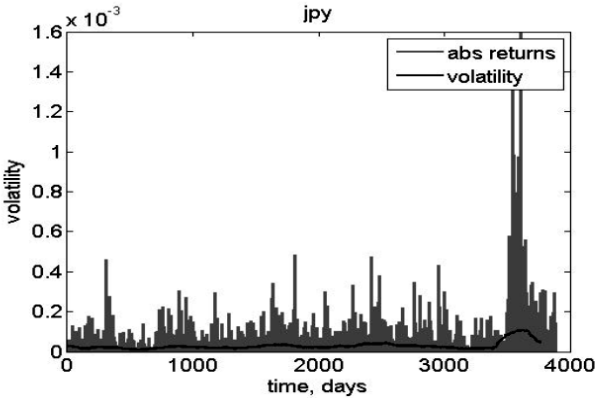


Рис. 2. Модули мгновенных скоростей (abs returns) и их дисперсии (volatility).

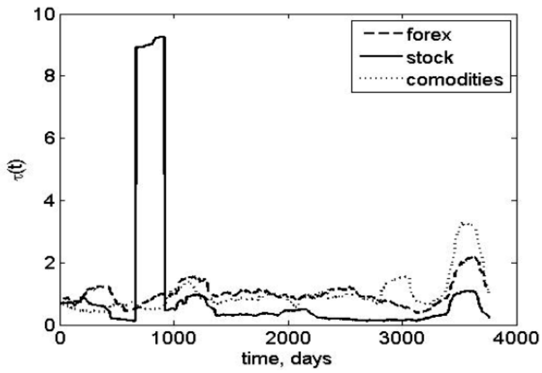


Рис. 3. Коэффициенты сжатия-растяжения времени $\tau(t)$.

Таблица 1. Экономические массы рядов

Входной ряд		Экономическая масса	Средняя по группе экономическая масса	Стандартное отклонение в относительных единицах
Спотовый рынок	золото	$9{,}888\cdot10^3$	$2{,}71\cdot10^3$	0,666
	серебро	$3{,}215\cdot10^3$		
	нефть	$1{,}44\cdot10^3$		
Валютный рынок	jpy	$2{,}148\cdot10^4$	$2{,}84\cdot10^4$	0,209
	gbp	$3{,}523\cdot10^4$		
	chf	$2{,}180\cdot10^4$		
Фондовый рынок	S&P 500	$6{,}251\cdot10^3$	$1{,}27\cdot10^3$	1,13
	FTSE	$6{,}487\cdot10^3$		
	BVSP	$4{,}875\cdot10^2$		

Как видно из таблицы, наименьшей экономической массой характеризуется фондовый рынок, наибольшей – валютный. На спотовом рынке наименьшую массу имеет ряд цен на нефть, наибольшую – на золото, на валютном – курсы йены (jpy) и британского фунта стерлингов (gbp) соответственно, хотя разброс масс меньше, чем для спотового рынка. Что касается фондового рынка, то здесь разброс масс наибольший, при этом наименьшую массу имеет динамично развивающийся рынок Бразилии (BVSP), а наибольшую, как и в предыдущей группе – рынок Великобритании (FTSE). Устойчивое «лидерство» Великобритании по величине массы можно объяснить тем известным фактом, что эта страна всегда отличалась относительной «закрытостью» своей экономики по сравнению с другими европейскими и неевропейскими странами.

Выводы. Проведен методологический и философский анализ фундаментальных физических понятий и их формальных и неформальных связей с реальными экономическими измерениями. Использованы базовые представления общей теории относительности и релятивистской квантовой механики о свойствах пространства-времени и особенностях физических измерений. Предложены процедуры определения нормализованных экономических координат, экономической массы и неоднородного экономического времени. Процедуры основанны 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, включая фондовые индексы, курсы валют и спотовые цены. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований.

Источники и литература:

1. Соловьев В. Н. Квантовая эконофизика – физическое обоснование системних концепций в моделировании социально-экономических процессов / В. Н. Соловьев, В. М. Сапцин // Анализ, моделирование, управление, развитие экономических систем : труды II Междунар. Школы-симпозиума АМУР-2008 (г. Севастополь, 12-18 сент. 2008 г.) / под ред.: О. Л. Королева, А. В. Сигала. – Симферополь, 2008. – С. 94.
2. Сапцин В. М. Релятивистская квантовая эконофизика. Новые парадигмы моделирования сложных систем : монография / В. М. Сапцин, В. Н. Соловьев. – Черкассы : Брама-Украина, 2009. – 64 с.
3. Saptsin V. Relativistic quantum econoohysics – new paradigms in complex systems modelling : [Electronic resource] / V. Saptsin, V. Soloviev. – Access mode : arXiv:0907.1142v1 [physics.soc-ph] 7 Jul 2009.
4. Ландау Л. Д. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1973. – 504 с.

