

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.

Ефективна економіка. 2022. № 11.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2022.11.59>

УДК: 519.866

А. Ю. Гордійчук,

студентка кафедри економічної кібернетики,

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8064-0873>

І. Д. Фартушний,

*к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедри економічної кібернетики, Національний технічний
університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1595-9495>

МОДЕЛЮВАННЯ НЕПЕРЕРВНИХ ІНФЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

A Hordiichuk,

Student of the Department of Economic Cybernetics,

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

I. Fartushnyi,

*PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the
Department of Economic Cybernetics, National Technical University of Ukraine "Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

MODELING OF CONTINUOUS INFLATIONARY PROCESSES

Запропоновано синергетичний підхід до моделювання нелінійних інфляційних процесів на макрорівні. В основі моделі лежить принцип транзитивності в теорії економічної рівноваги, який описується системою звичайних диференціальних рівнянь. Він враховує запізнілу реакцію системи на кількісні зміни в грошовому та виробничому секторах економіки. На основі моделі запропоновано один із інструментів, який забезпечує безінфляційне підвищення ступеня монетизації економіки. Також запропоновано підхід до визначення кінетичних коефіцієнтів у кінетичній моделі інфляції, які можна використовувати для оцінки інфляції на наступний період. Чисельно можна показати, що кінетичні коефіцієнти відрізняються протягом періоду, оскільки вони пов'язані зі швидкістю зміни індексу цін і ВВП протягом цього періоду.

Today Ukraine is going through difficult times: martial law, economic crisis, aggravation of the political situation, instability, social decline, deterioration of the quality of life. Inflation is one of the most important macroeconomic indicators, as it shows and characterizes unfavorable changes in prices and a decrease in the quality of life. The problem of inflation occupies one of the key places in the economy of Ukraine, as it has significant socio-economic consequences. Forecasting inflationary processes is quite an important factor for the economy as a whole. Obtaining accurate forecasts is quite difficult, since the number and multidimensionality of factors that affect inflation is significant. In recent years, publications on the analysis of states of economic transformation based on mathematical modeling using standard differential equations have become the most common. One of the theses of this research is a qualitative formal-mathematical analysis of the development of economic systems from the point of view of synergy - a multidisciplinary science that studies the general principles of evolution and self-organization of complex systems based on non-linear mathematical models. The purpose of the article is to build, analyze and solve a kinetic mathematical model, to form the basis of the principles and prerequisites of a synergistic approach in modeling inflationary processes. A synergistic

approach to modeling nonlinear inflationary processes at the macro level is proposed. The model is based on the principle of transitivity in the theory of economic equilibrium, which is described by a system of ordinary differential equations. It takes into account the delayed reaction of the system to quantitative changes in the monetary and production sectors of the economy. On the basis of the model, one of the tools is proposed, which provides an inflation-free increase in the degree of monetization of the economy. An approach to determining the kinetic coefficients in the kinetic model of inflation, which can be used to estimate inflation for the next period, is also proposed. It can be shown numerically that the kinetic coefficients vary over a period because they are related to the rate of change of the price index and GDP during that period.

Ключові слова: *інфляція, синергетичний підхід, кінетична модель, кінетичні коефіцієнти.*

Keywords: *inflation, synergistic approach, kinetic model, kinetic coefficients.*

Постановка проблеми. На сьогодні Україна переживає важкі часи: воєнний стан, економічна криза, загострення політичної ситуації, нестабільність, соціальний занепад, погіршення умов якості життя. Одним з найголовніших макроекономічних показників є саме інфляція, так як саме вона показує та характеризує несприятливі зміни в цінах, зменшенню якості життя. Проблема інфляції посідає одне з ключових місць в економіці України, так як має вагомі соціально-економічні наслідки.

Прогнозування інфляційних процесів є досить важливим фактором для економіки в цілому. Отримати точні прогнози є досить складно, так як кількість та багатовимірність факторів, які впливають на інфляцію, є значною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Багато робіт як українських, так і зарубіжних авторів стосуються питання інфляційного моделювання. Різноманітність і широта поглядів на природу та сутність, механізми виникнення та неоднозначність проявів свідчать про відсутність знань про природне призначення інфляційних

процесів. Відсутність знань про справжні джерела інфляції також призводить до неефективної боротьби. Українська влада, застосовуючи жорстку фіскальну політику, досягає помірною рівня інфляції при високих витратах. Наслідком такої політики є втрата темпів розвитку національної економіки.

