

significant threat that requires constant monitoring and detailed analysis to minimize financial losses. It is obligatory to constantly improve the system of information safety due to the changing nature of internal and external factors. **Purpose.** The purpose of this article is to review, synthesis and study of theoretical approaches to identify the sources of threats for banks information security. **Methods.** Monographic, theoretical generalization, systematization, analysis. **Results.** It is found out that the problem of research the sources of threats to information security of banking institutions is urgent for investigation. The modern approaches to the interpretation of the term «threat» are analyzed. It is considered the classification of information security threats in banking institutions. The ways to implement information security threats and to identify the threats to information system in banking institutions by sources of formation are offered. The influence of information security to other components of the system of economic security of banking institutions is grounded. The measures for neutralizing threats to information systems in banking institutions are offered. **Originality.** A definition of the term "threat" is offered. The influence of information security on the other components of the system of economic security of banking institutions is examined. **Conclusion.** The results of the analysis we made draw us to the following conclusions: it was studied the modern approach to the interpretation of the term "threat" that made it possible to offer the author's definition; it were described approaches of many authors for classification of threats to information systems in banking institutions; it was considered the influence of information security to other components of the system of economic security of banking institutions. The research of sources of threats to information security of banking institutions provides the basis for an effective information security system of banking institutions formation.

**Keywords:** threat; banking institution; security; informational security; internal threats; external threats.

Одержано редакцією: 02.02.2016  
Прийнято до публікації: 05.02.2016

УДК 330.46; 519.86

**ДАНИЛЬЧУК Ганна Борисівна,**  
кандидат економічних наук, старший викладач  
кафедри економічної кібернетики,  
Черкаський національний університет  
імені Богдана Хмельницького

**СОЛОВЙОВА Вікторія Володимирівна,**  
кандидат економічних наук, доцент, доцент  
кафедри фінансів і кредиту, Черкаський навчально-  
науковий інститут ДВНЗ «Університет банківської  
справи»

## **ВИКОРИСТАННЯ ЕНТРОПІЇ ПЕРЕСТАНОВОК ДЛЯ ПЕРЕДПРОГНОЗНОГО АНАЛІЗУ КРИЗОВИХ ЯВИЩ НА ФОНДОВОМУ РИНКУ**

*Застосування методів екофізики є сучасним інструментом при вивченні складних економічних систем. Стаття присвячена дослідженню кризових та передкризових станів таких систем із використанням ентропії перестановок. Проаналізовано поведінку ентропії перестановок на прикладі індексу Dow Jones Industrial Average (DJIA) фондового ринку США. Проілюстровано характерні особливості в поведінці запропонованого ентропійного показника у періоди криз. Зроблено висновки щодо можливості використання ентропії перестановок в якості індикатора-передвісника кризових явищ. Особливу увагу приділено вибору оптимальних параметрів розрахунку ентропії перестановок з метою визначення впливу на одержувані результати.*

**Ключові слова:** фондовий ринок, ентропія перестановок, патерн, криза, індикатор-передвісник, часові ряди

**Постановка проблеми.** Фактично криза є непередбачуваним, одночасно руйнівним і творчим явищем, в наслідок чого відбувається величезний вплив на економіку не лише тієї країни – «володарки» кризи, а й економіку всього світу. Для аналізу фондових індексів у вигляді часових рядів традиційно використовують статистичні методи моделювання. Але оскільки такі часові ряди демонструють нелінійність поведінки, а самі фондові ринки, що продукують ці ряди, є складними системами, традиційні методи не спрацьовують. Постійний моніторинг стану фінансово-економічних систем є необхідністю, тому виникає потреба в автоматизованих методах прогнозування таких явищ як кризи. В роботі пропонується використання міждисциплінарних підходів, зокрема, запозичених з фізики – ентропію перестановок, що є новим і перспективним методом дослідження довгих і складних часових рядів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню особливих станів, насамперед кризових, у системах різної природи присвячені роботи таких вітчизняних та закордонних вчених як Ч. Кіндлбергера, Т. Клебанової, П. Кругмана, Н. Максишко, Г. Малинецького, М. Мантенї, Л. Сергєєвої, О. Сердюка, В. Соловійова, Д. Сорнетте, Дж. Сороса, Ю. Стенлі, О. Черняка. Ентропійні методи до вивчення різноманітних станів систем запропонували К. Шеннон, К. Тсалліс, А. Реньї, Дж. фон Нейман, С. Пінкус, С. Джошуа, Дж. Річмен, О. Россо.

