

*Є. П. ГОМОЗОВ, В. І. МАЦ***МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ІТ БІЗНЕСІВ**

Сучасний світ є світом майже неперервних різноманітних катастроф. Загальне поняття ризиків тісно пов'язано з такими катастрофами природного, техногенного, інформаційного та фінансового характеру. Визначення ризиків сильно відрізняється у фахівців різних галузей. Тому актуальним є формування загальних підходів до описання вказаних явищ в загальних термінах, таких підходів, які могли би привести до побудови математичних моделей аналізу та управління ризиками, спроможних працювати в режимі реального часу. Взагалі кажучи, саме фондові та фінансові ринки миттєво реагують на різноманітні зміни навколишнього середовища стандартним чином. Такою стандартною реакцією є різка зміна курсів фінансових активів та обвали фондових ринків. В роботі було проаналізовано класичні підходи щодо визначення та математичного моделювання якісного і кількісного аналізу як ризиків конкретної компанії, так і фондового ринку в цілому. Також надано огляд існуючих на сьогоднішній день моделей визначення і обчислення ризиків фондових ринків. Гіпотези, які лежать в основі цих моделей, тісно пов'язані з ймовірнісними підходами. Ринки вважаються стаціонарними, а моделі лінійними та квадратичними. Однак, завдяки складному устрою сучасного вже глобального світового фондового ринку, ці моделі вже не працюють. Більш-менш адекватні прогнози зазвичай потребують великої кількості спостережень, погано працюють в околі біфуркацій і не мають комп'ютерної реалізації, яка мала б змогу робити прогнози у режимі реального часу. Найбільш швидко змінюються ринки ІТ-бізнесів. В роботі зроблено перший крок у побудові «синтетичної» моделі динамічного обчислення і управління ризиками ІТ-бізнесів.

Ключові слова: р-адичні моделі, фондові ринки, аналіз і управління ризиками фондових ринків, моделі у вигляді рівнянь у дробових похідних, динамічне управління ризиками ІТ-бізнесів.

*Y. P. GOMOZOV, V. I. MATS***MATHEMATICAL MODELS OF IT BUSINESS RISKS ASSESSMENT**

The modern world is a world of almost continuous various disasters. The general concept of risks is closely related to such disasters of a natural, man-made, informational and financial nature. The definition of risks differs greatly among specialists in different industries. Therefore, the formation of general approaches to the description of the indicated phenomena in general terms is relevant. Such general approaches that could lead to the construction of mathematical models of risk analysis and management capable of working in real time. Generally speaking, it is stock and financial markets that instantly react to various environmental changes in a standard way. Such a standard reaction is a sharp change in the rates of financial assets and the collapse of stock markets. Therefore, the authors consider it expedient to start the work with the analysis of the risks of companies and stock markets. The paper analyzed classical approaches to the definition and mathematical modeling of qualitative and quantitative analysis of both the risks of a specific company and the stock market as a whole. An overview of currently existing models for determining and calculating the risks of stock markets is also provided. The hypotheses underlying these models are closely related to probabilistic approaches. Markets are assumed to be stationary and models are assumed to be linear and quadratic. However, due to the complex structure of the current global stock market, these models no longer work. More or less adequate forecasts usually require a large number of observations, work poorly around bifurcations, and do not have a computer implementation that would be able to make forecasts in real time. IT-business markets are changing the fastest, so it was very important to start analyzing the risks of such markets. The work takes the first step in building a "synthetic" model of dynamic calculation and risk management of IT-businesses.

Keywords: p-adic models, stock markets, analysis and risk management of stock markets, models in the form of equations in fractional derivatives, dynamic risk management of IT-businesses.

Вступ. За останній час можна побачити лавинне зростання різноманітних катастроф фінансового характеру (дивись, наприклад, [1]). Ринки ІТ-бізнесів – найбільш сучасні і динамічні, мають високу волатильність. Крім того, вже активно функціонують фінансові ринки ІТ грошей. Тому автори вважають актуальною тему даної статті.