Дослідження та побудова моделей опису інфляційних процесів сприяє кращому розумінню факторів, що впливають на темпи зміни індексу споживчих цін, а отже, сприяє більш точному вибору антиінфляційних заходів. Велика кількість наукових робіт присвячені саме цій темі [4-6]. У серії статей різних науковців та експертів розглядаються методичні положення, економіко-математичний інструментарій, необхідний для аналізу та прогнозування інфляції.

Побудові та аналізу кінетичних моделей джерела були присвячені деякі наукові роботи, пов'язані з даною темою, особливо [1-3]. У тих дослідженнях, де пропонується модифікація кінетичної моделі джерела [7-9], інтегральні криві отримують за розрахунковими схемами типу Розенброка, оскільки рівняння є жорсткими.

Подібне відбувається в [10], де кінетичні коефіцієнти моделі розраховуються без урахування впливу останніх на поведінку фазових змінних.

Постановка завдання. В останні роки найбільш поширеними стали публікації з аналізу станів економічної трансформації на основі математичного моделювання з використанням стандартних диференціальних рівнянь. Однією з тез цього дослідження є якісний формально-математичний аналіз розвитку економічних систем з точки зору синергії – полідисциплінарної науки, що вивчає загальні принципи еволюції та самоорганізації складних систем на основі нелінійних математичних моделей.

Метою статті є побудова, аналіз та розв'язок кінетичної математичної моделі, сформулювати основні принципи та передумови синергетичного підходу у моделюванні інфляційних процесів.

Виклад основного матеріалу дослідження. З перших років незалежності України економічний розвиток характеризувався постійною наявністю інфляційних процесів. Помірний рівень інфляції на початку нового тисячоліття в порівнянні з

гіперінфляцією 90-х років стверджував, що український уряд освоїв і контролював цінові процеси. Однак світова криза 2008 року показала і виявила приховані причини активізації інфляційних процесів та ефективності самостійної боротьби з наслідками нової хвилі інфляції в Україні. Тому впоратися з інфляцією в українському суспільстві є нагальним завданням, щоб досягти економічного розвитку країни в довгостроковій перспективі.

Проблему інфляції слід розглядати в макроекономічному контексті та її динаміці, оскільки інфляція є динамічним процесом, який двосторонньо пов'язаний з розробкою основних соціально-економічних показників. Особливо цінним є вивчення його динамічних особливостей на основі нелінійних змін інфляційних процесів.

Інфляція вважається механізмом розвитку ринку і явищем синергетичного характеру. При цьому постійні інфляційні імпульси, що виходять від ринку, компенсуються ефективним економічним зростанням.

Слід детально розглянути один з основних методів моделювання переходу економічної системи від гармонійного рівноваги до іншого. Такий перехід називається процесом самоорганізації – спробою системи створити нові значення параметрів, відповідних збалансованому стану під впливом законів функціонування. Процес самоорганізації можна описати наступним диференціальним рівнянням:

$$x' = k(x_n - x_0); \quad (1)$$

де x - кількісна характеристика даного економічного показника;

x' є похідною від часу t ;

k – швидкість реакції системи на отримання нового рівноважного значення x_n ;

x_0 - попереднє значення змінної x .

Економічна інтерпретація k -фактора має на увазі визначення часу (затримки), необхідного для переходу на нове положення економічної підсистеми внаслідок рівноважної діяльності.

У контексті синергетичного підходу важливою темою в сучасній економічній теорії є визначення взаємної поведінки інфляції та економічного зростання. Одним з

найважливіших показників зростання є розмір реального валового внутрішнього продукту (ВВП). Тому інфляційне моделювання має ґрунтуватися на моделі структурних зв'язків і впливу двох блоків економічної системи: фінансів і промисловості.

Ці особливості синергетичного підходу вимагають формалізації моментів економічної рівноваги за допомогою математичного апарату.

Ось як в роботі [1, с. 5] описується практичне значення відомого рівняння Фішера для обміну валют:

$$Mv = pY; \quad (2)$$

Згідно зі статистичними спостереженнями економіки, рівняння (2) можна інтерпретувати як гармонійний стан спокою з деяким відхиленням.

