

*И.В. АНТОНОВА*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",  
*Н.А. ЧИКИНА*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

### **ПРИМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КВАЗИЦИКЛОВ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ В ПРЕДПРОГНОЗНОМ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

В работе представлены результаты применения графических тестов для предпрогнозного анализа временных рядов, характеризующих уровень заболеваемости аллергодерматозами рабочих предприятий химико-фармацевтической отрасли Украины. Метод основан на разложении фазовых портретов временных рядов на квазициклы, характеристики которых позволяют оценить риск ошибочного прогнозирования. Для усиления структурированности данных предлагается провести процедуру агрегирования временных рядов. Ил.: 5. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** графический тест; предпрогнозный анализ; аллергодерматозы; фазовый портрет; квазицикл; агрегирование временных рядов.

**Постановка проблемы.** Традиционно в аллергологии задача ранней диагностики заболевания связана с анализом факторов риска, количество которых за последние годы резко возросло. Наличие факторов риска и факторов предрасположенности к различным аллергическим заболеваниям, оценка уровня адаптационно-компенсаторных возможностей организма дало возможность с определенной степенью уверенности индивидуально прогнозировать риск развития профессионально обусловленных аллергодерматозов на предприятиях химико-фармацевтической отрасли [1, 2]. Актуальной в плане внедрения в Украине системы медицинского страхования остается задача прогнозирования уровня заболеваемости профессионально обусловленными патологиями.

**Анализ литературы.** Как правило, при анализе временных рядов (ВР) используются методы, дающие количественный прогноз. Для ВР, у которых гипотеза о существовании тренда не подтверждается, такие методы не продуктивны [3]. В работе [4] обосновываются причины малой информативности статистических показателей как следствие наличия фрактальных свойств во временном поведении рядов, эмпирическая функция распределения которых не согласуется с нормальным распределением. Поэтому для обнаружения общей тенденции поведения ВР предлагается на этапе предпрогнозного анализа использовать методы теории хаоса, которые дают возможность провести качественный анализ исследуемого ВР. По отношению к динамике социально-природных систем и процессов теория хаоса не только

объясняет бифуркационные явления (большие падения или большие выбросы), но и утверждает, что их невозможно предсказать, поскольку природа не есть ряд повторяющихся закономерностей, и характеризуется локальной случайностью и глобальным порядком. По этой причине многие аналитики обоснованно предположили, что распознать в хаотическом движении новые закономерности им поможет фрактальная природа ВР [5 – 8].

В настоящее время, судя по ряду публикаций, можно отметить намечающуюся тенденцию использования графических тестов в процессе моделирования социально-природных ВР методами нелинейной динамики. Наиболее популярным является графический тест хаоса, предложенный Гилмором [9]. Этот тест выявляет неустойчивые квазициклы, заключенные в странном аттракторе.

Поскольку ни одна математическая модель не в состоянии вместить всего многообразия реально существующих естественных связей, то для усиления структурированности данных предлагается провести процедуру агрегирования ВР. Его сущность состоит в соединении исходных однородных элементов ВР. В результате агрегирования происходит преобразование исходной модели ВР в модель с меньшим числом переменных, дающую приближенное по сравнению с исходным описание изучаемого процесса. Существуют различные способы агрегирования [10], различающиеся выбором показателя объектов агрегации, целью процедуры агрегирования и др.

**Цель статьи.** Пусть заданы скалярные эквидистантные временные ряды  $X^1 = \{x^1(t_i)\}_{i=1}^N$  и  $X^2 = \{x^2(t_i)\}_{i=1}^N$ , измерения которых  $x^1(t_i)$  и  $x^2(t_i)$  в моменты наблюдений  $t_i, i = \overline{1, N}$ , характеризуют количество рабочих предприятия [1], у которых зафиксировано наличие (Группа риска 1) или отсутствие (Группа риска 2) в анамнезе профессионально обусловленных аллергодерматозов. Целью настоящих исследований является проведение предпрогнозного анализа исследуемых ВР  $X^1$  и  $X^2$  соответствующих групп риска на основе характеристик квазициклов их фазовых портретов (ФП).