Поведінка фінансових і фондових ринків є фактично реакцією у режимі реального часу на різноманітні прогнозні та реальні події. Зазначимо, що для фінансових ринків поняття динамічного ризику включає можливість як втрат, так і додаткового прибутку. Зараз існує багато моделей кількісної оцінки фінансових ризиків. Тому нам здається доцільним подивитися на класичні і сучасні моделі кількісної оцінки ризиків фінансових та фондових ринків з точки зору підходів до математичного апарату, за допомогою якого побудована та чи інша модель. Зокрема, в основі побудови всіх цих моделей лежить гіпотеза щодо поведінки "типового інвестора". Якщо така модель є загально відомою, ми не будемо давати посилання на літературу про конкретні моделі

кількісної оцінки ризиків, які і досі використовуються в практиці фінансових аналітиків.

В роботі ми будемо опиратися на ідеологію, підходи та методи економіфізики — науки, що застосовує методологію фізики для аналізу економічних даних. В сучасному розумінні економіфізика це поєднання досягнень у природничих та технічних науках, математиці, інформаційних технологіях, аналізу великих даних щодо вивчення складних систем різної природи, які проявляють універсальні властивості.

Сам зміст терміну "ризик" традиційно розуміється різними фахівцями неоднозначно. Крім того, у різних галузях використовують різноманітні якісні та кількісні оцінки ризиків.

З точки зору застосування математичних моделей в теорії прийняття рішень:

- коли є коректна можливість застосування моделей та методів теорії ймовірностей та математичної статистики для визначення оптимальних рішень – кажуть, що рішення приймається в умовах ризику;

- коли є коректна можливість застосування моделей та методів різноманітних критеріїв оптимальності та теорії ігор для визначення оптимальних рішень - кажуть, що рішення приймається в умовах невизначеності (тобто коли повністю відсутня інформація про ймовірність станів середовища);

- коли є коректна можливість застосування моделей та методів теорії розмитих множин (fuzzy sets) для визначення оптимальних рішень - кажуть, що рішення приймається в умовах нечіткості.

Однак взагалі під аналізом ризиків звичайно розуміють всі якісні та кількісні методи визначення вразливостей та загроз в умовах недетермінованості та можливість застосування попередніх заходів безпеки.

Короткий опис класичних досі існуючих підходів і моделей оцінки ризиків на фондових ринках. Щодо ризиків, пов'язаних з функціонуванням фондових ринків, фінансові аналітики досі використовуються такі класичні моделі обчислення в рамках кількісних оцінок ризиків:

У задачах оцінки індивідуальних бізнесів з поточною вартістю активів, що повільно змінюється, склалися певні методи аналізу, розрахунку та управління ризиками. Всі ці методи базуються на різних процедурах класифікації ризиків та їх експертному прогнозуванні, що призводять до моделей кумулятивної побудови індивідуалізованої для цієї компанії ставки дисконту як лінійної функції ризиків.

Зараз у США в пенсійних і страхових фондах в якості універсальної міри ризику використовується більш нова VaR-методологія (VaR-Value-at-Risk), запропонована у середині 1990-х років.

Зрозуміло, що класичні лінійні моделі та моделі і методи теорії ймовірностей та математичної статистики вже не є в сучасному світі у багатьох випадках адекватним математичним апаратом. Єдино, що має сенс з класичних підходів – це виділення так званих систематичних і несистематичних ризиків. Систематичні ризики – це ризики ринку в цілому, несистематичні ризики – це ризики конкретної фірми.

Фрактальна модель ринку (FMH) створювалася як альтернатива EMH. Ця гіпотеза надає особливого значення впливу інформації та інвестиційним горизонтам у поведінці інвесторів. Передбачається, що люди не визнають трендів і не реагують на них до тих пір, поки ці тренди добре не встановляться і інвестори приймають те рішення, яке обумовлено накопиченою, але до цього ігнорованою інформацією.

Взагалі відомі моделі кількісної оцінки ризиків пов'язані або з конкретною моделлю оцінки інвестицій, або процедурами оптимізації конкретних моделей портфельного аналізу.

Короткий опис сучасних підходів до оцінки ризиків на фондових ринках. Як відомо, завжди існували проблеми в прогнозуванні біфуркацій курсів цінних паперів (довжина флетів і трендів, точок

перелому трендів, «мильних бульбашок», обвалів ринку).