З точки зору виробничого балансу враховуємо відношення валових інвестицій до реального ВВП [2, с. 19]:

$$Y = \frac{I}{r}; \quad (3)$$

де є частка ВВП, сформована за рахунок залучення джерел інвестицій I .

Сучасна модель економіки України є складним явищем визначення моментів рівноваги або спокою, постійної активності економічних факторів, причому не тільки при знаходженні системи в стані спокою, але і в процесі самоорганізації системи в показники нового стану рівноваги. Тобто система, яка постійно знаходиться в перехідному процесі, є динамічним об'єктом, і в силу своєї складності ця динаміка зазвичай нелінійна. В цьому відношенні показником економіки є 2002 рік, коли рівність (2) досягається з невеликою похибкою в 4%. В інші роки похибка була досить великою.

Тоді виникає питання, чи варто визначати дисбаланси у фінансовій сфері: які призводять до інфляційних імпульсів і сфері виробництва; які дають можливість нейтралізувати наслідки зростання цін і, можливо, взагалі запобігти виникненню інфляції.

Інфляційні процеси в Україні свідчать про співвідношення інфляційного потенціалу, вбудованого в грошову частину економіки внаслідок виробничого тиску, девальвації національної валюти, розширення кредитування в банківському секторі та залучення іноземних кредитів для погашення державного боргу. Крім інфляції попиту, існує також інфляція пропозиції, яка виникає в ході зростання цін витрат виробництва.

Грошова маса у вітчизняній економіці залишається основним джерелом розвитку інфляційного процесу. Параметр M визначається описаним рівнянням (2) як основний момент травми рівноваги. Збільшення розміру грошової маси називається питанням і вважається функцією часу:

$$m(t) = \frac{\Delta M(t)}{M_0}; \quad (4)$$

де M_0 - наявні обсяги грошей;

$\Delta M(t)$ – приріст грошей в момент часу t .

Найважливішим аспектом інфляційних процесів є розмір національного продукту, що фактично виробляється і повинен служити засобом боротьби з інфляцією, оскільки в умовах спаду внутрішнього виробництва або недостатніх темпів зростання економіка покриває нестачу товарних мас імпортом, що в свою чергу призводить до виникнення імпортних інфляційних процесів. Тому зростання реального обсягу виробництва є найефективнішим інструментом у боротьбі з інфляцією.

Коефіцієнт збудження рівноважного моменту в (3) враховує збільшення розміру фактичних вкладень, тобто збільшення параметра g .

У різних країнах проводилися дослідження впливу грошової маси на інфляцію і часового проміжку між зміною грошової маси і зміною рівня цін. Існування різниці в часі можна пояснити тривалістю процесу грошової трансмісії і відображає вплив зміни грошової маси на рівень цін. Немає жодної проблеми щодо масштабів затримки.

Це пов'язано зі складністю визначення співвідношення і силою впливу одного показника на інший, особливо якщо зміна другого показника відбувається під впливом

багатьох факторів. Для передових економічних моделей встановлюється затримка в 1, 5-2 роки і на розвиток 4-7 місяців.

По-перше, зміна вартості грошової маси впливає в першу чергу на обсяг внутрішнього виробництва, а не на ціни. У науковій літературі українських вчених вивченню затримок приділяється дуже мало уваги. У деяких роботах вказуються затримки, зокрема розрахована затримка динаміки інфляції через півроку після грошової емісії. Метод визначення затримок зазвичай полягає в зіставленні коефіцієнта взаємної кореляції між грошовою масою і індексом цін для різних різниць у часі. Такий підхід не гарантує точності, але доводить гіпотезу про наявність затримок.

Більш складною є затримка виробничого циклу, яка існує від моменту вкладення у виробництво до збільшення маси реальних товарів. Процес конвертації інвестицій у виробництво супроводжується рядом механізмів освоєння інвестиційних ресурсів.

Тому інструмент моделювання інфляції повинен розглядати часові лаги в процесах самоорганізації кожної підсистеми окремо.