**Основной раздел.** Следует сразу отметить, что есть некоторая разница в обозначениях, принятых в данном исследовании и в работе [1] авторов, состоящая в том, что Группа риска 2 (ГР2) в настоящем исследовании объединяет ГР2, ГР3 и группу ПЗ, введенные в [1].

На рис. 1 представлены эмпирические функции распределения рассматриваемых ВР. Визуальный анализ рисунков эмпирических функций распределения позволяет утверждать, что поведение рассматриваемых ВР не подчиняется нормальному закону.

Это означает, что применение статистического анализа ВР не будет отражать действительности. Чтобы этот факт принимался в расчет, необходима замена линейной парадигмы. Кроме того, эти ряды не обладают свойством стационарности. Во-вторых, частая смена знаков во временных рядах приращений  $\Delta x_i^k = x_{i+1}^k - x_i^k, i = \overline{1, N}, k = \overline{1, 2}$ , дает основание утверждать, что трендовые компоненты [4], базирующиеся на скользящих средних, фактически не представляют ценной информации о дальнейшем поведении рассматриваемого ВР.

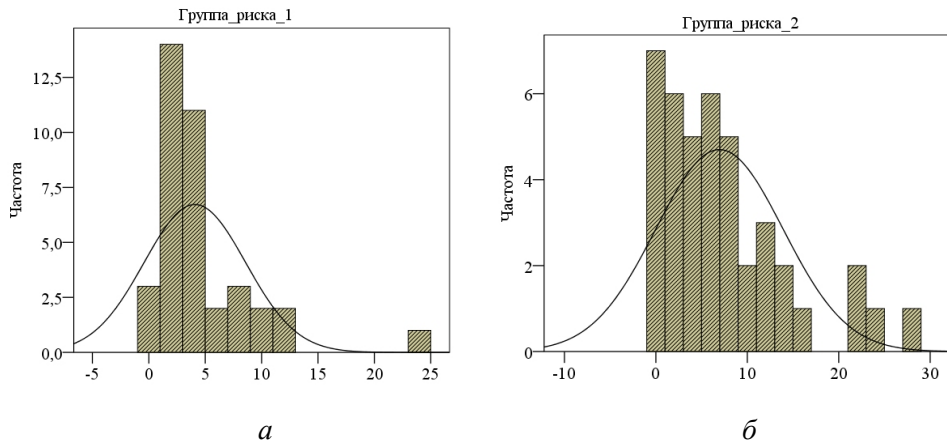


Рис. 1. Гистограммы частот временных рядов  $X^1$  ГР1 (а) и  $X^2$  ГР2 (б)

Таким образом, традиционные, базирующиеся на трендах и регрессии статистические методы предпрогнозного анализа данных ВР не являются адекватными этим рядам, в чем авторы уже убедились при попытках построить для этих рядов прогнозные модели.

Инструментарий ФП является новым методом для прогнозирования ВР. Согласно установившимся представлениям, фазовое пространство означает совокупность мгновенных состояний рассматриваемой системы (экономической, технической, социальной, экологической и т.д.), снабженной определенной структурой в зависимости от рассматриваемых задач и поставленных целей. С математической точки зрения фазовое пространство – это множество с надлежащей структурой, элементы которого (фазовые точки) представляют (условно изображают) состояния системы.

На рис. 2 представлены ФП изучаемых ВР  $X^1$  и  $X^2$ . Для обнаружения неустойчивых квазициклов в рассматриваемых ВР применим подход, который называется "разложением фазового портрета на квазициклы". Разложение ФП на квазициклы базируется на визуализации графического представления фрагментов данного ФП.

Термин "квазицикл" в некотором смысле близок к определению понятия "цикл". Различие между этими двумя понятиями состоит в том, что начальная и конечная точки не обязательно должны совпадать. Конечная точка квазицикла определяется ее входением в окрестность начальной точки. При этом допускается самопересечение начального и конечного звеньев квазицикла, если это приводит к наилучшему сближению его начальной и конечной точек. Для каждого из представленных на рис. 2 ФП осуществлено разложение на квазициклы.