Математичні моделі прогнозування так званого загального «обвалу ринку» досліджено в [2]. З теорії динамічних систем випливає, що мережа сучасних фондових ринків, що функціонує в режимі реального часу, повинна включати в себе області хаосу. І справді, за останні двадцять років у різних країнах прокотилася ціла серія фінансових катастроф «нового типу», наприклад, крах біржі FTX у 2022 році та її наслідки (наприклад, [3]).

Для опису такого роду явищ адекватним математичним апаратом є методи теорії хаотичної динаміки та теорії біфуркацій, що дозволяє будувати адекватні динамічні моделі, які мають біфуркації циклів та стохастичні режими.

Із цих теорій також випливає, що майже будь-який процес із вартістю активів, що швидко змінюється в режимі реального часу, є К-системою і має область хаосу (що і спостерігається в даний час на практиці, наприклад, [4]).

Для аналізу фінансових та фондових ринків стали використовувати також методи р-одичного аналізу, бо ціни активів завжди виражаються раціональними числами (наприклад, [5]). Між іншим, зазначимо, що зараз не існує прийнятної р-одичної теорії ймовірностей.

Для обчислення ризиків використовуються методи системного аналізу (наприклад, [6, 7]), нечітких множин (наприклад, [8]) та нейронних мереж (наприклад, [9]).

У свою чергу ринки ІТ-бізнесів є структурно нестійкими. Ці нестійкі ринки включені як вузли в мережу світової " нової економіки", що функціонує в режимі реального часу. ІТ-бізнеси додатково характеризуються наявністю нової категорії ризиків, які можна назвати "інформаційно-поведінковими", і особливою цінністю динаміки зростання частки ринку, що росте.

Постановка задачі. На основі підходів економіки запропонувати нові математичні моделі динамічного управління аналізом ризиків, як деякої загальної оцінки нестабільності.

Короткий аналіз можливих підходів і математичних моделей оцінки ризиків на фондових ринках. Взагалі часові ряди дохідностей не є нормально розподіленими. Для цього випадку вже давно є класикою так званий R/S аналіз. В рамках цього аналізу можна відрізнити різні типи поведінки часових рядів, в тому числі виявляти їх фрактальну структуру. Тобто, можлива перевірка гіпотези фрактального ринку. Якщо вона виконана, відповідні часові фінансові ряди мають так звану «псевдо пам'ять».

Мірою несистематичної компоненти ризику у цьому випадку доречно вважати величину показника Херста H часового ряду дохідностей від діяльності фірми, що спостерігаються.

Величину показника Херста в залежності від розміру вибірки n можна визначити за класичною формулою [10]:

$$(R/S)_n = Cn^H \quad (1)$$

де n – розмір вибірки, R – розмах накопичених відхилень середнього ковзного, S – стандартне відхилення від середнього ковзного, C – константа. Часовий ряд, для якого має місце формула (1), має назву ряду Херста, або ряду фрактальної дифузії. Алгоритм обчислення показника Херста H наведено у [10]. Досить нескладно адаптувати цей алгоритм до методу p -одичного аналізу, але в рамках p -одичного підходу це немає сенсу, бо не існує відповідної теорії ймовірностей, але виражений p -одичним числом показник Херста можливо використовувати у випадку фрактальності відповідного ряду.

Ризик конкретного ІТ-бізнесу обчислюється по часовому ряду курсу акцій ІТ-бізнесу; ризик «обвалу ІТ-ринку» обчислюється по часовому ряду відповідних фондових індексів.

Якщо показник Херста $H \in (0,5;1]$ і відрізняється від очікуваного значення на два і більше стандартних відхилень, процес антиперсистентний. Тобто, цей процес досить швидко змінюється, але без обвалів курсу. Таким чином поведуться, як правило, курси акцій так званих «блакитних фішок» у періоди спокою.

Якщо показник Херста $H \in [0, 0,5)$ і відрізняється від очікуваного значення на два і більше стандартних відхилень, процес має довготривалу пам'ять. Тобто, цей процес персистентний. Таким чином поведуться, як правило, курси акцій не таких знаних та великих компаній у періоди спокою, а також курси акцій «блакитних фішок» у періоди коливання ринку. Така поведінка, як правило, притаманна і курсу акцій досить великого ІТ-бізнесу.