Соловйова В.В. **УДК 330.115:336.763**

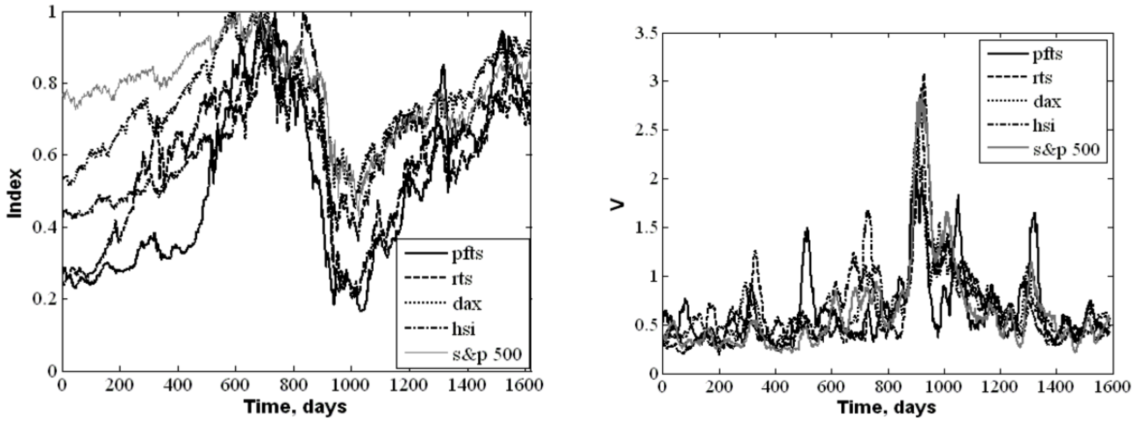
МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ МОЖЛИВИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ФОНДОВОГО РИНКУ УКРАЇНИ

Постановка проблеми. Світова економіка повільно відновлюється від глобальної фінансової кризи 2008-2010 років, але деякі з відомих аналітиків і практиків стверджують про так зване «подвійне занурення» - другу хвилю світової кризи [1]. Фондовий ринок є надзвичайно чутливим до зміни економічних трендів, а дані фондових індексів можна використовувати для побудови індикаторів і передвісників можливих явищ, а також формування середньо- та довгострокових прогнозів [2].

Аналіз основних досліджень і публікацій. Перші роботи з питань аналізу фондового ринку, як складної, нелінійної, синергетичної системи відносяться до кінця минулого століття. Авторами являються відомі зарубіжні (В. Б. Занг, Е. Петерс, Д. Сорнетт, Е. Стенлі) та вітчизняні (Н. Максишко, В. Перепелиця, Л. Сергеєва, О. Шарапов). Сьогодні ці роботи продовжуються у напрямку побудови адекватних моделей фондового ринку, які б враховували внутрішні структурні та динамічні властивості складної системи [3].

Мета статті – провести нелінійний еконофізичний аналіз поточного стану фондових ринків України та інших регіонів, зокрема, Росії, Німеччини, Китаю та США. Дослідити основні сигнали ринків щодо можливих кризових сценаріїв як найближчим часом, так і в середньостроковій перспективі.

Виклад основного матеріалу. У якості баз даних використаємо щоденні значення за співставний період фондових індексів України (за даними індексу ПФТС – www.pfts.com), Росії (РТС - www.rts.ru), Німеччини (DAX - finance.yahoo.com), Китаю (HSI - finance.yahoo.com) та США (S&P 500 - finance.yahoo.com). У нормалізованому вигляді згадані індекси за період часу з 02.01.2005 по 17.07.2011 рр. представлені на рисунку 1а. Видно, що у до кризовий період (точки 1-800) відбувалось стрімке зростання індексів на тлі формування іпотечного міхура. Криза у вересні 2008 року призвела до значного зниження індексів, які не відновилось до своїх докризових значень.



a) b)

Рис. 1. Динаміка нормалізованих значень фондових індексів (a) та їх волатильностей (b). Волатильність розраховано за формулою (2) з вікном ширини $n = 30$ і кроком 1

Перейдемо від абсолютних значень індексів Φ до логарифмічних прибутковостей:

$$G(t) = \ln \Phi(t + \Delta t) - \ln \Phi(t) \cong \frac{\Phi(t + \Delta t) - \Phi(t)}{\Phi(t)}, \quad (1)$$