Бандт (Bandt) і Помпе (Pompe) у роботі [1] ввели поняття ентропії перестановок як кількісної оцінки невизначеності системи. Широкого використання ентропія перестановок набула в медичних дослідженнях. Так, наприклад, в [2] для біомедичних сигналів показано, що ентропія перестановок у змозі відрізнити нормальний та епілептичний (кризовий) сигнали із високою точністю.

Однак наявність значної кількості наукових доробок в зазначеному напрямі не можна вважати вичерпною. Подальшого глибокого дослідження потребують кризові явища в економіці, частота потрясінь якими в епоху глобалізації світового економічного простору має тенденцію до стрімкого збільшення, та методи їх виявлення і своєчасного попередження.

**Мета статті.** Мета статті полягає у вивченні особливостей поведінки ентропії перестановок у передкризові та власне кризові періоди на прикладі загальноприйнятої історичної хронології кризових явищ на фондових ринках та визначення можливості її використання в якості індикатора-передвісника криз.

**Виклад основного матеріалу.** Ентропія перестановок (Permutation Entropy, *PermEn*) є мірою невпорядкованості інформації, що міститься в сигналі, і використовує відносні частоти різних патернів, що зустрічаються в сигналі. Це дає певні переваги, оскільки завдяки цьому ентропія перестановок не залежить від значень сигналу, а використовує лише послідовності символів.

Надамо визначення ентропії перестановок [1]. Нехай сигнал  $\{x(i), \text{де } i=0 \dots N-1\}$ ,  $m$  – порядок фазового простору,  $m \geq 2$ . Перетворимо вихідний ряд задля його аналізу у  $m$ -вимірному просторі:

$$X_i = [x_{i \tau}, x_{i \tau + L}, \dots, x_{i \tau + (m-1)L}] ,$$

де  $L$  – затримка (лаг). Як правило,  $L$  обирається рівною 1, але в результаті проведених досліджень показано, що цей параметр може набувати й інших значень. Отримані в результаті перетворень послідовності  $X_i$  упорядковуються за зростанням. Функція  $X_i$  має перестановки  $\pi_{r_0 r_1 \dots r_{m-1}}$ , якщо задовольняє умові:

$$x_{t+r_0\tau} \leq x_{t+r_1\tau} \leq \dots \leq x_{t+r_{m-1}\tau} , \\ 0 \leq r_i \leq m-1, \quad r_i \neq r_j .$$

Для кожної перестановки  $\pi$  з  $m!$  можливих для  $m$ -вимірному простору розраховується відносна частота

$$p_{\pi} = \frac{\text{Number } t / t \leq T - m - 1 \tau, x_i^m}{N - m - 1 \tau}.$$

Формула ентропії перестановок у  $m$ -вимірному фазовому просторі має вид:

$$H_{PermEn} = - \sum_{\pi=1}^{m!} p_{\pi} \ln p_{\pi} .$$

Для зручності отриману величину нормалізують множником  $\frac{1}{\ln m!}$  і значення

ентропії перестановок  $0 \leq H_{PermEn} \leq 1$ .

Ентропія перестановок може приймати максимальне значення за умови рівноймовірнісного випадку (у вибірці всі випадки  $m$  рівні) і мінімальне значення, якщо у всій вибірці реалізується лише одна з  $m!$  перестановок [3].

Необхідно зауважити, що значення ентропії перестановок залежить від вибору розмірності  $m$  та затримки  $L$ . На рис. 1 проілюстровано цю залежність. Як видно, порядок  $m$  впливає на кількість патернів, що можуть бути виявлені у сигналі. Затримка  $L$  відповідає за інтервал часу між патернами.