Якщо показник Херста $H = 0,5$ і відрізняється від очікуваного значення менше ніж на два стандартних відхилення, процес випадковий, класичний технічний аналіз не варто застосовувати. Таку поведінку можна побачити на порозі сильного коливання ринку.

Таким чином, значення показника Херста $H = 0,5$ є біфуркаційним в тому сенсі, що при переході через це значення змінюється тип часового ряду.

Оскільки чисельні методи завжди мають похибку, в околі цього значення треба проводити додаткові дослідження за допомогою модифікованих алгоритмів з [9].

З погляду теорії інформації, поняття ризику визначаються повнотою та достовірністю використовуваної інформації. Таким чином, у рамках цього підходу, природною мірою ризику є ентропія.

Ентропія Шеннона H_S ряду курсів ІТ-бізнесів може бути обчислена за стандартною формулою:

$$H_S = \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \quad (2)$$

де в формулі (2) n – розмір вибірки, p_i – є ймовірність появи відповідного значення часового ряду за номером i .

Ентропія Колмогорова-Сіная H_K визначає швидкість втрати динамічною системою інформації, тому для цілей портфельного інвестування в ІТ-бізнеси можливо її застосування в якості значення систематичного ризику фондового індексу NASDAQ.

Для дискретних траєкторій часових рядів ентропія Колмогорова – Сіная може бути обчисленою так:

$$H_K = - \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \lim_{n \rightarrow \infty} (1/n) \sum_{i_0 \dots i_n} p_{i_0 \dots i_n} \ln p_{i_0 \dots i_n} \quad (3)$$

де у формулі (3) береться повне покриття вибірки розміром n часових рядів курсу акцій ІТ-бізнесу у портфелі осередками зі стороною ϵ ; $p_{i_0 \dots i_n}$ – ймовірність того, що в момент часу t_0 член ряду знаходився в осередді з номером i_0 і так далі.

Для цілей портфельного інвестування в ІТ-бізнесі також можливо використовувати динамічну модель оцінки загального ризику за допомогою ентропії Колмогорова-Сіная без розподілу на систематичну і несистематичну компоненти. У рамках p -одичного підходу у розрахунку за формулою (3) немає сенсу, бо немає відповідної теорії ймовірностей. Натомість можливо використовувати його значення, виражене p -одичним числом у випадку фрактальності відповідного ряду.

Математична модель. Сучасні фондові ринки ІТ-бізнесу вочевидь мають немарківську динаміку. Тому, на наш погляд, при оцінці ризиків варто об'єднати наступні підходи:

1. Модель, що обчислює динаміку значень ризику портфелю, слід описувати рівнянням анти дифузійного типу у дробових похідних з комплексним часом (або дискретними рівняннями) із p -одичними значеннями;

2. Видається розумним слідуючи ідеям, розвиненим у відомій роботі [11], використовувати для динамічної оцінки ризиків портфелю модифікації відомих рівнянь Хатчинсона-Райта.

3. Деякі параметри моделей, які обчислюють динаміку значень ризику конкретного ІТ-бізнесу, можливо знайти за допомогою методів нечіткої математики.

4. Для обчислень рівнянь у дробових похідних можливе використання алгоритмів робот [12, 13].

5. Чисельні методи, які будуть використовуватися для цих обчислень, потрібно перевіряти на сталість.

Динамічна модель оцінки ризиків. У силу загальних теорій динамічних систем, можна припустити вплив самої структури сучасного глобального фондового ринку на результати торгів. Як відомо, ця структура може бути приблизно охарактеризована як так звана пов'язана мережева топологія. Можливо, для її вивчення буде корисно залучати методи дослідження так званого «природного інтелекту». Зрозуміло, що безглуздо будувати будь-які апріорні гіпотези про такий вплив. Потрібна велика кількість реальних спостережень і,

можливо, створення якоїсь нової гілки математики на основі, скажімо, КАМ-теорії. Зараз за допомогою алгоритму DebtRank визначають як нестабільність фінансових банківських, так і електричних мереж у певних мережевих топологіях [12].

