

*А. М. Гізатулін,
к.е.н., доцент кафедри прикладної математики та інформатики
ДВНЗ „Донецький національний технічний університет”*

*А. О. Коломицева,
к.е.н., в.о. зав. кафедри економічної кібернетики
ДВНЗ „Донецький національний технічний університет”*

АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРОДАЖУ ГОРІЛЧАНИХ ВИРОБІВ НА МІКРОРІВНІ

The analysis and modelling dynamics of sale alcoholic beverages at the microlevel

Досліджена динаміка обсягів продажу горілчаних виробів на наявність детермінованого хаосу. Проаналізовані засоби економіко-математичного моделювання для розробки адекватних прогнозних моделей.

Ключові слова: динаміка обсягів продажу, детермінований хаос, прогнозна модель

The dynamics of sale alcoholic beverages for the presence of deterministic chaos was researched. Analyzed means of economic and mathematical modelling to develop appropriate predictive models.

Keywords: sales growth, deterministic chaos, forecasting model

Вступ. Сучасна економіка України характеризується підвищенням як складності процесів, які в ній відбуваються, так і складності структури економічних систем. Складність процесів, які протікають в економіці України, підвищується за рахунок децентралізації економіки, створення нових господарських об'єктів і нових економічних зв'язків, виходу на світові ринки.

Класична економічна наука застосовує квазістаціонарний підхід до прогнозування розвитку динамічних процесів. Цей підхід не застосовний в умовах високого ступеня нерівноваженості сучасної економіки України. З іншого боку сучасний етап розвитку методів економіко-математичного моделювання характеризується бурхливим розвитком інформатизації і комп'ютерних засобів. Їхнє широке застосування при розробці, тестуванні і застосуванні моделей дає можливість будувати складні нелінійні моделі, які більш адекватно відображають складні економічні процеси, і дозволяють зробити більш достовірний прогноз на майбутнє [1].

Не є винятком і динаміка продажу горілчаних виробів на теренах України, яка, головним чином, обумовлена поведінкою споживача. А споживач, в свою чергу, мислить нелінійно. Проблема планування і прогнозування обсягів продажу є надзвичайно актуальною для будь-якого підприємства, тому дуже важливо дослідити динаміку продажу горілчаних виробів і визначити, які засоби моделювання необхідно застосовувати при плануванні або прогнозуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробкою інструментів моделювання складних видів економічної динаміки і дослідженням методів і моделей, які можна застосувати до детермінованого хаосу займається багато вчених, як на Україні, так і за її межами. Це, зокрема, С. П. Курдюмов [2], Г. Г. Малинецький [3], А. Б. Потапов [3], Н. Н. Моїсєєв [4], Т. С. Клебанова [5], І. Прігожин [6], І. Стенгерс [6], Л. Н. Сергєєва [1,7,8] та інші. Проте дослідження зазначених вчених не охоплюють ринок горілчаних виробів і відповідно динаміку продажу горілки.

Метою даної статті є дослідження динаміки продажу горілчаних виробів, а саме визначення типу динаміки і адекватних засобів економіко-математичного моделювання.

Результати. Вихідними даними для дослідження динаміки і побудови прогнозної моделі є дані об'ємів продажу горілки донецького гуртового оператора за 2009-2010 роки. Візуальний аналіз графіка обсягів продажу (див. рис. 1) дозволяє визначити тип динаміки змін. Безперечним є те, що процес, який досліджується не є регулярним, безпосередньо не можна визначити тренд, відсутні риси стаціонарної поведінки.

Для того, щоб краще зрозуміти характер динаміки продажу і запропонувати гіпотезу щодо наявності дивного атратора і джокеру, необхідно побудувати псевдофазовий простір (див. рис. 2). Як видно з рисунку 2 джокер відсутній. Якщо порівняти розподіл точок спостережень у псевдофазовому просторі на рисунку 2 з розподілом точок спостережень випадкового процесу у псевдофазовому просторі, то можна зробити висновок, що динаміка обсягів продажу горілки має певну внутрішню структуру, яка відрізняє її від випадкового ряду спостережень, і дозволяє припустити наявність дивного атратора.