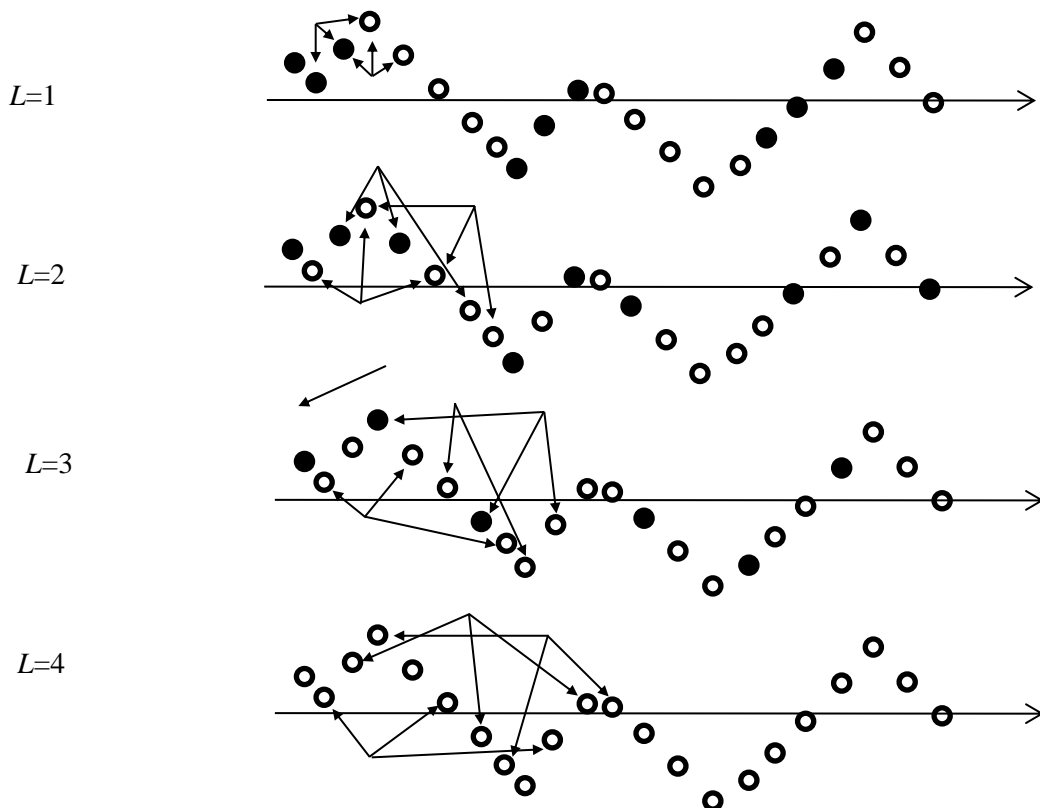


Рис. 1. Патерни сигналу для різних значень затримки часу  
Джерело: [4, с.8]

На рис. 2(а) надано приклад формування патернів для ентропії перестановок при  $m=3$ , а на рис. 2(б) показані всі можливі варіації патернів для цього порядку.

