

До питання моделювання процесів соціально-економічного розвитку прикордонних областей, що входять до складу єврорегіонів

Михайлова Л.І., д.е.н., професор, завідувача кафедрою менеджменту ЗЕД та євроінтеграції, Сумський національний аграрний університет

Замора О.М., координатор міжнародних проектів відділу міжнародного співробітництва, Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Процеси євроінтеграції та глобалізації стимулюють розвиток міжрегіонального та транскордонного співробітництва. Переваги, що відкриваються перед соціальною та економічною сферами регіону, що приймає участь в транскордонній співпраці, відомі та об'єктивні. Так, активізація цього процесу не лише допомагає вирішити спільні проблеми територій, налагоджує економічні зв'язки, залучає іноземні інвестиції, покращуючи інвестиційну привабливість території, стимулює створення нових робочих місць.

Проте будь-який процес, що стосується економіки потребує математичних розрахунків, а, якщо іде мова про перспективу, то обов'язково і застосування методів планування та прогнозування. Комбінація методів системного моделювання та системного аналізу, аналізу та синтезу, екстраполяції, індукції та дедукції, якісного та кількісного аналізу допомагає більш якісно працювати з даними, що характеризують розвиток регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення невирішених частин проблеми. Питання розвитку транскордонного співробітництва та прикордонних територій розглядаються в працях таких науковців, як: П. Біленький, І. Бабець, Р. Дацків, Н. Колінко, К. Куцаб-Бонк, М. Лендєл, Н. Луцишин, Ю. Макогон, Н. Мікула, Є. Матвєєв, Є. Рябінін, І. Студенніков, Т. Терещенко та інших. Проте, вважаємо, методи дослідження та прогнозування цих процесів є недосконалими та потребують поповнення.

Цілі статті. Таким чином, метою нашого дослідження стало викласти метод дослідження взаємозв'язку між іноземними інвестиціями, збільшення залучення яких можна забезпечити за рахунок розвитку транскордонного співробітництва (далі - ТС), та поведінку показників експорту та ВРП регіону через застосування моделі Лоренца.

Виклад основного матеріалу. В контексті зазначеного пропонуємо застосувати цифри економіки Сумської області для демонстрації ролі ТС в покращенні стану економічної складової життя регіону, що досліджується. Так, за допомогою моделі Лоренца **1** ми розглядаємо зв'язок між іноземними інвестиціями, збільшення залучення яких можна забезпечити за рахунок розвитку ТС, та поведінку показників експорту та ВРП регіону. Як відомо, на регіональному рівні узагальнюючим показником, що характеризує рівень розвитку економіки регіону, є валовий регіональний продукт (ВРП). У ринкових цінах він визначається як сума валової доданої вартості усіх видів економічної діяльності, включаючи чисті податки на продукти. Обсяги експорту є важливим показником спроможності економіки регіону до конкуренції та самозабезпечення. Рівень залучення іноземних інвестицій не лише впливає на розвиненість промисловості, АПК чи соціальної сфери, а і на імідж області та здатність мобілізувати існуючі резерви та потенціал. Відтак, для реалізації означеної мети застосуємо просту математичну модель Лоренца, що буде умовним образом об'єкта (економіки Сумського регіону) з використанням заданих певних умов – рівня іноземних інвестицій. Модель буде вважатися простою, оскільки складається з невеликої кількості елементів і зв'язків між ними (показники ВРП, експорту та іноземних інвестицій). За природою об'єкта моделювання модель буде економічною, детермінованою – поведінку об'єкта ми визначаємо наперед та динамічною, оскільки об'єкт буде змінюватися в часі.

Таким чином, для проведення нашого дослідження буде використано метод системного моделювання та системного аналізу, а також методи аналізу та синтезу, екстраполяції, індукції та дедукції, якісного та кількісного аналізу. Вихідні дані, отримані зі статистичного щорічника, представлені в табл. 1. Наявний ВРП, обсяги експорту та прямі іноземні інвестиції за період 2004-2007 років та за 2000 рік. Показник ВРП за 2008 рік прогнозуємо з використанням рівняння регресії $y = 1175,32x - 2347861,12$. Для цього розраховуємо темп приросту ВРП і будуємо лінію тренда (апроксимуючу пряму), що має рівняння $y = 1175,32x - 2347861,12$. При чому величина достовірності апроксимації лінії тренда до наших місць розміщення точок в

області значень $R^2 = 0,91$, що означає достатню наближеність рівняння до істинної лінії динаміки ВРП.

Таблиця 1.