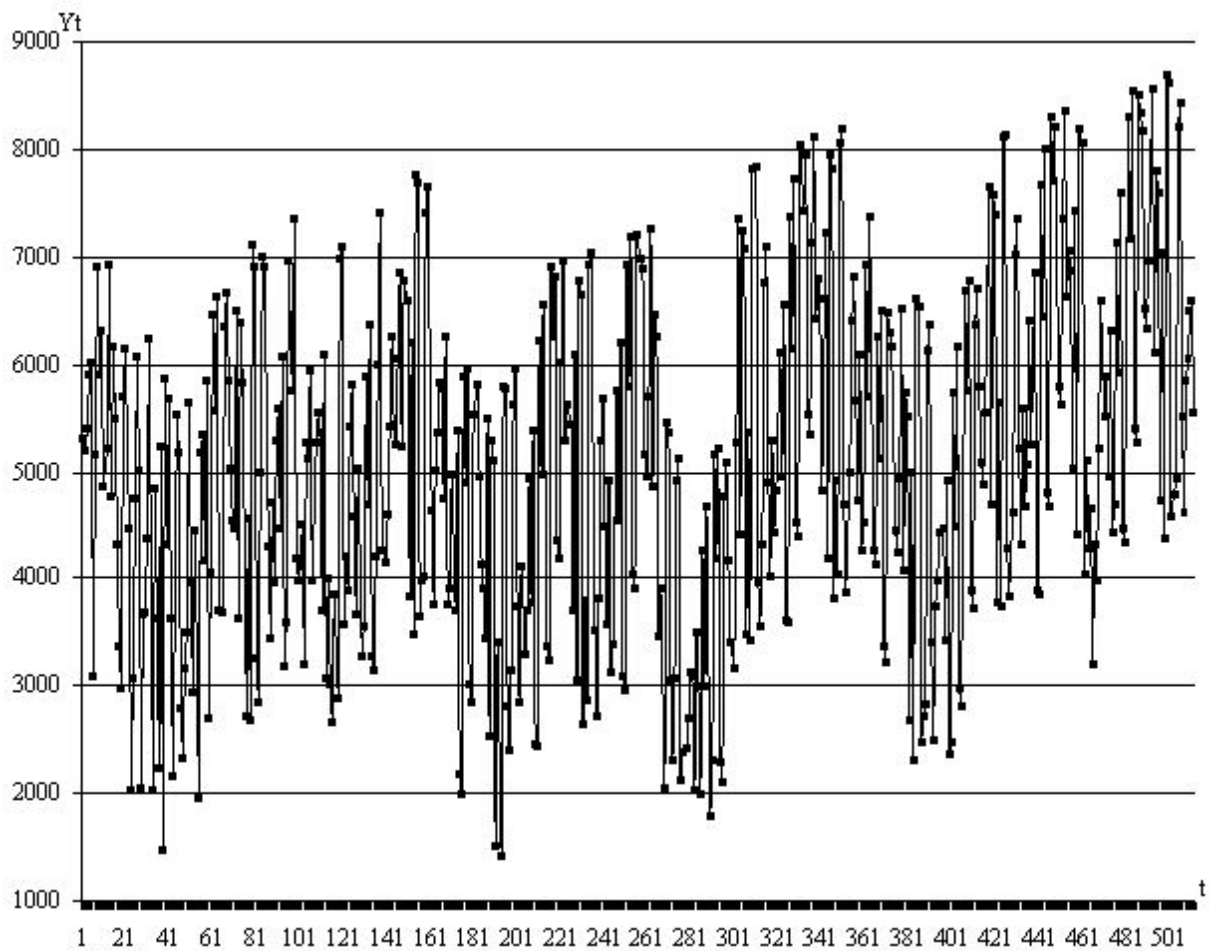


Рис. 1. Динаміка обсягів продажу горілки

Тепер необхідно з'ясувати, чи існує залежність параметрів системи, що описує динаміку продажу, від часу, яка проявляє себе у дрейфі атрактора. Для цього проведемо наступний тест. Зафарбуємо точки псевдофазового простору у різні кольори, тобто зимові спостереження одного року – одного кольору, зимові спостереження другого року – іншого кольору і так далі. Якщо точки різного кольору розподілені рівномірно, то дрейф відсутній.

Дрейф атрактора дуже добре спостерігається на прикладі зміщення точок у псевдофазовому просторі з зими 2009 року у зиму 2010 року. Також картину дрейфу можна спостерігати при зміні року спостережень (див. рис. 3).

Після того, як тест показав наявність дрейфу, необхідно видалити дрейф з вихідного ряду. Для чого необхідно розділити множину точок псевдофазового простору на дві випуклі підмножини і зробити афінне перетворення, тобто необхідно визначити швидкість зміщення, швидкість повороту і швидкість розтягування, які приводять до співпадання підмножин. Зазначені швидкості і характеризують дрейф атрактора, тобто нелінійний тренд складної структури, за яким рухається аттрактор. Оскільки не має доступного програмного забезпечення для афінного перетворення, то можна визначити тільки швидкість зміщення через кут нахилу лінійного тренду.