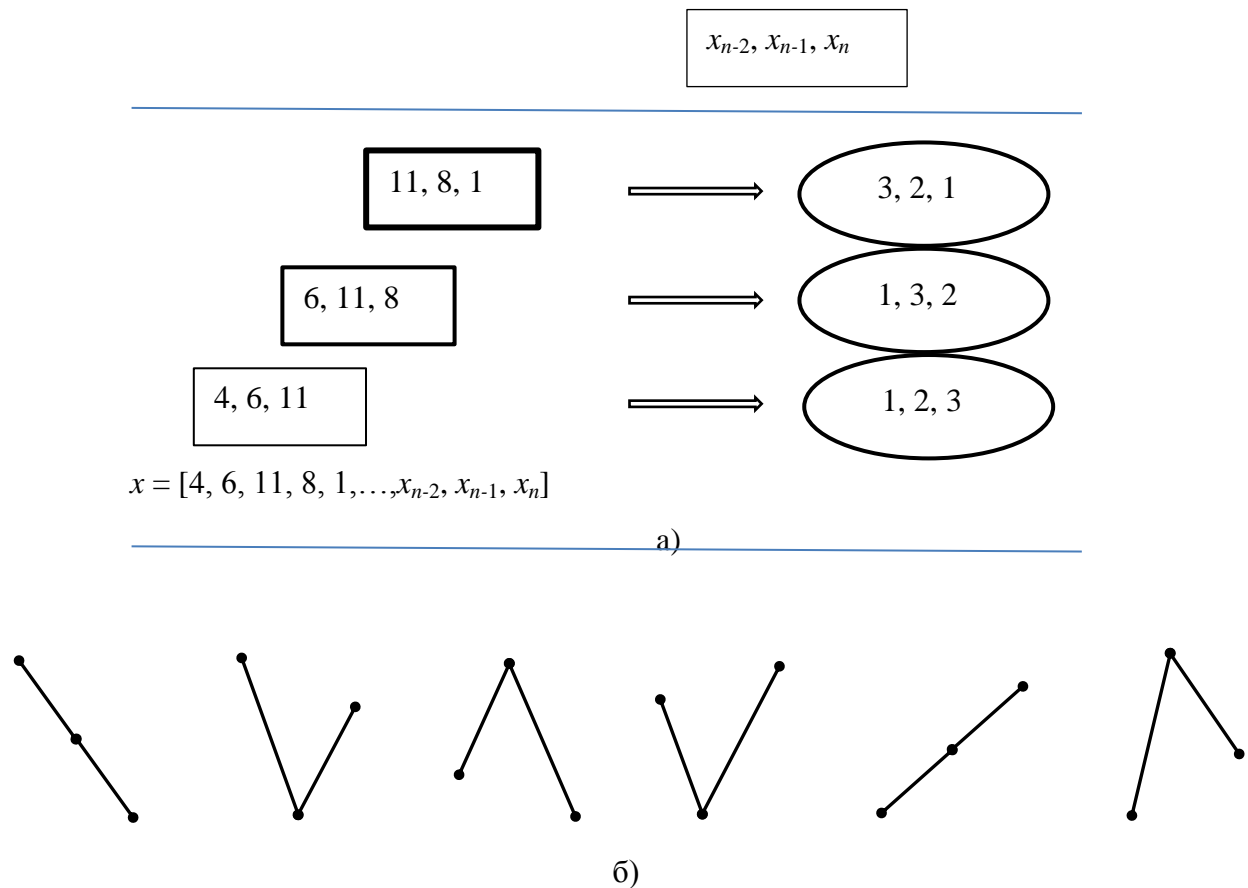


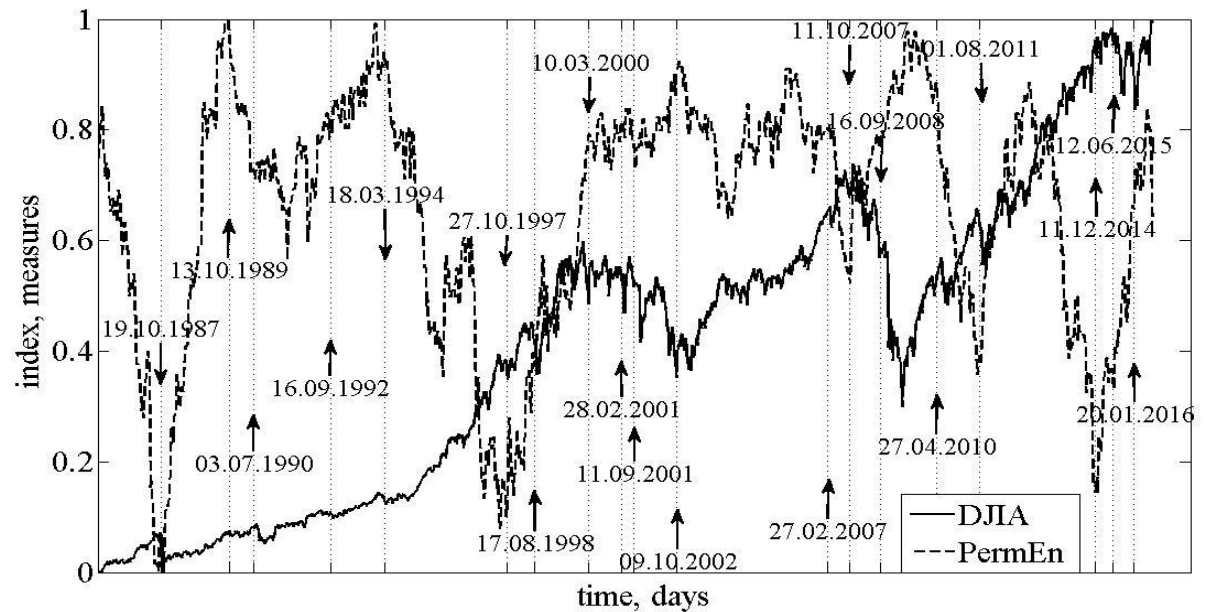
Рис. 2. Формування патернів (а) та їх можливі форми (б) для ентропії перестановок порядку  $m=3$