Виходячи з наведених вище синергетичних принципів, пропонуємо ММ нелінійних інфляційних процесів, які мають такий вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dp(t)}{dt} = k_1(t) \left(\frac{1+m(t)}{1-m(t)} - p(t) \right), \\ \frac{dy(t)}{dt} = k_2(t) \left(\frac{d(t)*m(t)}{1+p(t)} - y(t) \right). \end{cases} \quad (5)$$

Кожне з диференціальних рівнянь системи (4) описує процес переходу з одного положення з координатами (p, y) в інше. $\left(\frac{1+m(t)}{1-m(t)}, \frac{d(t)*m(t)}{1+p(t)} \right)$

Множники $k_1(t)$ і $k_2(t)$ - це тимчасові інтервали, які система витрачає на цей перехід. Їх використання дозволяє не тільки підвищити надійність рішень, але і, з одного боку, вплив виробництва на цінові процеси, а з іншого - роль грошового виробництва. Далі слід враховувати співвідношення $k_2(t)/k_1(t)$, так як можна розробляти різні сценарії взаємного впливу параметрів p (індекс цін) і ВВП.

Якщо $k_2(t)$ на порядок більше $k_1(t)$, то вкладені у виробництво гроші швидко перетворюються в масу товару. Це дає нам привід сперечатися про інфляційну стерильність цих інвестицій, а тому виробництво грошей можна розглядати як спосіб збільшення реального ВВП без інфляційних наслідків.

З точки зору інвестиційної функції питання характерно обговорювати незначну інфляцію як стимул економічного зростання. Ситуація негативна, коли $k_1(t)$ приймає великі значення щодо $k_2(t)$. При цьому зростання грошової маси має високий інфляційний потенціал, оскільки грошовий надлишок задовольняється достатнім приростом випуску продукції. Підводячи підсумок, робимо висновок, що використання параметрів латентності при моделюванні дозволяє створювати досить багаті сценарії помірному розвитку економічної системи (4).

Стаття [3, с.1] розглядає синергію з точки зору вивчення нових особливостей системи. Взаємодія елементів системи може привести до якісно нових властивостей. Іншими словами, при переході до нелінійних моделей можуть з'явитися невідомі раніше незвичайні особливості принципів управління поведінкою системи. Прикладом такого виявлення нових ознак системи є параметр $d(t)$ моделі інфляції (4). Цей параметр виконується у вигляді диференціальних рівнянь при формалізації моделі і переході від стійких пропорцій до (2) і (3) нелінійним формам і має наступний вигляд:

$$d(t) = \frac{\xi(t)M}{pI}; \quad (6)$$

де $\xi(t)$ - функція частки початкових грошей, що направляються в реальний сектор економіки для збільшення реального обсягу виробництва. Інші параметри (5) описані вище. Необхідно було визначити економічну інтерпретацію цього параметра, так як, крім параметрів $k_1(t)$ і $k_2(t)$, коефіцієнт $d(t)$ – керуючий параметр, що дозволяє створювати точні відтиски кривих рішення системи рівнянь (4).

Для знаходження кінетичних коефіцієнтів k_1 і k_2 використовуються наступні неперервні формули. Нехай p_0, y_0 є значеннями функції p , де $t = t_0$ – значення незалежної змінної.

Значення p_1, y_1 для $t=t_0+h$:

$$p_1 = p_0 + hp'_0 + \frac{h^2}{2}p''_0;$$

$$y_1 = y_0 + hy'_0 + \frac{h^2}{2}y''_0;$$

$$p'_0 = f(t_0, p_0, y_0);$$

$$y'_0 = f(t_0, p_0, y_0);$$

Змінюючи початкові значення p_0 і y_0 , знайдемо значення рівня споживчих цін.

Виходячи з того для нашої кінетичної моделі інфляції ми отримуємо:

$$p_1 = p_0 + hp'_0 + \frac{h^2}{2}p''_0;$$

$$y_1 = y_0 + hy'_0 + \frac{h^2}{2}y''_0;$$

$$p'_0 = -k_1 \left(p_0 - \frac{1+m}{1+y_0} \right);$$

$$y'_0 = -k_2 \left(y_0 - \frac{md}{p_0} \right);$$

$$p''_0 = -k_1 \left(p'_0 + \frac{m+1}{(y_0+1)^2} y'_0 \right);$$

$$y''_0 = -k_2 \left(y'_0 + \frac{md}{p_0^2} p'_0 \right);$$

Для визначення кінетичних коефіцієнтів періоду (t_0, t) знайдемо значення $p(t)$, $y(t)$ шляхом числового інтегрування, де невідомі $k_{1,2}$ виражають величину зміни грошової маси m , індекс y_0 показує рівень ВВП відносно попереднього періоду, а індекс споживчих цін p_0 також відносно попереднього періоду. Прирівнюємо отримані вирази $p(t)$, $y(t)$ до відомих статистичних значень $p(t)$, $y(t)$, вирішуємо систему рівнянь і знаходимо невідомі $k_{1,2}$.