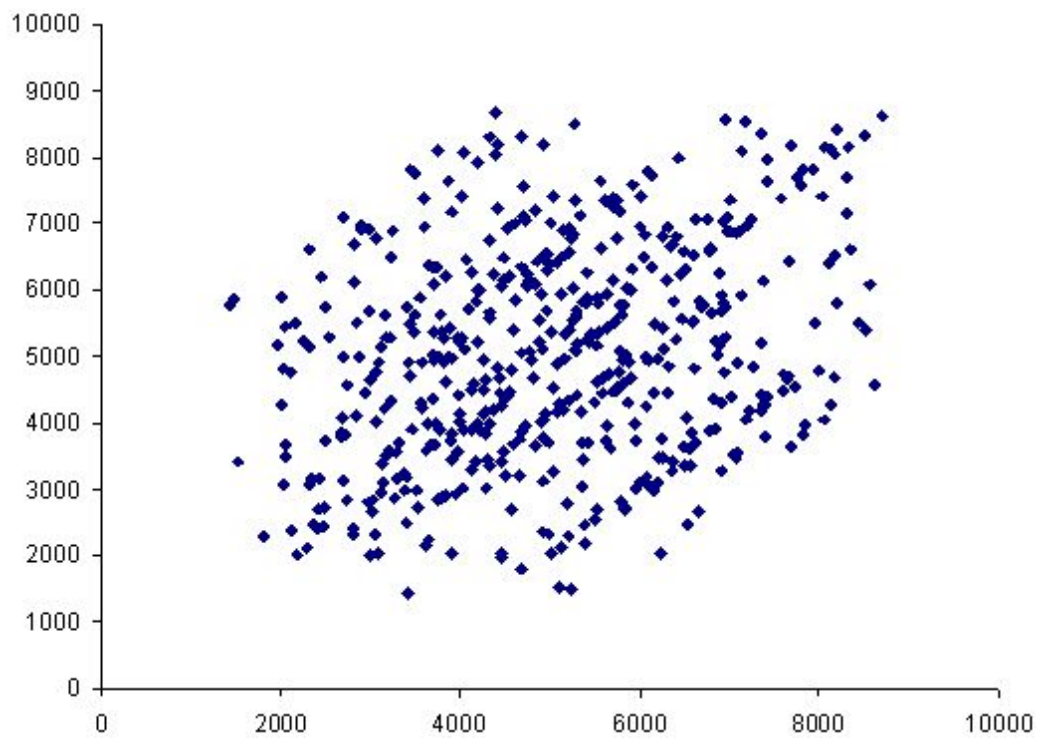


Рис. 2. Псевдофазовий простір динаміки продажу горілки

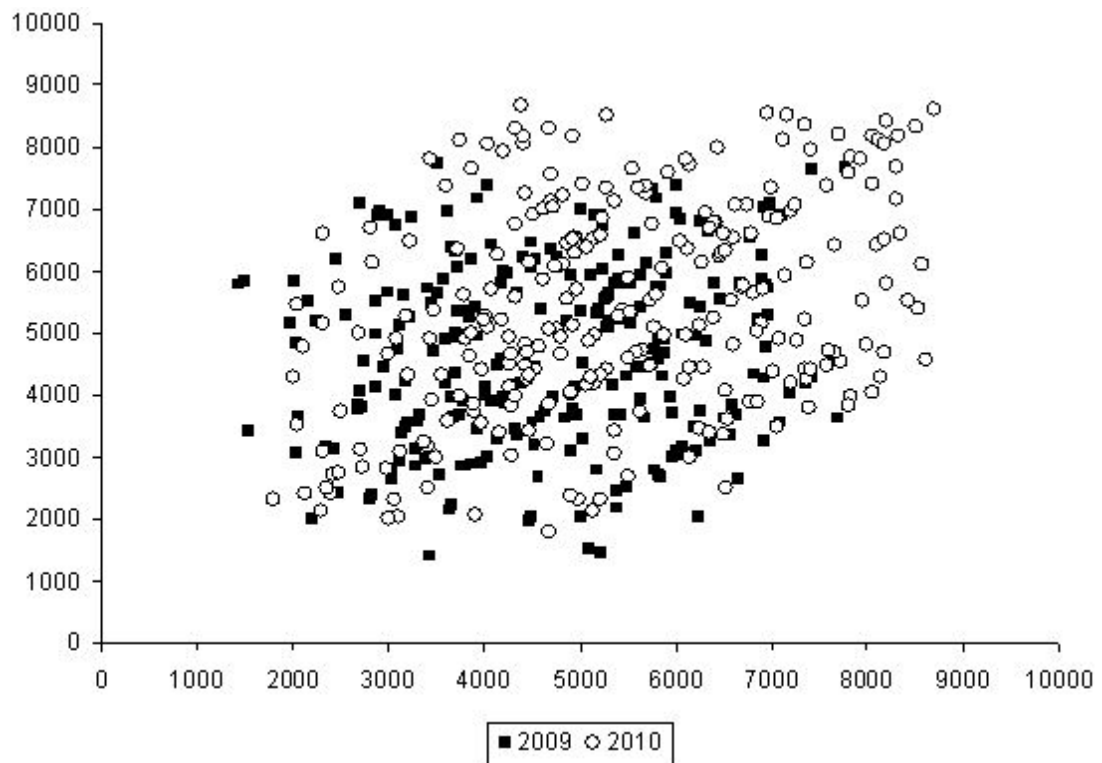


Рис. 3. Дрейф атрактора через рік

За допомогою MS Excel, отримуємо лінійний тренд

Після видалення тренду отримуємо динаміку деякого процесу (див. рис. 4). Тепер необхідно

визначити чи є цей процес детермінованим хаосом. Для чого розрахуємо за допомогою пакету Fractal метричні характеристики, що дозволяють відрізнити випадковий і хаотичний процеси.