Джерело: [5, с.45]

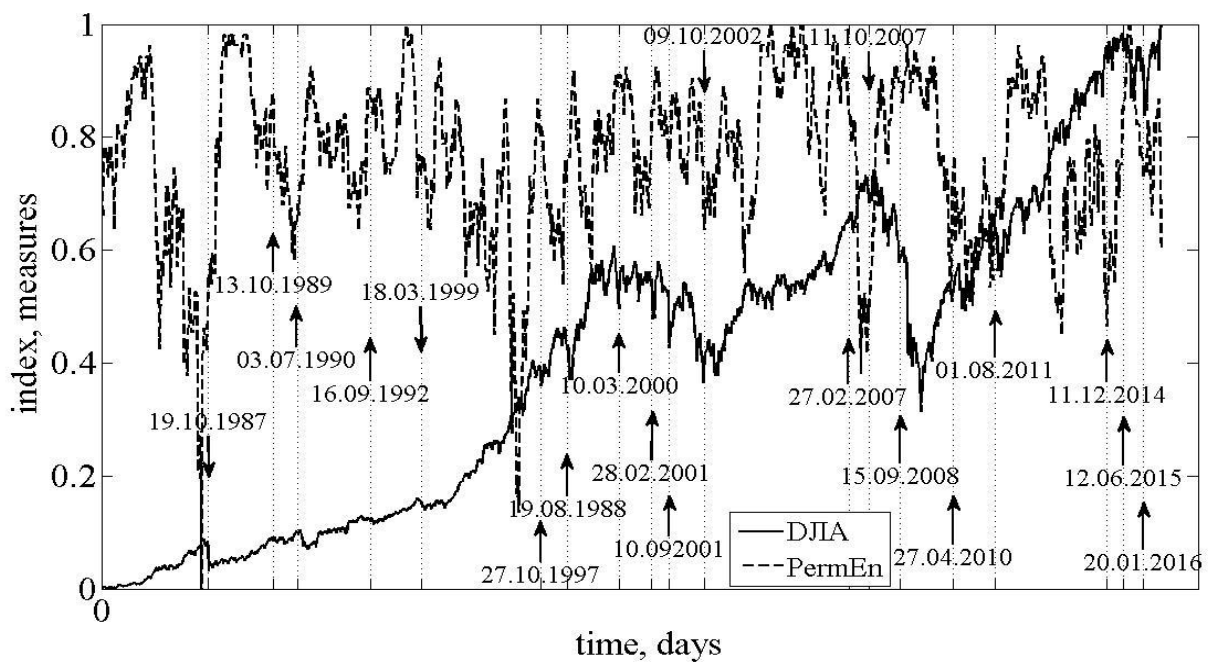
Застосуємо реальні сигнали, а саме ряд «блакитних фішок» фондового ринку США Dow Jones Industrial Average (DJIA) за період з 3.01.1984 р. по 31.04.2016 рр. (рис. 3). Такий доволі довгий ряд обраний не випадково, а з метою аналізу *PermEn* для різних станів фондового ринку, які включають 19 офіційно зафіксованих криз. Це дозволяє розглянути можливості даного індикатора для виявлення і попередження різних за причиною, природою і глибиною криз.