Однак зрозуміло, що в рамках р-одичного підходу треба використовувати моделі, що лежать за межами суто технічного аналізу. Використовуючи підхід, розвинений у роботі [11], вартість конкурентної стратегії $V(N,t)$ у часі ІТ-бізнесу визначимо з рівняння:

$$D_{\alpha+}^{\alpha} V(N,t) = -(\sigma^2(N)/N^2) D^H \left(V(N,t) - \frac{\partial V}{\partial N}(N,t) \right) \quad (4)$$

Дробова похідна за часом виникає насамперед від нееквидисцентності зазначених вище часових рядів і обчислюється як індикатор оптимальної довжини ряду сканування.

У формулі (4) $D_{\alpha+}^{\alpha}$ – дробова похідна Рімана-Ліувілля, $\alpha \in \mathbb{C}$, $\text{Re } \alpha$ – індикатор оптимальної довжини сканування ряду курсу акції, $\text{Im } \alpha$ – дата виконання хедж-опціону, a – мінімальна ціна пропозиції вартості акції на продаж на момент купівлі хедж-опціону, N – величина фондового індексу NASDAQ, t – час, σ^2 – дисперсія, D^H – дробова похідна Ріса, H – показник Херста ряду курсу акції, виражений р-одичним числом.

Тоді модифікована модель для визначення загальної функції ризику може виглядати так:

для систематичної компоненти R_s :

$$\dot{V} = H(N)_K V(t) \left[1 - \int_{-\tau}^0 (V(t+\theta) Q(-\theta) - \alpha R(\theta)_s V(\theta)) d\theta \right] \quad (5)$$

У формулі (5) $\alpha \in R$, $\alpha > 0$ – параметр, τ – номер початку спостережень за даними фондового індексу NASDAQ, функція $Q(t) = [t/\sigma^2(t)] \exp(-t/\sigma(T))$, $T = HK(N)$ – ентропія Колмогорова – Синая динаміки періоду циклу фондового індексу NASDAQ, позначений першою літерою N .

Для несистематичної компоненти R_{ns} модифікованим логістичним рівнянням:

$$D_{\alpha}^{\alpha} R_{ns} = b H_K(N) R_{ns}(t) [1 - \sigma(N) R_{ns}(t) / V(N,t)] \quad (6)$$

У формулі (6) $b \in R$, $b > 0$ – параметр (який визначається методами експертних оцінок та/або методами технічного аналізу або методами нечіткої математики). $\sigma(N)$ – стандартне відхилення.

Загальна функція ризику тоді має вигляд: $R(t) = R(t)_s + R(t)_{ns}$.

Ця модель має дві точки біфуркації: перша відповідає м'якій втраті стійкості рівноваги з утворенням автоколивань, друга відповідає м'якій втраті стійкості циклу та переходу в стохастичний режим та дозволяє реалізувати стратегії аналізу та управління ризиками в режимі реального часу. Розрахунки за цими моделями можливо проводити за алгоритмами наприклад, [13].

Спираючись на модифікацію рівнянь з [11], дискретна р-одична модель загальної функції ризику R може бути обраною таким чином:

$$R(i+1) = b H_K(i) R(i) [1 - \sigma(i) (R(i)/V(i))] \quad (7)$$

У формулі (7) $b \in R$, $b > 0$ – параметр (який визначається методами експертних оцінок та/або методами технічного аналізу або методами нечіткої математики), $\sigma(i)$ – стандартне відхилення на шаг i , виражене р-одичним числом, $H_K(i)$ – ентропія Колмогорова – Синая динаміки періоду циклу фондового індексу NASDAQ, на шаг i , виражена р-одичним числом,

При переході значення параметра b через критичні, описувані моделлю біфуркації типу ефекту Фейгенбаума можуть дати прогноз поведінки глобального ринку близьким до реального в умовах світової фінансової кризи.

Цей процес можливо буде досліджувати за допомогою комп'ютерного моделювання.