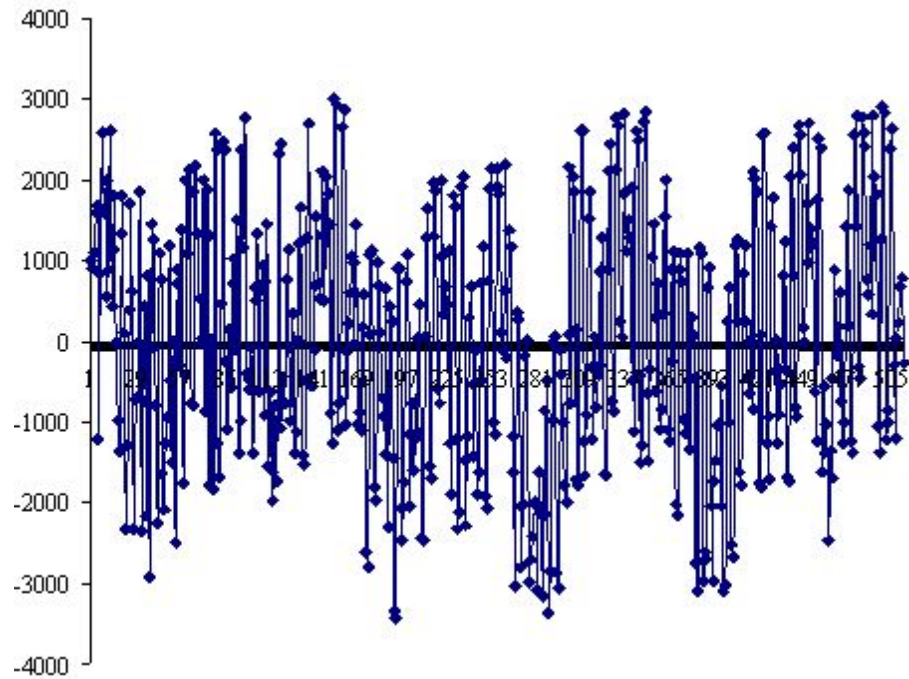


Рис. 4. Динаміка процесу після видалення тренду

Оцінимо кореляційну розмірність D^M для розмірностей псевдофазового простору M , що ростуть від 1 до 12. На рисунку 5 наведено залежність D^M від M . Видно, що при $M = 11$ відбувся перелом у рості значень D^M . Це значить, що кореляційна розмірність дорівнює 3,41, а розмірність простору вкладки атрактора дорівнює 11.