Отримані значення наведені в таблиці.

Таблиця 1. Отриманні значення кінетичних коефіцієнтів та результати моделювання рівня інфляції.

k1	k2	Рік	Реальний рівень інфляції	Результати моделювання	Відхилення
0.387	0.959	2003	8.2		
0.996	1.002	2004	12.3	10.5	1.8
1.595	0.217	2005	10.3	14.3	4
0.8254	1.1226	2006	11.6	12.7	1.1
0.7689	0.5228	2007	16.6	13	3.6
0.7893	0.83914	2008	22.3	19.5	2.8
1.282	0.46396	2009	12.3	9.9	2.4
0.9487	0.38878	2010	9.1	7.9	1.2
0.7294	0.3136	2011	4.6	4.4	0.2
0.9892	0.23842	2012	-0.2	2	2.2
1.1393	0.16324	2013	0.5	1.2	0.7
0.4892	0.8806	2014	24.9	17	7.9
0.2581	1.291288	2015	43.3	38.2	5.1
1.1963	0.734	2016	12.4	15.3	2.9
0.8246	0.91234	2017	13.7	14.9	1.2
0.6723	0.6223	2018	9.8	9.7	0.1
1.15904	0.7256	2019	4.1	7.6	3.5
1.58923	0.2894	2020	5	6.6	1.6
0.84274	0.7926	2021	10	9.6	0.4
0.6358	0.7923	2022	26.6 (станом на жовтень)	12.1	14.5

Графічне представлення отриманих даних виглядає наступним чином:

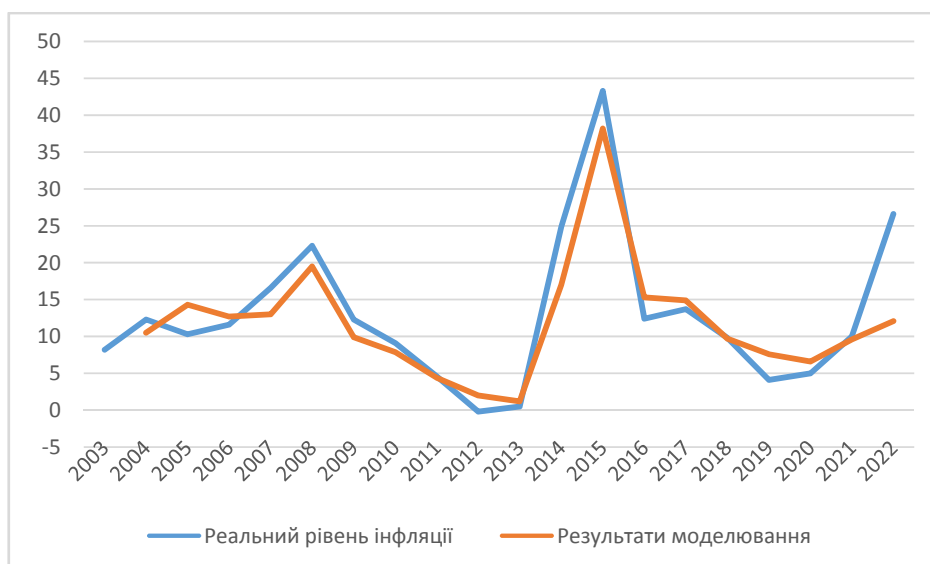


Рис.1. Порівняння реального рівня інфляції з моделюваним.

Висновки. Відповідно до запропонованого підходу за моделлю був проведений комп'ютерний експеримент (4), що дає можливість адаптувати досить високий ступінь відповідності побудованих рішень реаліям української економіки [7, с. 5]. Важливим доповненням в контексті переходу НБУ на інфляційну ціль є управління ММ [6], яке визначає розташування вхідних параметрів з метою досягнення оптимального рівня інфляції.

Провівши аналіз результатів моделювання можна побачити, що модель досить точно передає рівень інфляції, але все ж в деяких роках відхилення є суттєвим.