Показники ВРП, експорту та іноземних інвестицій Сумської області за 2000 р., 2004-2008 рр. для розрахунку за моделлю Лоренца

Показник	2000	2004	2005	2006	2007	2008 (прогноз)
ВРП, млн. дол. США	642,5	1179,5	1567,4	1894,3	2453,5	12181,44
Експорт, млн. дол. США	197,2	471,6	578,1	513,7	732,1	954,8
Прямі іноземні інвестиції, млн. дол. США	4,98	10,00	11,5	16,1	22,8	38,5
Значення у відповідності до рівняння регресії	2778,88	7480,16	8655,48	9830,8	11006,12	12181,44

Джерело: власні розрахунки на основі матеріалів Держкомстату.

І хоча ми маємо рівняння, що побудоване на малій кількості точок фактичних даних і не враховує рівень інфляції та інших важелів впливу на рівень цін – мета нашого дослідження дозволяє приділити увагу лише лінії тренду, що дає нам значення ВРП для 2008 року.

Нижче автором запропонована модель синергетичних процесів в динамічній економічній системі Сумської області, як складової Єврорегіону «Ярославна», що відображає самоузгоджену поведінку трьох незалежних змінних – ВРП, обсягів експорту та інвестицій Сумського регіону, взятих за період 2000, 2004-2008 роки. Для побудови означеної моделі використано систему рівнянь типу Лоренца, де в ролі параметру порядку (параметр, по значенню якого можна визначити в якому стані знаходиться система) обрано ВРП, обсяг інвестицій є параметром зовнішнього впливу, а експорт виступає параметром зі сполучного поля. Схематично взаємозв'язки параметрів зображено на рис.1. Показано, що при обсягах інвестицій, менших за критичне значення, ВРП дорівнює нулю, в той же час, коли інвестиційні надходження перевищують одночасно зі зростом інвестицій у відповідності до кореневої залежності (ріст відбувається поступово). Оскільки модель є самоузгодженою, то ріст ВРП є результатом росту експорту, рівень якого, в свою чергу, однозначно задається значенням інвестицій, а, відтак, ріст ВРП також є залежним і від росту інвестицій.

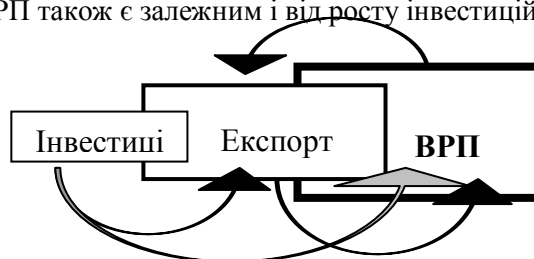


Рис. 1. Взаємозв'язки параметрів імітаційної моделі синергетичних процесів в динамічній економічній системі Сумської області, як складової Єврорегіону «Ярославна»

Джерело: власна розробка

Дослідження статистичних даних по показникам ВРП, інвестиційних надходжень та експорту Сумської області в 2000му, 2004-2008му роках дозволило визначити константи зв'язку в моделі Лоренца, яку ми розглядали використовуючи розмірні параметри. Це дозволило оптимізувати модель Лоренца для опису самоузгодженої поведінки обраних параметрів та встановити не лише якісні закономірності у їх зв'язках, а і спрогнозувати їх кількісні зміни. При чому, залежності ВРП та експорту в означеній моделі являють собою кореневі залежності і добре корелюють з наявними даними. При побудові моделі позначимо ВРП як параметр V , обсяги експорту як f , а внутрішній параметр системи, через який буде відбуватися їх взаємозв'язок буде позначено θ (розраховується в залежності від заданого нами параметру θ_e - обсягу іноземних інвестицій). Оскільки в основу моделі ми поклали наше припущення, що експорт знаходиться у взаємозв'язку із ВРП, рівняння для останнього матиме вигляд:

$$\tau_v \dot{v} = -v + A_v f. \quad (1)$$

Тут перший доданок справа описує релаксацію (зменшення) ВРП із часом релаксації τ_v (час, за який значення параметра ВРП зменшиться в e раз, $e=2,72$), а другий – реакцію швидкості зміни ВРП $\dot{v}$ на зріст експорту. Тут також введено константу зв'язку $A_v > 0$. Рівняння для сполучного поля (експорту) матиме вигляд:

$$\tau_f \dot{f} = -f + A_f v \theta. \quad (2)$$

Перший доданок в рівнянні (1) описує релаксацію, а другий представляє додатний зворотній зв'язок ВРП та внутрішнього параметра зі швидкістю зміни експорту $\dot{f}$. Тут також введено константу зв'язку $A_f > 0$. Відомо, що наявність додатного зворотного зв'язку є причиною самоорганізації системи. В якості останнього рівняння обирається рівняння релаксації внутрішнього параметра θ , що грає роль управляючого параметру.

$$\tau_\theta \dot{\theta} = (\theta_e - \theta) - A_\theta v f. \quad (3)$$

Тут доданок в скобках є релаксаційним, а другий справа виражає від'ємний зворотній зв'язок ВРП та експорту зі швидкістю зміни внутрішнього параметра, що забезпечує стійкість системи.