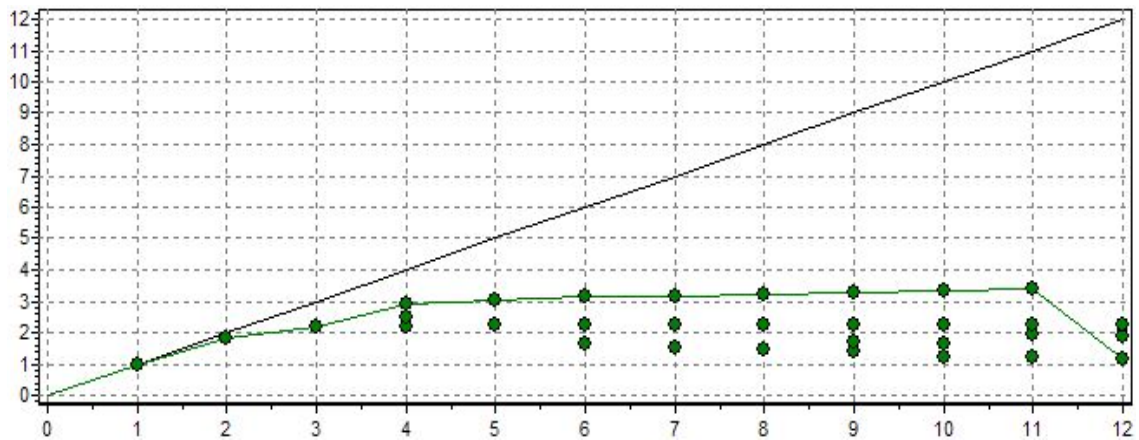


Рис. 5. Кореляційна розмірність динаміки продажу

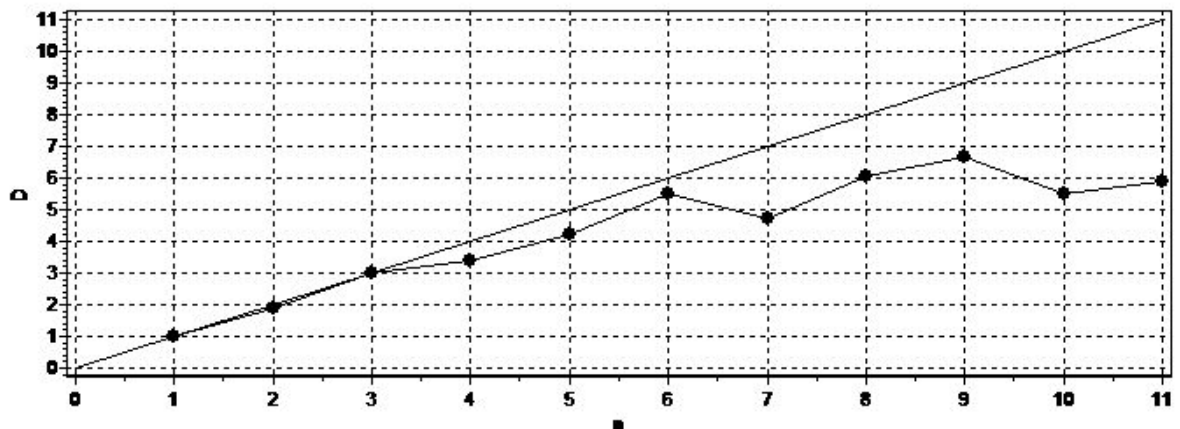


Рис. 6. Кореляційна розмірність випадкового процесу

Для порівняння наведено рисунок 6, де видно різницю між хаотичним і випадковим процесом. Кореляційна розмірність дорівнює 6,69, а розмірність простору вкладення атрактора дорівнює 9. Таке співвідношення кореляційної розмірності до розмірності простору вкладення атрактора, як 7:9, є характерним для більшості випадкових процесів. Суттєвою відзнакою між хаотичним і випадковим процесами є також те, що кореляційна розмірність хаотичного процесу швидко наближується до точки насичення, і навпаки, кореляційна розмірність випадкового процесу монотонно росте.