Розрахунки проводилися у режимі рухомого вікна. Обирався вікно, наприклад, із розміром 150 точок (250 точок приблизно дорівнюють двом торговельним рокам), у ньому розраховувалися значення ентропії перестановок, потім вікно зміщувалося вздовж ряду на крок 5 точок і знову відбувався розрахунок значення ентропії. Ця процедура триває до вичерпання часового ряду. Наступним кроком є порівняння динаміки вихідного ряду з відповідною динамікою ентропії перестановок, аналіз системних змін на ринку та характерних особливостей у поведінці ентропійного показника. Далі за аналогічною схемою проводилися розрахунки для вікон з іншими розмірами. Отримані результати порівнювалися з метою виявлення оптимальних параметрів для розрахунку ентропії перестановок.

На рис. 3 представлено порівняльну динаміку ентропії перестановок та вихідного ряду для різних параметрів. Звернемо увагу на характерне стрімке падіння значення ентропії перестановок у передкризові періоди (власне кризи на рисунку показані стрілками). Як видно, така поведінка ентропійного показника є характерною і загальною для розглянутих криз. Це дозволяє даний індикатор *PermEn* використовувати в якості передвісника кризових явищ.



а)



б)

Рис. 3. Порівняльна динаміка вихідного ряду та ентропії перестановок для параметрів: а) ширина вікна – 500 днів, крок – 5,  $m=8$ ,  $L=1$ ; б) ширина вікна – 150 днів, крок – 5,  $m=7$ ,  $L=1$   
Джерело: розраховано авторами за [6]

З рис. 3 видно, що параметри розрахунку ентропії перестановок відіграють суттєву роль у відчутті та відображенні кризових явищ. Як бачимо, що для деяких криз, які знаходяться на часовому проміжку меншому ніж 500 днів (ширина вікна) для розрахунку (рис. 3(а)) такі передвісники відсутні. Тому були проведені розрахунки і для менших вікон (250 – 1 торговельний рік, 125 – 0,5 торговельного року та ін.). Результат розрахунку для вікна шириною 150 точок надано на рис. 3(б).

Також в роботі було досліджено вплив на розрахунки зміни розмірності фазового простору. З'ясовано, що збільшення цього параметру призводить до «загладжуваного»

ефекту, тобто ми не бачимо в динаміці дрібних флуктуацій і можемо зосередитися на результативних сплесках ентропії перестановок. Чи може це привести до втрати інформації? Відповідь на це питання буде отримано подальшими дослідженнями.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Викладені вище результати дослідження дозволяють визначити актуальність застосування ентропії перестановок як дієвого інструменту моніторингу стану фінансово-економічних систем. Зокрема, суттєвим вважаємо можливість використання ентропії перестановок у якості індикатора-передвісника кризових явищ на фондових ринках, що доведено численними результатами експериментів.

Автори висловлюють подяку професору Соловійову В.М. за плідне обговорення отриманих результатів.

#### Список використаної літератури

1. Bandt C. Permutation entropy: A natural complexity measure for time series / C. Bandt, B. Pompe // Physical Review Letters. – 2002. – Vol. 88. – ISSN 1079-7114.
2. Veisi I. Fast and Robust Detection of Epilepsy in Noisy BEG Signals Using Permutation Entropy / I. Veisi, N. Pariz, A. Karimpour // Proceedings of the 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering. – 2007. – P.200-2003.
3. Данильчук Г. Б. Ентропійний аналіз стану світової банківської системи / Г. Б. Данильчук, О. С. Лук'ячук, В. М. Соловійов / Проблеми моніторингу, моделювання та менеджменту емерджентної економіки : монографія / за ред. д. ф.-м. н., проф. Соловійова В. М. – Черкаси : Брама-Україна, 2013. – С. 122–153.
4. Avilov O. Permutation entropy of EEG signals for different sampling rate and time lag combinations / O. Avilov, A. Popov, O. Kanaikin // SPS-2013, 5-7 June 2013.: proceedings. – Warsaw, 2013. – ISBN 978-1-4673-6318-1.
5. Avilov O. O. Permutation entropy of fetal heart rate with extraction of maternal heartbeats / O. O. Avilov, I. I. Borovskiy, M. A. Zhukov, K. O. Ivanko, Ph.D, A. A. Popov, Ph.D, V. A. Fesechko, Ph.D // Биомедицинские приборы и системы, 2013. - с. 43-48.
6. Статистика індексів світового фондового ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://finance.yahoo.com>.