Розуміння динаміки інфляції з точки зору синергетики дозволило зробити:

- врахування затримки дії факторів, спрямованих на порушення гармонійного стану системи, а саме: пропозиції грошових коштів і товарів;
- визначення нелінійних темпів інфляції внаслідок нелінійної поведінки ВВП;
- прогнозує рівень інфляції в довгостроковій перспективі з багатоваріантною кількістю вхідних параметрів;
- розмовляти не тільки про інфляційну функцію витрачання грошей, а й про її роль як засобу інвестиційної політики без інфляційних наслідків.

Звичайно, такий підхід не звільняє нас від майбутніх досліджень інфляційних процесів. Слід підкреслити, що багато математичні моделі інфляційних процесів, розроблені сьогодні, ймовірно, не відповідають повноті дослідження цього складного економічного явища. Особливо якщо мова йде про визначення причинно-наслідкової сторони інфляції, такий підхід є яскравим прикладом розриву і створює перспективи для подальших досліджень.

Література

1. Найдьонов В. До питання рівняння обміну та монетарної теорії інфляції. *Економіка України*. 2003. №9. С.23-29.
2. Економіко-математичне моделювання. Моделювання макроекономічних процесів і систем: навч. посіб. / за ред. В. Колемав. 2005. –295с.

3. Пасемко Г.П. Синергетичні аспекти регулювання аграрних відносин: питання методології. *Актуальні проблеми державного управління*. 2009. №2. С. 23-28.
4. Деменюк О.В. Бюджетна безпека України як складова фінансової: стан і перспективи. *Наука й економіка*. 2010. №1. С.16-22.
5. Садков В. Про вдосконалення статистики денежного звернення та модернізації оцінки структури денежної маси. *Питання статистики*. 2005. № 6. С. 12-16.
6. Носов О. Підвищення рівня монетизації української економіки та рівня інфляції. *Економічний простір: Збірник наукових праць*. 2009. №24. С.169-175.
7. Коляда Ю.В. Синергетичний ефект інфляційного процесу. *Аналіз, моделювання, управління, розвиток економічних систем*. 2007. №2. С. 130-135
8. Новожилова, П.М. Математична модель оцінки інфляції. *Прикладна математика та механіка*. 2012. № 1. С. 148-158.
9. Табачников Я.А. Кінетична модель інфляції, яка враховує інфляційні очікування. *Прикладна статистика. Актуарна та фінансова математика*. 2008. №2. С.92-100.
10. Васильєва О.Т. Про знаходження коефіцієнтів кінетичної моделі інфляції. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2009. №6. С. 417-421.

References

1. Naidyonov, V. (2003), "To the question of the equation of exchange and the monetary theory of inflation", *Ukraine economy*, vol. 9, pp.23-29.
2. Kolemav, V. (2005), *Ekonomiko-matematychne modelyuvannya. Modelyuvannya makroekonomichnykh protsesiv i system: navch. posib.* [Economic and mathematical modeling. Modeling of macroeconomic processes and systems: education. manual], YuNYTY, Moscow, Russia.
3. Pasemko, H.P. (2009), "Synergistic aspects of regulation of agrarian relations: questions of methodology", *Actual problems of public administration*, vol.2, pp.23-28.

4. Demenyuk, O.V. (2010), "Budgetary security in the country as a component of financial security: state and prospects", *Science and economy*, vol.1, pp.16-22.
5. Sadkov, V. (2005), "On the improvement of monetary circulation statistics and modernization of the assessment of the structure of the money supply", *A question of statistics*, vol.6, pp. 12-16.
6. Nosov, O. (2009), "Increasing the level of monetization of the Ukrainian economy and the level of inflation", *Economic space: Collection of scientific papers*, vol. 24, pp.169-175.
7. Kolyada, V. (2007), "Synergistic effect of the inflationary process", *Analysis, modeling, management, development of economic systems*, vol. 2, pp. 130-135
8. Novozhilova, P.M. (2012), "Mathematical model of inflation assessment", *Applied mathematics and mechanics*, vol. 1, pp. 148-158.
9. Tabachnikov, A. (2008), "A kinetic model of inflation that takes into account inflationary expectations. Applied statistics", *Actuarial and financial mathematics*, vol. 2, pp.92-100.
10. Vasylieva, O.T. (2009), "On finding the coefficients of the kinetic model of inflation", *Economic bulletin of NTUU "KPI"*, vol. 6, pp. 417-421.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2022 р.