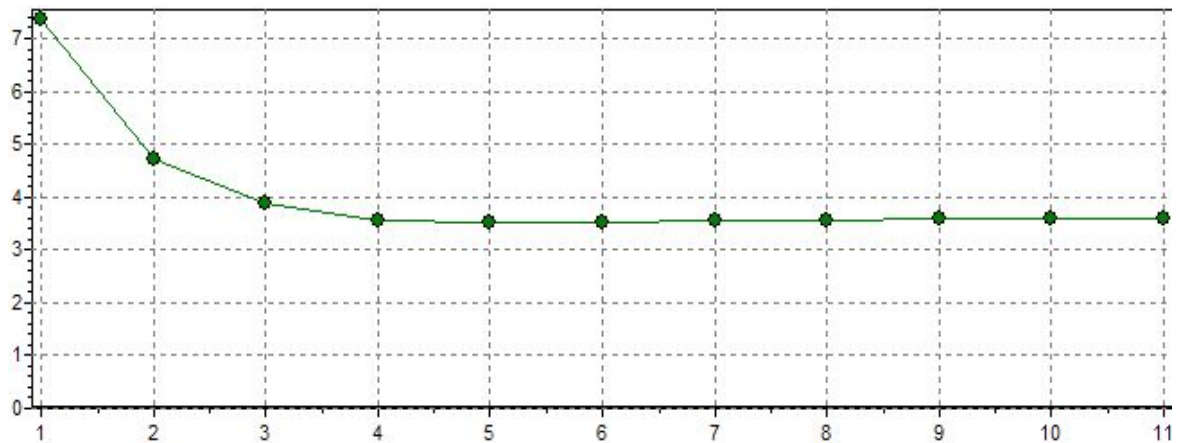


Рис. 7. Інформаційна розмірність динаміки продажу

Ще однією метрикою є інформаційна розмірність, яка розраховується аналогічно до кореляційної розмірності. На рисунку 7 наведено залежність розмірності інформаційного простору від розмірності простору вкладення атрактора для досліджуваного процесу.

Як видно з рисунку 7 перелом у зміні тенденції інформаційного розміру відбувся у точці, де інформаційна розмірність дорівнює 3,5, а розмірність простору вкладення атрактора дорівнює 5.

Ще одним тестом на наявність хаосу є показник Херста [9]. Визначення зазначеного показника зображене на рисунку 8.

Для процесу, що досліджується, точкова оцінка показника Херста дорівнює 0,72, а інтервальна лежить в діапазоні від 0,55 до 0,89, що свідчить про наявність довготермінової пам'яті, яка характерна для детермінованого хаосу.

На основі показника Херста можна отримати оцінку фрактальної розмірності. Так, для досліджуваного процесу оцінка фрактальної розмірності дорівнює 1,28.

Таким чином, можна зробити висновок, що динаміка змін обсягів продажу горілки є процесом, що підпорядкований детермінованому хаосу.

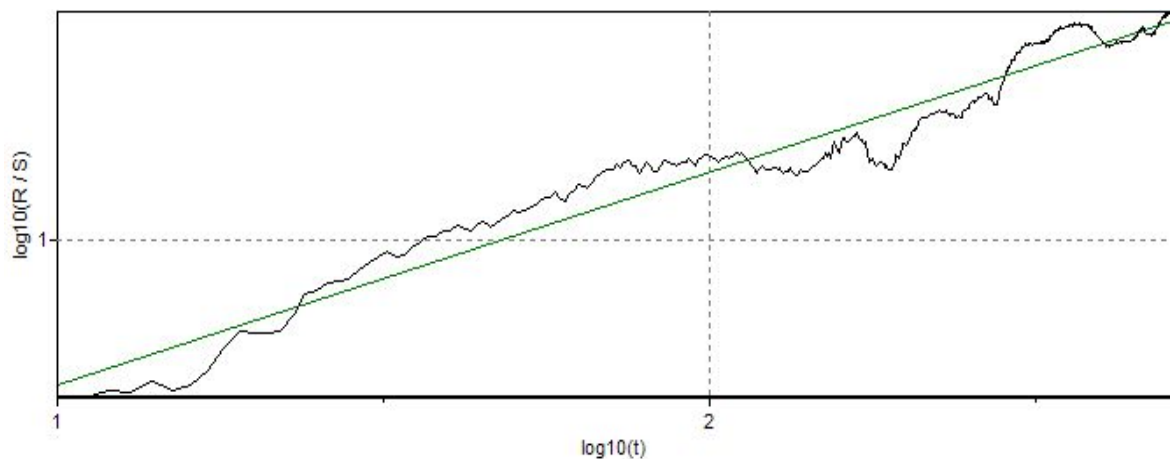


Рис. 8. Показник Херста для досліджуваного процесу

Змістовний комплексний аналіз поведінки динаміки змін обсягів продажу показав наявність детермінованого хаосу. За таких умов побудова моделі обсягів продажу потребує реконструкції атрактора. Проте, зважаючи на те, що необхідно побудувати не стільки саму модель, скільки прогноз, можна побудувати аттрактор не в істинному фазовому просторі, а у псевдофазовому просторі, тобто побудувати предиктор.