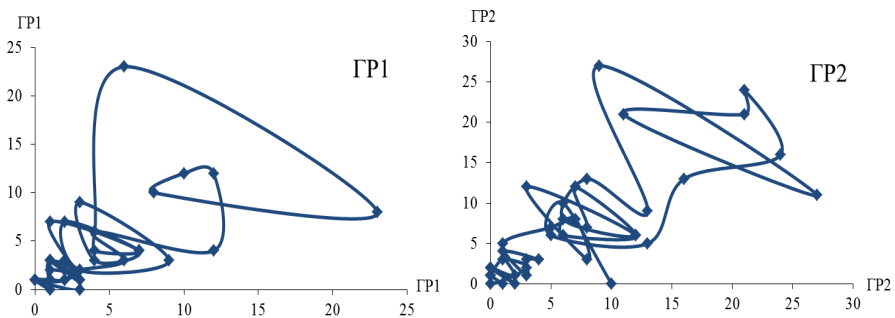


Рис. 2. Фазовые портреты временных рядов  $X^1$  ГР1 и  $X^2$  ГР2

На рис. 3 представлены типичные квазициклы, составляющие большинство в указанных разложениях.

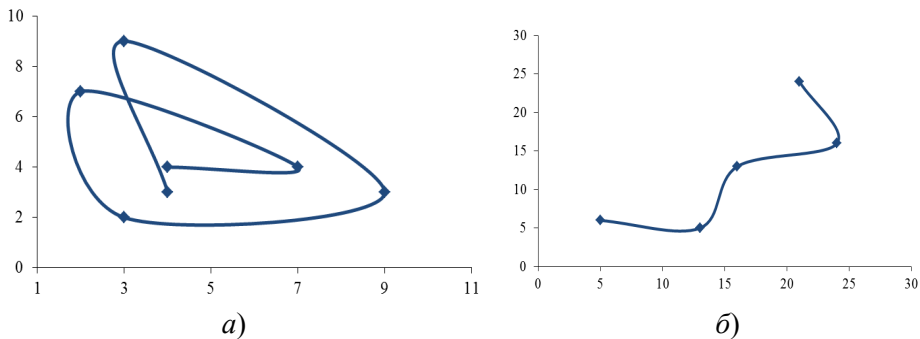


Рис. 3. Типичные квазициклы фазовых портретов временных рядов  $X^1$  ГР1 и  $X^2$  ГР2

Их характерной особенностью является то, что при их малой длине они содержат такие пары соседних звеньев, которые имеют противоположные направления вращения (а). Вторая особенность рассматриваемых ФП состоит в том, что они содержат такие достаточно продолжительные отрезки, в которых отсутствует цикличность (б). Эти две особенности подтверждают вывод о "плохих" предпрогнозных

характеристиках данных ВР. Таким образом, из анализа ФП ВР  $X^1$  и  $X^2$  вытекает необходимость применения к ним процедуры агрегирования с целью улучшения их предпрогнозных характеристик.

Применим к рядам  $X^1$  и  $X^2$  процедуру агрегирования с интервалом агрегирования  $q=2$  и  $q=3$ . В результате проведения процедуры агрегирования из ВР  $X^1$  получены ВР  $\bar{X}_1^1$  и  $\bar{X}_2^1$ , а из ВР  $X^2$  получены ВР  $\bar{X}_1^2$  и  $\bar{X}_2^2$ . Для каждого из этих шести ВР были определены значения так называемых рисков статистических показателей: 1) коэффициент вариации  $V$ ; 2) коэффициент асимметрии  $A$ ; 3) коэффициент эксцесса  $E$ .

В табл. 1 приведены статистические показатели исходных ВР  $X^1$  и  $X^2$  и агрегированных ВР  $\bar{X}_1^1, \bar{X}_2^1, \bar{X}_1^2$  и  $\bar{X}_2^2$ .

Таблица 1

Статистические показатели ВР  $X^1, X^2$   
и агрегированных ВР  $\bar{X}_1^1, \bar{X}_2^1, \bar{X}_1^2$  и  $\bar{X}_2^2$

	$X^1$	$\bar{X}_1^1$	$\bar{X}_2^1$	$X^2$	$\bar{X}_1^2$	$\bar{X}_2^2$
$V$	23	14,5	12	<b>27</b>	22	<b>21,7</b>
$A$	2,38	1,64	1,39	<b>1,27</b>	1,06	<b>1,12</b>
$E$	7,5	2,33	1,2	<b>1,2</b>	0,41	<b>1,13</b>

Анализ табл. 1 позволяет сделать вывод о том, что процедура агрегирования ВР  $X^1$  не оказалась удачной ни в первом, ни во втором случае, поскольку произошла потеря информации, отразившаяся на значениях рисков статистических показателей рядов  $\bar{X}_1^1$  и  $\bar{X}_2^1$ .

