



Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці



JEL Classification: C33, C53

УДК 332.05; 338.27

ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СТАЛОГО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Фесенко І. А.
Фесенко М. С.

***Анотація.** Досліджено питання сталого розвитку Луганської області на основі математичного моделювання як способу вивчення прихованих резервів і прогнозування можливих напрямів розвитку соціально-економічної сфери регіону. Розроблено методiku застосування математичних методів оптимального управління в проведенні кількісних і якісних досліджень питань сталого розвитку депресивного регіону України. Практичні рекомендації, що отримані у вигляді математичних викладень, стосуються таких ключових питань розвитку регіону, як: визначення стійкості соціально-економічної моделі регіону; формування оптимальної стратегії розвитку Луганської області як багатокритеріального завдання; вибір адекватного сценарію, алгоритму управлінських дій; оптимальний розподіл ресурсів та ін.*

***Ключові слова:** регіон, сталий розвиток, оптимальне управління, математичне моделювання, сценарій розвитку.*

ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Фесенко И. А.
Фесенко Н. С.

***Аннотация.** Исследованы вопросы устойчивого развития Луганской области на основе математического моделирования как способа изучения скрытых резервов и прогнозирования возможных направлений развития социально-экономической сферы региона. Разработана методика применения математических моделей оптимального управления в проведении количественных и качественных исследований вопросов устойчивого развития депрессивного региона Украины. Практические рекомендации, полученные в виде математических выкладок, касаются таких ключевых вопросов развития региона, как определение устойчивости социально-экономической модели региона; формирование оптимальной концепции развития Луганской области как многокритериальной задачи; выбор адекватного сценария, алгоритма управленческих действий; оптимальное распределение финансовых и материальных ресурсов и др.*

***Ключевые слова:** регион, устойчивое развитие, оптимальное управление, математическое моделирование, сценарий развития.*

© Фесенко І. А., Фесенко М. С., 2017

CONSTRUCTION AND INVESTIGATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF LUGANSK REGION'S SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENTS

I. Fesenko
M. Fesenko

Abstract. *The article investigates issues of sustainable development of Lugansk region on the basis of mathematical modeling as a way of studying hidden reserves and forecasting possible directions for the development of the region's economic and social sphere. The methodology of applying mathematical models of optimal control in carrying out quantitative and qualitative studies of the issues of Ukrainian depressed region's sustainable development is worked out. The practical recommendations obtained in the form of mathematical calculations and graphs concern such key issues of regional development as determination of the sustainability of the region's social and economic model; formation of optimal concepts for the development of Lugansk region as a multicriteria task; selection of an adequate scenario and an algorithm of management actions; the optimal distribution of financial and material resources, etc.*

Keywords: *region, sustainable development, optimal control, mathematical modeling, development scenario.*

Питання сталого розвитку людського співтовариства, окремих країн, регіонів привертають увагу фахівців із різних галузей знання [1–13]. Дослідження елементів поняття сталого розвитку регіону дозволяє розробляти ефективні плани та програми соціально-економічного розвитку, використати місцеві ресурси з повнішою віддачею, будувати взаємовідносини з діловими та науковими партнерами для гармонійного розвитку, що проявляється у впровадженні нових ресурсозберігаючих технологій, створенні нових економічних, технологічних, соціальних основ для розвитку аналізованого регіону, збереженні довкілля і поліпшенні якості життя людини. У зв'язку з цим розробка моделей сталого розвитку адміністративно-територіальних одиниць України, особливо її депресивних регіонів, є актуальним завданням. Луганська область за макроекономічними показниками є найбільш проблемною серед усіх регіонів України, тому розробка заходів щодо виведення її на траєкторію сталого розвитку є нагальним завданням державного управління.

Питаннями побудови глобальних математичних моделей сталого розвитку вчені займалися з кінця 60-х років. Дж. Форрестер в 1968 році запропонував модель, що імітує основні процеси світової системи [11–14]. Ця модель дістала назву «World – 1». Подальше доопрацювання і удосконалення привели до появи глобальної динамічної моделі «World – 2», а потім і моделі Медоуза «World – 3». Модель «World – 3» була імітаційною і була побудована на підставі принципів системної динаміки – методу вивчення складних систем із нелінійними зворотними зв'язками. Інформацією для визначення функціональних зв'язків між параметрами моделі служать глобально усереднені дані світової статистики. Для умов окремої територіально-адміністративної одиниці на основі моделі «World – 3» було запропоновано математичну модель сталого економічного розвитку регіону у формі багатокритеріального завдання [4].