Константа θ_e задає рівень зовнішнього впливу на систему, який в нашій моделі представляють інвестиції. Система рівнянь (1)-(3) формально співпадає з синергетичною системою Лоренца [1, 2, 3], в якій ВРП грає роль порядку, сполучне поле зводиться до експорту, а внутрішній параметр є керівним і реалізує зв'язок між ВРП та експортом.

Система Лоренца в рамках запропонованої моделі була досліджена як в динамічному, так і в стаціонарному стані (коли всі похідні в рівняннях дорівнюють нулю, а значення параметрів не змінюються). При дослідженні еволюції (кінетики) системи до її стаціонарного стану було використано наближення, при якому час релаксації (час, за який значення параметра зменшується в e раз, $e=2,72$) внутрішнього параметра θ взято за мале. Це означає, що ми можемо задавати значення показника інвестиційних надходжень, споглядаючи поступову еволюцію експорту та ВРП регіону в динаміці, оскільки вона відбувається більш тривало після кожної зміни інвестицій. При цьому система рівнянь зводиться до двопараметричної моделі «інвестиції-ВРП».

Розглянемо стаціонарний режим, в якому з плином часу похідні в диференціальних рівняннях (1)-(3), що розглядаються стають рівними нулю і в подальшому їх параметри більше не змінюються. Знайдемо стаціонарні значення всіх параметрів. Для цього в рівняннях (1)-(3) всі похідні прирівнюємо до нуля і отримуємо (рис. 2):

$$v_0 = \sqrt{\frac{A_v}{A_\theta} \theta_e - \frac{1}{A_f A_\theta}}, \quad (4)$$

$$f_0 = \frac{1}{A_v} \sqrt{\frac{A_v}{A_\theta} \theta_e - \frac{1}{A_f A_\theta}}, \quad (5)$$

$$\theta_0 = \frac{1}{A_f A_v}. \quad (6)$$

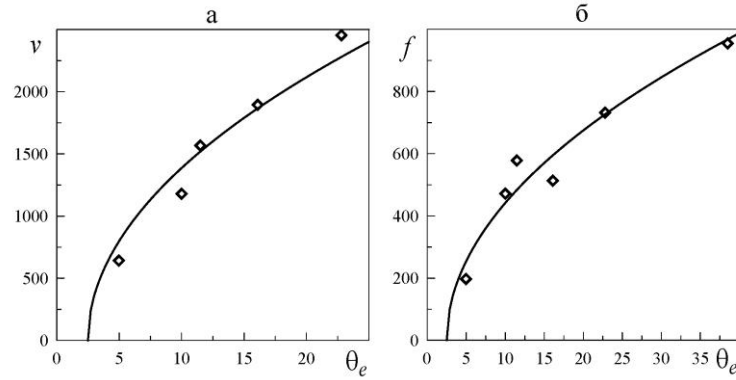


Рис. 2. Апроксимаційні залежності ВРП v та експорту f від рівня іноземних інвестицій θ_e .

Точками позначені статистичні дані.

Джерело: власні розрахунки

На рис. 2 показані залежності виду:

$$v_0 = 800\sqrt{0.4\theta_e - 1}, \quad (7)$$

$$f_0 = 255\sqrt{0.4\theta_e - 1}, \quad (8)$$

які добре апроксимують наявні статистичні дані. Порівняння (7), (8) із (4), (5) призводить до величин параметрів

$$A_v = \frac{160}{51}, \quad (9)$$

$$A_\theta = \frac{1}{81600}, \quad (10)$$

$$A_f = \frac{51}{400}. \quad (11)$$

Вигляд системи, що отримуємо в результаті буде наступним:

$$\dot{v} = -v + \frac{160}{51} f, \quad (12)$$

$$\sigma \dot{f} = -f + \frac{51}{400} v\theta, \quad (13)$$

$$\delta \dot{\theta} = (\theta_e - \theta) - \frac{1}{81600} v f, \quad (14)$$

Де введено співвідношення часів релаксації:

$$\sigma \equiv \tau_f / \tau_v, \quad \delta = \tau_\theta / \tau_v. \quad (15)$$