Однако удачной оказалась процедура агрегирования ВР  $X^2$  с интервалом агрегирования  $q=3$ . Полученный при этом ВР  $\bar{X}_2^2$  имеет практически те же значения размаха варьирования ( $V$ ), асимметрии ( $A$ ) и эксцесса ( $E$ ). На рис. 4 приведен ФП  $\bar{X}_2^2$  агрегированного ВР  $\bar{X}^2$  ГР2.

В результате разложения агрегированного ряда  $\bar{X}_2^2$  ГР2 получены квазициклы, приведенные на рис. 5.

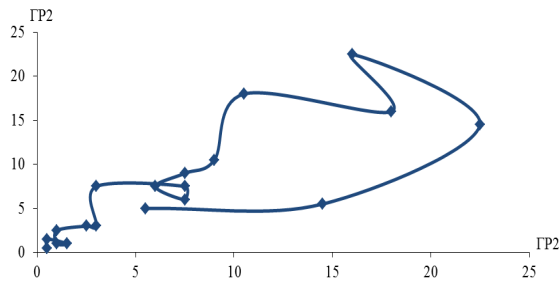


Рис. 4. Фазовий портрет агрегированного временного ряда  $\overline{X}_2^2$  GP2 ( $q = 3$ )

Все квазициклы помещены в габаритные прямоугольники. В каждом габаритном прямоугольнике точка пересечения его диагоналей представляет центр вращения соответствующего квазицикла.

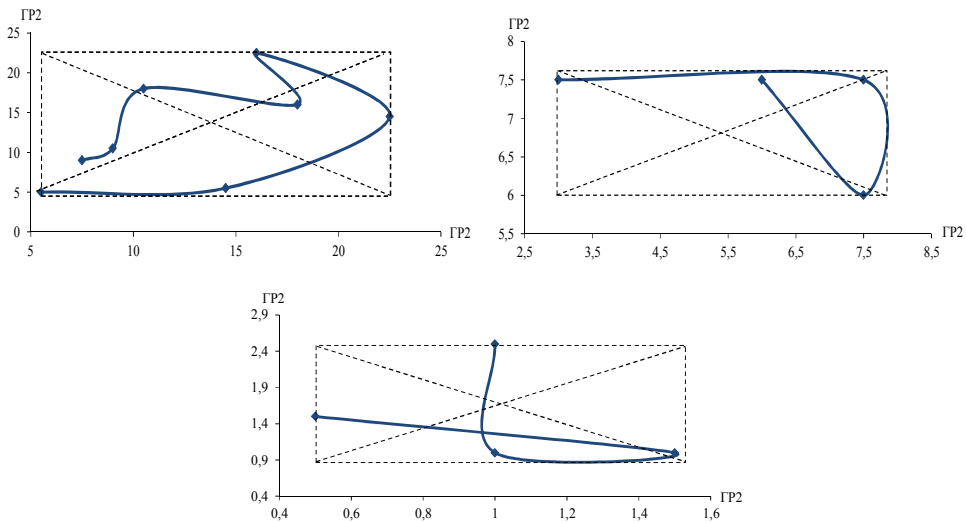


Рис. 5. Квазициклы разложения агрегированного ряда  $\overline{X}_2^2$  GP2

Рассматривая направление вращения звеньев квазициклов на рис. 5 (по часовой стрелке или против часовой стрелки), отметим, что все звенья имеют направление вращения по часовой стрелке.

**Выводы.** ВР  $\overline{X}_2^2$  GP2, полученный в результате процедуры агрегирования ВР  $X^2$  с интервалом агрегирования  $q = 3$ , содержит четко выраженную циклическую компоненту, в составе которой квазициклы длиной 4, 4 и 8. Содержательную временную интерпретацию этих длин можно трактовать как наличие в динамике ВР  $X^2$  двух- или четырехгодичных видов цикличности.