#### References

1. Bandt, C. and B. Pompe (2002). «*Permutation entropy: A natural complexity measure for time series*». Physical Review Letters 88(17): 174102.
2. Veisi, I., Pariz, N., Karimpour, A. (2007). *Fast and Robust Detection of Epilepsy in Noisy BEG Signals Using Permutation Entropy*. 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering.
3. Danylchuk, H., & Lukyanchuk, O., & Soloviev, V. (2013). *Entropy analysis of the global banking system*. Cherkasy : BraMa-Ukraine (in Ukr).
4. Avilov O., Popov A., & Kanaikin O. (2013). *Permutation entropy of EEG signals for different sampling rate and time lag combinations*. SPS-2013, 5-7 June 2013.: proceedings. – Warsaw, 2013. – ISBN 978-1-4673-6318-1
5. Avilov, O. O. Borovskiy, I. I., Zhukov, M. A., Ivanko, K. O., Popov, A. A. & Fesechko, V. A. (2013). «*Permutation entropy of fetal heart rate with extraction of maternal heartbeats*». Electronics and Communications 5(76), 43-48.
6. Retrieved from <http://finance.yahoo.com>.

#### **DANYLCHUK Hanna Borysivna,**

Ph.D (Economics), Senior Lecturer, Department of Economic Cybernetics,  
Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

#### **SOLOVYOVA Victoria Volodymyrivna,**

Ph.D (Economics), Associate Professor,  
Associate Professor Department of Finance and Credit,  
Cherkasy educational institute of the SHEI «Banking University»

#### **APPLICATION OF PERMUTATION ENTROPY FOR PREDICTIVE ANALYSIS CRISIS IN THE STOCK MARKET**

**Abstract. Introduction.** *The crisis is virtually unpredictable, destructive and creative phenomenon, causing a huge impact on the economy of the country, which has the crisis, and the economy of the whole world. To analyze stock indices in the form of time series, statistic modeling methods are traditionally used. However, since these time series show nonlinear behaviour, and stock markets producing these series are complex systems, traditional methods do not work. Constant*

monitoring of the financial and economic systems is a necessity, so there is a need for the automated methods to predict such phenomena as crises. The paper proposes the use of interdisciplinary approaches, including borrowed from physics, permutation entropy, which is a new and promising method for studying long and complicated time series. **Purpose.** The purpose of the article is to study the behaviour of permutation entropy in pre-crisis and crisis periods on the example of generally accepted historical chronology of the crisis on stock markets and determining an opportunity of its use as an indicator-precursor of crises. **Methods.** To achieve this purpose, economic-physical methods (permutation entropy) and graphic-analytical method are used. **Results.** The paper uses real signals, namely, the index of Dow Jones Industrial Average (DJIA) of US stock market. This rather long series was not chosen by chance, but to analyze PermEn for the different states of stock market including 19 officially recorded crises. This allows to consider the possibility of this indicator to detect and prevent different crises according to the cause, nature and depth. We compare the dynamic of permutation entropy and source series for different parameters. We consider the characteristic sharp drop in the values of permutation entropy in pre-crisis periods. The behaviour of entropy index is characteristic and general for the considered crises. This allows to use PermEn as an indicator-precursor of a crisis. We calculate the value of permutation entropy with other parameters. We show that a significant parameter is to choose a moving window. **Originality.** The authors propose and practically prove the opportunity of using permutation entropy as an indicator-precursor of crisis phenomena in stock markets. **Conclusions.** The obtained results of the research determine the relevance of using permutation entropy as an effective tool of monitoring the state of financial and economic systems. In particular, we consider it necessary to use permutation entropy as an indicator-precursor of crises in stock market that is shown by numerous experimental results.

**Keywords:** stock market, permutation entropy, pattern, crisis, precursor-indicator, time series

Одержано редакцією: 11.01.2016  
Прийнято до публікації: 15.01.2016