Для спрощення подальшого дослідження розглянемо актуальний випадок, коли час релаксації параметра θ невеликий, тобто виконується адіабатичне наближення:

$$\tau_\theta \ll \tau_f, \tau_v. \quad (16)$$

При цьому відповідно (15) можна припустити $\delta \approx 0$, що дає зв'язок

$$\theta = \theta_e - \frac{1}{81600} v f. \quad (17)$$

Підставимо останній вираз в (13) і отримаємо рівняння:

$$\sigma \dot{f} = -f + \frac{51}{400} v \left(\theta_e - \frac{1}{81600} v f \right). \quad (18)$$

Таким чином ми приходимо до двопараметричної системи (12), (18). Відповідно співвідношенню (7) існує деяке критичне значення інвестицій:

$$\theta_c = 2.5. \quad (19)$$

При значенні $\theta_e < \theta_c$ з плином часу встановиться стаціонарне значення ВРП $v_0 = 0$, а якщо $\theta_e > \theta_c$, то при будь-яких умовах в системі встановиться значення ВРП не рівне нулю, що буде задаватися співвідношенням (7). Розглянемо обидва випадки.

Вирішення системи (12), (18) у вигляді фазового портрету для різних співвідношень між часами релаксації при $\theta_e < \theta_c$, показано на рис. 3. На рис. лінія 1 є ізокліною (тобто лінією, на якій швидкість зміни функції дорівнює нулю), на якій швидкість зміни параметра f дорівнює нулю. Вона отримується при прирівнянні до нуля похідної в рівнянні (18). Ізокліна 2 отримується при прирівнянні похідної в рівнянні (12) до нуля і відповідає нульовій швидкості зміни параметра V . Єдина особа точка D , розміщена в початку координат, представляє собою вузол. На рис. 3 наведено три фазові портрети при різних співвідношеннях між часами релаксації. Бачимо, що характер еволюції системи сильно залежить від цього співвідношення. Так, у випадку, представленому на рис. 3 (а) при будь-яких початкових умовах система швидко приходить до універсальної ділянки, яка є ізокліною 1, а потім по ній повільно наближається до стаціонарного стану $v_0 = 0$.

На рис. 3 (б) універсальна ділянка відсутня, оскільки часи релаксації величин, що розглядаються, припускають рівними і обидва рівняння вносять серйозний вклад в кінетику (динаміку). Означений фазовий портрет дає нам найбільш багату поведінку системи. На рис. 3 (в) універсальною ділянкою є ізокліна 2, що є прямою.

В усіх трьох випадках із плином часу встановлюється $v_0 = 0$. Це можна зрозуміти так: рівня іноземних інвестицій недостатньо для стійкого рівня виробництва і вони можуть підтримувати ВРП лише на початковому етапі, а потім обов'язково відбудеться економічний спад і ВРП стане дорівнювати нулю, що означає катастрофу в реальному житті.

Подібні інші розрахунки, не приведені в статті через громіздкість, показують залежності параметри ВРП від часу, що відповідають фазовим траєкторіям на фазових портретах, зображених на рис. 2. По цим залежностям стає можливим прослідкувати зміну ВРП з плином часу в залежності від початкових умов. Так, можемо бачити, що за рахунок не лінійності системи навіть при недостатньому рівні інвестицій можливе тимчасове покращення економічної ситуації в регіоні, яке потім все одно погіршиться. Таким чином, навіть під час покращення економічного стану регіону присутня необхідність аналізу та зміни зовнішніх факторів, таких, як залучення іноземних інвестицій, для того, щоб не допустити спаду. В рамках моделі, що ми пропонуємо, до покращення ситуації призводить ріст інвестицій.

Ще одні фазові портрети, що ми також не приводимо тут через великі обсяги, розраховані при рівні інвестицій, які перевищують критичне значення $\theta_e > \theta_c$. Фазові портрети характеризуються двома специфічними точками – сідлом D на початку координат, яке є нестійкою точкою, та вузлом O . Ці точки задаються перетином ізоклін. Бачимо, що у всіх випадках з часом встановлюється стаціонарне не рівне нулю значення ВРП. Характер поведінки системи до встановлення стаціонарного стану схожий тому, що описаний вище. Еволюція системи також проаналізована методом фазової площини (динаміка), побудовані

часові залежності параметра ВРП в безрозмірному часі. Показано, що з часом встановлюється стаціонарна позначка ВРП, яка залежить від рівня інвестицій.