Все звеня квазициклов имеют направление вращения по часовой стрелке, что можно рассматривать в качестве косвенной оценки минимального риска ошибочного прогнозирования рассматриваемых ВР на основе базовых характеристик квазициклов их ФП.

Из сказанного следует, что имеются достаточные предпосылки для надежного прогнозирования ВР  $X^2$ , агрегированного с интервалом  $q=3$ . Что касается ВР  $X^1$ , то для него следует провести более детальный предпрогнозный анализ.

**Список литературы:** 1. *Чикина Н.А.* Изучение влияния внутренних факторов риска на развитие аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий / *Н.А. Чикина, И.В. Антонова* // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – № 19. – С. 195-200. 2. *Антонова И.В.* Применение методов фрактального анализа к исследованию временных рядов / *И.В. Антонова, Н.А. Чикина* // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2015. – № 32 (1141). – С. 4-10. 3. *Тебуева Ф.Б.* Декомпозиция и прогнозирование временных рядов с долговременными корреляциями / *Ф.Б. Тебуева, В.А. Перепелица, М.Ю. Кабиняков* // Известия ЮФУ. Технические науки. – Ростов н/Д.: издательство ЮФУ. – 2013. – № 1 (138). – С. 111-120. 4. *Перепелица В.А.* Математические модели и методы оценки рисков экономических, социальных и аграрных процессов / *В.А. Перепелица, Е.В. Попова.* – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2002. – 208 с. 5. *Кумратова А.М.* Аналитический инструментарий векторной оценки рисков финансового рынка / *А.М. Кумратова, Е.В. Попова, Д.Н. Савинская, Э.А. Гагай, В.А. Швец* // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: издательство КубГАУ. – 2016. – № 122 (08). – С. 481-495. 6. *Перепелица В.А.* Использование методов нелинейной динамики для предпрогнозного анализа объемов стока горных рек / *В.А. Перепелица, Е.В. Попова, А.М. Янгишиева, А.Д. Салпагаров* // Экономический вестник научных центров ЧЭС. – 2005. – № 1. – С. 73-84. 7. *Hong L.* Decomposition and Forecast for Financial Time Series with High-frequency Based on Empirical Mode Decomposition / *L. Hong* // Energy Procedia. – 2011. – Vol. 5. – P. 1333-1340. 8. *Vařilová Z.* The application of non-destructive methods to assess the stability of the national nature monument of the Pravčická Brána Rock Arch, Czech Republic / *Z. Vařilová, J. Zvelebil, F. Hubatka, V. Beneš, J. Frolka* // AUC Geographica. – 2014. – №. 1. – P. 49-59. 9. *Шустер Г.* Детерминированный хаос: Введение / *Г. Шустер.* – М.: Мир, 1988. – 240 с. 10. *Лопатников Л.И.* Экономико-математический словарь / *Л.И. Лопатников.* – М.: Наука, 1987. – 510 с.

#### **References:**

1. Chikina, N.A., and Antonova, I.V. (2007), "Investigation of the influence of internal risk factors on the development of allergic dermatoses in workers of chemical-pharmaceutical enterprises", *Herald of NTU "KhPI"*, Series: Informatics and modeling, Kharkov, NTU "KhPI", No 19, pp. 195-200.
2. Antonova, I.V., and Chikina, N.A. (2015), "Application of fractal analysis methods to the study of time series", *Herald of NTU "KhPI"*, Series: Informatics and modeling, Kharkov, NTU "KhPI", No 32 (1141), pp. 4-10.
3. Tebueva, F.B., Perepelitsa, V.A., and Kabinyakov, M.Yu. (2013) "Decomposition and forecasting of times series with long-term correlations", *News of SFedU: Engineering sciences*, Rostov n / D., No 1 (138), pp. 111-120.