Результати роботи. Запропоновано дві математичні моделі чисельної оцінки ризиків з використанням р-одичного аналізу на фондовому ринку ІТ-бізнесу, динамічна у дробових похідних та дискретна.

Висновок. Запропоновані оцінки не пов'язані з конкретною моделлю портфельної оптимізації і тому можуть бути використані для покращення результату разом зі стандартною моделлю для даного випадку.

Необхідні параметри математичних моделей оцінки ризиків визначаються за даними різних фінансових ринків, а також за допомогою методів нечіткої математики.

Отримані рівняння підлягають подальшим теоретичним дослідженням методами математичної теорії катастроф.

Далі слід одразу перейти до дискретних рівнянь та дослідити на стійкість чисельні методи їх вирішення.

Побудовані моделі потребують комп'ютерної реалізації, здатної працювати в режимі реального часу.

Надалі запропоновану модель динамічного управління ризиками цілком можливо покращити за рахунок розробки коректних методів підбору факторів, що найбільш впливають на прогноз, а також комбінуючи її з іншими методами прогнозування курсів і точок перелому тренду.

Також для оцінки ризиків можливо використання структур нейронних мереж для застосування нечіткого Методу Групового Урахування Аргументів (наприклад, [14]).

Ми гадаємо також, що для розширення цього списку моделей та методів у наших наступних роботах треба буде проводити експерименти з математичного моделювання з використанням методів перколяції, клітинних автоматів та нейронних мереж. Ми будемо використовувати в цих експериментах тільки відкриті бази даних з фондових бірж.

Список літератури

References(transliterated)

