



УДК 517.9

**К.Л. АТОЄВ**

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,  
e-mail: *konstantin\_atoyev@yahoo.com*.

**П.С. КНОПОВ**

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,  
e-mail: *knopov1@yahoo.com*.

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИНИКНЕННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТЕЙ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ<sup>1</sup>

**Анотація.** Досліджено механізми виникнення нестабільності складних еколого-економічних систем для визначення ефективних стратегій управління енергетичним сектором економіки в умовах кліматичних змін. У роботі використано шестисекторну модель Лоренца зі змінними коефіцієнтами, яка об'єднує в єдиній структурі описані в однаковий спосіб сектори економіки, кожен з яких розглянуто в термінах рівнів продуктивності, кількості робочих місць і структурних порушень. Модель дає змогу дослідити, як зміни співвідношення попиту та пропозиції в окремих галузях та швидкості усунення порушень в еколого-економічних системах впливають на частку зеленої енергії в енергетичному балансі, загальні обсяги викидів парникових газів та виробництва енергії, а також на кількість структурних порушень у всіх секторах економіки. Визначено умови виникнення нестабільності у складних еколого-економічних системах, пов'язані з турбулентними режимами, що призводять до збільшення загальної кількості структурних порушень та зниження загального рівня продуктивності.

**Ключові слова:** модель Лоренца, математичне моделювання, модель економічного розвитку, оптимальне керування, детермінований хаос, кліматичні зміни.

#### ВСТУП

Зміна клімату (ЗК) має значний вплив на сталий розвиток та загострює багато проблем, пов'язаних із продовольчою безпекою, охороною здоров'я та з дотриманням соціальних стандартів. Розроблення ефективної політики управління наслідками ЗК потребує застосування комплексного підходу, який враховує кліматичні, соціальні та економічні характеристики. Широкий спектр загроз, спричинених ЗК та глобальними змінами, створює унікальний синергетичний ефект та додаткові ризики. Зазначені чинники зумовлюють нагальну потребу в розробленні методів кількісного оцінювання нестабільності еколого-економічних систем (ЕЕС). Розв'язання цієї проблеми потребує створення інтегрованих моделей, які враховують різні сектори економіки та дають змогу аналізувати, як поведінка ЕЕС залежить від кліматичних факторів [1–4]. Ці моделі допоможуть визначити оптимальні стратегії сталого розвитку, які мінімізують ризики, пов'язані зі зміною клімату та економічними потрясіннями.

У [5–8] моделі економічного розвитку розроблено на основі моделі Лоренца [9, 10]. Ці моделі використовують для опису процесів у світовій економіці,

<sup>1</sup> Роботу виконано в межах наукового проекту НАН України та Міжнародного інституту прикладного системного аналізу, Лаксенбург, Австрія (РК № 0122U000552) та за часткової підтримки проекту № 2.3/25-П НАН України.