4. Perepelitsa, V.A. and Popova, E.V. (2002), *Mathematical models and methods of risk assessment of economic, social and agrarian processes*, Publishing house Growth, University, Rostov n / D ., 208 p.
5. Kumratova, A.M., Popova, E.V., Savinskaya, D.N., Gagay, E.A., and Shvets, V.A. (2016), "Analytical tools of vector risk assessment of the financial market", *Scientific Journal of KubSAU*, No. 122 (08), pp. 481-495.
6. Perepelitsa, V.A., Popova, E.V., Yangishiyev, A.M., and Salpagarov, A.D. (2005), "Use of methods of nonlinear dynamics for a prediscouted analysis of the volume of mountain rivers run off ", *The economic bulletin of BSEC scientific centers*, No 1, pp.73-84.
7. Hong, L. (2011), "Decomposition and Forecast for Financial Time Series with High-frequency Based on Empirical Mode Decomposition", *Energy Procedia*, Vol. 5, pp. 1333-1340.
8. Vařilová, Z., Zvelebil, J., Hubatka, F., Beneš, V., and Frolka, J. (2014), "The application of non-destructive methods to assess the stability of the national nature monument of the Pravčická Brána Rock Arch, Czech Republic", *AUC Geographica*, No 1 , pp. 49-59.
9. Schuster, G. (1988), *Deterministic chaos: Introduction*, Mir, Moscow, 240 p.
10. Lopatnikov, L.I. (1987), *Economic and mathematical dictionary*, Nauka, Moscow, 510 p.

*Статью представил д-р техн. наук, профессор НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.*

*Поступила (received) 17.04.2017*

Antonova Irina, Cand.Sci.Tech, Docent  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Kirpicheva, 21, Kharkov, Ukraine, 61002  
Tel.: (057) 707-60-87, e-mail: antonova2601@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0002-1268-8223

Chikina Natalia, Cand.Sci.Tech, Docent  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Kirpicheva, 21, Kharkov, Ukraine, 61002  
Tel.: (057) 707-66-93, e-mail: chikina\_na@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0002-1746-1271



УДК 519.246.8

**Застосування характеристик квазіциклів фазових портретів у передпрогнозному аналізі часових рядів / Антонова І.В., Чікіна Н.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 21 (1243). – С. 5 – 13.**

В роботі представлені результати застосування графічних тестів для передпрогнозного аналізу часових рядів, що характеризують рівень захворюваності на алергодерматози у робочих підприємств хіміко-фармацевтичної галузі України. Метод заснований на розкладанні фазових портретів часових рядів на квазіцикли, характеристики яких дозволяють оцінити ризик помилкового прогнозування. Для посилення структурованості даних пропонується провести процедуру агрегування часових рядів. Ил.: 5. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** графічний тест; передпрогнозний аналіз; алергодерматози; фазовий портрет; квазіцикл; агрегування часових рядів.

УДК 519.246.8

**Применение характеристик квазициклов фазовых портретов в передпрогнозном анализе временных рядов / Антонова И.В., Чикина Н.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2017. – № 21 (1243). – С. 5 – 13.**

В работе представлены результаты применения графических тестов для передпрогнозного анализа временных рядов, характеризующих уровень заболеваемости алергодерматозами рабочих предприятий химико-фармацевтической отрасли Украины. Метод основан на разложении фазовых портретов временных рядов на квазициклы, характеристики которых позволяют оценить риск ошибочного прогнозирования. Для усиления структурированности данных предлагается провести процедуру агрегирования временных рядов. Ил.: 5. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** графический тест; передпрогнозный анализ; алергодерматозы; фазовый портрет; квазицикл; агрегирование временных рядов.

UDC 519.246.8

**Application of quasi-cycle characteristics of phase portraits in the prediction of time series analysis / Antonova I.V., Chikina N.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2017. – №. 21 (1243). – P. 5 – 13.**

The paper presents the results of the use of graphical tests for the pre-forecast analysis of time series characterizing the allergodermatosis incidence of workers in the chemical and pharmaceutical industry in Ukraine. The method is based on the decomposition of phase portraits of time series into quasi-cycles, the characteristics of which allow estimating the risk of erroneous forecasting. To strengthen the structuredness of the data, it is proposed to carry out the procedure of aggregating time series. Figs.: 5. Tabl.: 1. Refs.: 10 titles.

**Keywords:** graphical test; pre-forecast analysis; allergodermatosis incidence; phase portrait; quasi-cycle; aggregation time series.