1. *Жадність і безрассудство: почему крах FTX сравнивают с кризисом 2008 года*; 28.02.2023 ForkLog. URI: <https://forklog.com/exclusive/zhadnost-i-bezrassudstvo-pochemu-krah-ftx-sravnivayut-s-krizisom-2008-goda>
2. Didier Sornette, Critical market crashes, *Physics Reports* 2003, №378, p.1-98. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(02\)00634-8](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(02)00634-8)
3. *FTX Crash: Embattled Crypto Exchange Offloads Crypto Assets to Pay Customers*, URI: <https://cryptonews.net/news/market/28465875/>
4. Ilknur Koca. *Financial model with chaotic analysis. Results in Physics*. 51 (2023) 106633
5. Zharkov V.M. *Adelic theory of stock market*, URI: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1102/1102.2515.pdf>
6. Prosyankina-Zharova T.I., Terentiev O.M., Bidyuk P.I. and Makukha M.P. Features of SAS Enterprise Guide for probabilistic modeling system, macroeconomic analysis and forecasting. *Journal of Mathematics and System Science*. NY: David Publishing Company, USA, 2016. 112-122 p. ISSN 2159-5291, USA. doi: 10.17265/2159-5291/2016.03.003
7. Бідюк П.І. *Розробка методології системного аналізу, моделювання та оцінювання фінансових ризиків. Номер державної реєстрації теми – 0115U000356*. URI: https://report.kpi.ua/files/2016_2813%20.pdf
8. Vinesh Kumar, Sandeep Kumar Gupta, Rohit Kaushik, Subhask Kumar Verma, and Olena Sakovska, *An Intuitionistic Fuzzy Approach to Analysis Financial Risk Tolerance with MATLAB in Business*, © The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2023 R. Agrawal et al. (eds.), International Conference on IoT, Intelligent Computing and Security, Lecture Notes in Electrical Engineering 982, https://doi.org/10.1007/978-981-19-8136-4_26
9. Burtnyak I., Kushnir O., Application of neuron networks to analysis of currency rate. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*. <http://journals.pnu.edu.ua> Vol. 10, No. 2 (2023), 6-14 doi: 10.15330/jpnu.10.2.6-14
10. Dmitriy Piskarev *Вычисление коэффициента Херста* URI: <https://www.mql5.com/ru/articles/2930ro>
11. May R. Time-delay versus stability in population models with two and three trophic levels. *Ecology*, 1973, 54, p. 315-325 <https://doi.org/10.2307/1934339>
12. Lijuan Li, *Front. Energy Res.*, 24 November 2021 *Sec. Process and Energy Systems Engineering*. Volume 9 - 2021 <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.786439> URI: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2021.786439/full>
13. Sarboland M., Numerical solution of fractional differential equations with partial derivatives using a multiquadric quasi-interpolation scheme. *European Journal of Computational Mechanics*. 2018, 27, p. 89-108, <https://doi.org/10.1080/17797179.2018.1469833>.
14. Кравець І.О., Лисенко А.Ю. Дослідження Методу Групового Урахування Аргументів для авторегресійних та дистрибутивних моделей. *Наукові праці «Комп'ютерні технології»*, вип. 148, том 160, стор.62 – 73, Миколаїв, Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011.
1. Greed and recklessness: why the collapse of FTX is being compared to the 2008 crisis 28.02.2023 ForkLog. ; Electronic resource <https://forklog.com/exclusive/zhadnost-i-bezrassudstvo-pochemu-krah-ftx-sravnivayut-s-krizisom-2008-god>
2. Didier Sornette, Critical market crashes, *Physics Reports* 2003, №378, c.1-98. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(02\)00634-8](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(02)00634-8)
3. FTX Crash: Embattled Crypto Exchange Offloads Crypto Assets to Pay Customers, Electronic resource <https://cryptonews.net/news/market/28465875>
4. Ilknur Koca. Financial model with chaotic analysis. Results in Physics. 51 (2023) 106633
5. Zharkov V.M. Adelic theory of stock market, , Electronic resource <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1102/1102.2515.pdf>
6. Prosyankina-Zharova T.I., Terentiev O.M., Bidyuk P.I. and Makukha M.P. Features of SAS Enterprise Guide for probabilistic modeling system, macroeconomic analysis and forecasting // Journal of Mathematics and System Science. – NY: David Publishing Company, USA, 2016. – 112-122 p. – ISSN 2159-5291, USA. – doi: 10.17265/2159-5291/2016.03.003
7. Bidyuk P.I. Development of methodology for system analysis, modeling and assessment of financial risks. The subject's state registration number is 0115U000356. Electronic resource https://report.kpi.ua/files/2016_2813%20.pdf
8. Vinesh Kumar, Sandeep Kumar Gupta, Rohit Kaushik, Subhask Kumar Verma, and Olena Sakovska, An Intuitionistic Fuzzy Approach to Analysis Financial Risk Tolerance with MATLAB in Business, © The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2023 R. Agrawal et al. (eds.), International Conference on IoT, Intelligent Computing and Security, Lecture Notes in Electrical Engineering 982, https://doi.org/10.1007/978-981-19-8136-4_26
9. Burtnyak, O. Kushnir, Application of neuron networks to analysis of currency rate, *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University* <http://journals.pnu.edu.ua> Vol. 10, No. 2 (2023), 6-14 doi: 10.15330/jpnu.10.2.6-14
10. Dmitriy Piskarev Calculation of the Hurst coefficient Electronic resource <https://www.mql5.com/ru/articles/2930>
11. R. May Time-delay versus stability in population models with two and three trophic levels. – *Ecology*, 1973, 54, p. 315-325 <https://doi.org/10.2307/1934339>
12. Lijuan Li, *Front. Energy Res.*, 24 November 2021 *Sec. Process and Energy Systems Engineering* Volume 9 - 2021 Electronic resource <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.786439>
13. M. Sarboland, Numerical solution of fractional differential equations with partial derivatives using a multiquadric quasi-interpolation scheme *European Journal of Computational Mechanics*. 2018, 27, p. 89-108, <https://doi.org/10.1080/17797179.2018.1469833>
14. I.O. Kravets, A.Yu. Lysenko, Study of the Method of Group Consideration of Arguments for autoregressive and distributional models, Scientific works "Computer technologies", vol. 148, volume 160, pages 62 – 73, Mykolaiv, ChDU named after Petra Mohyly, 2011.

Надійшла (received) 25.02.2024

Відомості про авторів (About authors)

Гомозов Євген Павлович (Gomozov Yevgen) – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: Yevgen.Gomozov@khpri.edu.ua

Мац Владислав Ігорович (Mats Vladyslav) – аспірант кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: vladyslav.mats@cs.khpri.edu.ua