Найкращими базовими моделями, що відображають специфіку хаотичної поведінки, є логістичне відображення і двомірне відображення Енона. Ці моделі вважаються найкращими через те, що предиктор може бути побудований аналітично.

Зважаючи на те, що вкладення фазового простору щонайменше дорівнює п'яти, не можна використовувати логістичне відображення з одним параметром.

Оскільки вихідний процес є дуже наближеним до випадкового, то можна дослідити також можливість моделювання за допомогою ARIMA-моделі.

Таким чином, необхідно дослідити чотири варіанти моделювання:

- за допомогою моделі Енона;
- видаливши тренд і моделюючи залишки за допомогою моделі Енона;
- за допомогою моделі Енона з урахуванням фактору часу;
- за допомогою ARIMA-моделі.

Для з'ясування змінних, що необхідно включити до моделі побудуємо за допомогою пакету Statistica частинну автокореляційну функцію (див. рис. 9). На рис. 9 видно, що найбільше значення автокореляційна функція приймає при змінних з лагом 5 і 10. Крім того ці змінні за логікою зв'язку підходять як для опису вихідного процесу, так і задовольняють логіці моделі Енона.

Так, підприємство реалізує оптові партії горілки п'ять днів на тиждень з двома вихідними. Тому логічно, що оператори роздрібною мережі роблять циклічні закупки раз на тиждень або на два тижні на підставі пам'яті про минулі закупівлі.

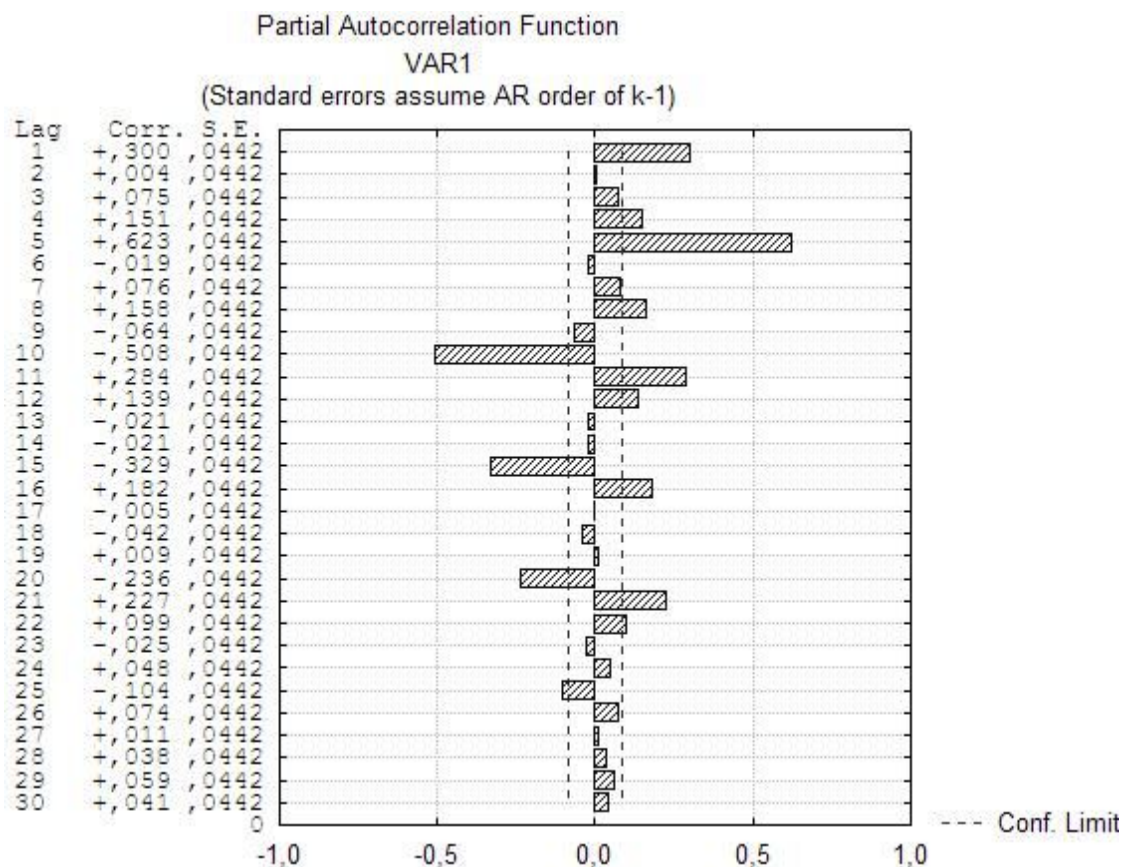


Рис. 9. Частинна автокореляційна функція

Для оцінки параметрів усіх моделей скористуємося однокроковим методом найменших квадратів і пакетом «MS Excel», в якому цей метод реалізовано.