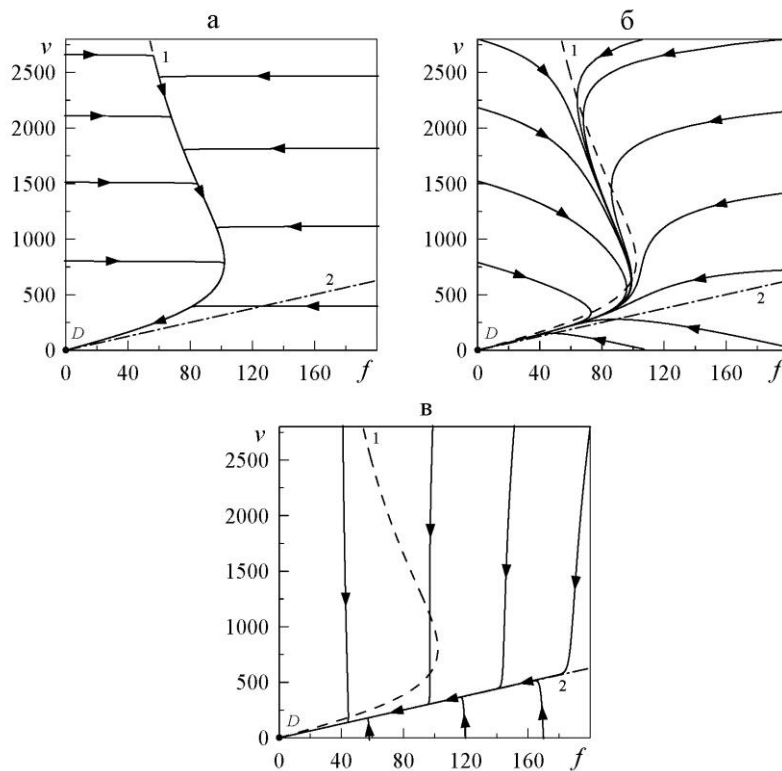


Рис. 3. Фазові портрети системи при $\theta_e = 2.0$: (а) $\tau_\theta \leq \tau_f = 0.01\tau_v$;

(б) $\tau_\theta \leq \tau_f = \tau_v$; (в) $\tau_\theta \leq \tau_f = 100\tau_v$.

Джерело: власні розрахунки

Також наші розрахунки показують, що незалежно від початкових умов ВРП завжди встановиться на рівні більше нуля. Причому можливими є ситуації, коли ВРП спочатку сильно зростає, а потім знизиться до свого стаціонарного значення. Також можливі ситуації монотонного зросту та монотонного спаду ВРП до стаціонарного значення.

Висновки. Висновок з нашого дослідження за допомогою моделі Лоренца є наступним: побудована динамічна імітаційна модель, що обрисовує взаємозв'язки між процесами зміни обсягів інвестицій, ВРП та експорту. Означена модель при задаванні певного конкретного рівня інвестицій дозволяє розрахувати два інших параметри, а при його зміні – прослідкувати еволюцію останніх. Таким чином динамічна модель Лоренца щодо взаємозв'язків ВРП, експорту та іноземних інвестицій може застосовуватися для передбачення тенденцій поведінки експорту і ВРП при зміні рівня інвестицій в економіку регіону.

Список літератури

1. Олемской А. И. Трехпараметрическая кинетика фазового перехода / А. И. Олемской, А. В. Хоменко // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1996. – Т. 110, вып.6(12). – С. 2144 – 2167.
2. Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow / E. N. Lorenz // Journal of Atmospheric Science. – 1963. – Vol. 20. – P. 130–141.
3. Хакен Г. Синергетика. / Г. Хакен; пер с англ. – М.: Мир, 1980. - 406 с.

РЕЗЮМЕ В статті розглядається застосування синергетичної математичної моделі Лоренца для прогнозування тенденцій поведінки експорту і ВРП при зміні рівня інвестицій в економіку прикордонного регіону, що входить до складу євро регіону.

Ключові слова: модель Лоренца, експорт, ВРП, іноземні інвестиції, євро регіон.

РЕЗЮМЕ В статье рассматривается использование синергетической математической модели Лоренца для прогнозирования тенденций поведения уровня экспорта и ВРП при

изменении уровня инвестиций в экономику приграничного региона, входящего в состав еврорегиона.

Ключевые слова: модель Лоренца, экспорт, ВВП, иностранные инвестиции, еврорегион.

SUMMARY The article is dedicated to the usage of the synergetic mathematic model of Lorence for predicting the behavior tendencies of export and Regional Produce as an answer for changing the foreign investments into the economy of the frontier regions, included into the euroregions.

Key words: Lorence model, export, Regional product, foreign investments, euroregion.