Тепер моделі вихідного ряду мають наступний вигляд:

- модель Енона:

$$Y_n = 1494,24 + 0,98Y_{n-5} - 0,000049Y_{n-10}^2$$

- система „тренд + модель Енона“:

тренд: $\hat{Y} = 2,98t + 4291,$

модель Енона: ;

- модель Енона з урахуванням фактору часу:

$$Y_n = 1220,93 + 0,95Y_{n-5} - 0,000052Y_{n-10}^2 + 2,02t$$

- ARIMA-модель:

$$Y_n = 2634,09 + 0,98Y_{n-5} - 0,49844Y_{n-10}$$

За даними t-тесту параметри усіх моделей є статистично значущими з довірчою вірогідністю 0,95 через те, що для всіх параметрів розрахункове значення t-критерію виявилось більшим за табличне.

Перевірка адекватності моделей вихідному ряду була проведена за допомогою коефіцієнту детермінації. Як виявилось, адекватними є усі моделі окрім системи моделей „тренд+модель Енона”. Тому останню модель не можна використовувати для прогнозування обсягів продажу горілки.

Висновки. На підставі проведеного дослідження можна зробити наступні висновки.

Економічний аналіз змісту процесу продажу горілки, а також метричні характеристики підтвердили, що динаміка змін обсягів продажу горілки є процесом, який відповідає детермінованому хаосу. Так, показник Херста для вихідного ряду дорівнює 0,72, що є характерним для персистентних (додатньо корельованих) хаотичних рядів. Кореляційна розмірність дорівнює 3,4, інформаційна розмірність дорівнює 3,5 і фрактальна розмірність дорівнює 1,28. Тобто, усі метричні показники доводять, що вихідний процес дійсно є хаотичним.

Для побудови глобального предиктора було обрано чотири варіанти моделювання:

- за допомогою моделі Енона [7];
- видаливши тренд і моделюючи залишки за допомогою моделі Енона;
- за допомогою моделі Енона з урахуванням фактору часу;
- за допомогою ARIMA-моделі [10-12].

Виявилось, що адекватними є усі моделі окрім системи моделей „тренд+модель Енона”. Тому останню модель не можна використовувати для прогнозування обсягів продажу горілки. Найкращою за коефіцієнтом детермінації виявилася модель Енона з урахуванням фактору часу.

Подальші шляхи дослідження полягають у наступному: дослідження і вибір методу визначення горизонту прогнозу для хаотичних рядів економічної динаміки, побудова короткострокового прогнозу обсягів продажу горілчанних виробів, визначення якості прогнозних моделей.

Список використаних джерел.

1. Сергеева Л. Н. Нелинейная экономика: модели и методы / Л. Н. Сергеева. – Запорожье: Полиграф, 2003. – 218 с.
2. Курдюмов С. П. Синергетика – теория самоорганизации. Идеи, методы, перспективы / С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
3. Малинецкий Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.
4. Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
5. Моделирование экономической динамики / Клебанова Т. С., Дубровина Н. А., Полякова О. Ю., Раевнева Е. В., Милов А. В., Сергиенко Е. А. – Х.: ИНЖЕК, 2005. – 244 с.
6. Пригожин И. Порядок из хаоса – новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 312 с.
7. Сергеева Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) / Л. Н. Сергеева. – Запорожье: ЗГУ, 2002. – 227 с.
8. Сергеева Л. Н. Построение нелинейного предиктора по экономическим временным рядам / Л. Н. Сергеева, Ю. Н. Бережная // Модели управления в рыночной экономике: Сб. научных трудов Донецкого национального университета. – Донецк: ДонНУ. – 2002. – Вып. 5. – С. 285-294.
9. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 112 с.
10. Chaos Theory In Economics: Methods, Models, Evidence (International Library of Critical Writings in Economics) / Edited by Dechert W. D. – Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd, 1996. – 596 p.
11. Puu T. Attractors, Bifurcations, & Chaos: Nonlinear Phenomena in Economics / T. Puu. – NY: Springer, 2010. – 561 p.
12. Chaos Theory: Modeling, Simulation and Applications / Edited by Christos H. Skiadas, Ioannis Dimotikalis, Charilaos Skiadas. – Singapore: World Scientific Publishing Ltd, 2011. – 468 p.