Для кожної держави і регіону перелік завдань, що закладаються в основу концепції моделі сталого розвитку, конкретизується, оскільки їх рішення залежить від безлічі чинників і умов, які мають свої економічні, політичні, територіальні й інституціональні відмінності.

Метою цього дослідження є побудова математичної моделі та синтез закону оптимального управління сталим розвитком Луганської області і методики її застосування, яка дозволяє використати запропонований математичний апарат для проведення попередніх досліджень і отримання обґрунтованих рекомендацій по реалізації стратегії і сценарію сталого розвитку регіону.

У літературі зустрічається велика кількість визначень поняття сталого розвитку [1–4; 11; 13]. Одним із найбільш поширених є таке. Сталий розвиток – це взаємозв'язаний і збалансований розвиток трьох основних секторів життєдіяльності (економічного, соціального й екологічного), що задовольняє потреби справжнього покоління без позбавлення можливості майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Цю вимогу покладено в основу моделювання сталого економічного розвитку регіону як об'єкта адміністративно-територіального поділу держави, що є головним критерієм адекватності отриманої моделі.

У контексті динамічного моделювання основними принципами сталого розвитку, на думку багатьох авторів, є збалансованість і спроможність в часі сценарію розвитку регіону [3; 5; 8].

Принцип спроможності в часі означає інваріантність в часі якісних і кількісних критеріїв, які були закладені в план довгострокового розвитку регіону.

Принцип збалансованості в контексті сталого розвитку припускає досягнення запланованих показників в екологічній, економічній і соціальній сферах одночасно, причому в процесі руху система повинна здійснювати балансування диспропорцій розвитку між цими показниками.



У зв'язку з цим при моделюванні подібної багатозадачної системи потрібне використання не єдиного – узагальненого критерію, а деякої сукупності критеріїв якості. Тобто виникає необхідність використання векторних критеріїв, що складаються з низки вторинних критеріїв, кожен з яких відбиває деяку певну вимогу до якості руху. Але, оскільки в загальному випадку досягти екстремуму одночасно за декількома критеріями неможливо, рішення проблеми векторної оптимізації вимагає певного компромісу шляхом формування деякого нового функціоналу. З огляду на те, що побудова такого узагальненого функціоналу є неформальною процедурою, то вид його повністю залежить від вибраної схеми компромісів.

У роботах [16; 17] запропоновано методи векторної оптимізації лінійних динамічних систем за фіксованих граничних умов об'єктів. У завданні визначення оптимального закону управління соціально-економічним розвитком регіону як багатопараметричної моделі потрібно формалізувати процедуру синтезу закону управління у функції координат стану, що забезпечує необхідну якість системи за довільних початкових умов. Ця обставина принципово ускладнює проблему синтезу для багатокритеріальних систем. У літературі практично відсутні прикладні методи синтезу таких систем управління, тим більше для нелінійних соціально-економічних моделей [15–17].

У зв'язку із цим пропонується методика застосування математичного апарату наявної синергетичної теорії управління до рішення задачі визначення сталого розвитку регіону, яка в загальному вигляді полягає в умисному введенні в простір станів математичної моделі деяких постійних функціональних співвідношень, що синтезується, між параметрами моделі, тобто таких інваріантних інтегральних різноманіть, на яких природні властивості об'єкта управління якнайкраще узгоджуються з відповідними вимогами поставленого завдання сталого розвитку регіону. Зрозуміло, що при цьому повинні гарантуватися загальносистемні властивості сталого розвитку – сталість, збалансованість і спроможність.

Введення інваріантних різноманіть у процедуру синтезу наділяє цю систему загальними глобальними властивостями та дозволяє виявити спорідненість різнорідних явищ, які відбуваються в об'єктах управління. Представлення цих явищ на математичній мові являє собою сукупність приватних (перших) інтегралів диференціальних рівнянь оптимальної системи, що синтезується.

Узявши за основу методику побудови модифікованої математичної моделі сталого розвитку регіону, запропоновану проф. Н. Н. Даниловим [4], доповнивши її отриманням необхідних інваріантних різноманіть, що відповідають порядку моделі, побудуємо модель сталого розвитку Луганської області як багатопараметричної нелінійної системи.

Доцільно виділити такі вимоги до математичної моделі сталого розвитку Луганської області:

- встановлення і конкретизація взаємних впливів трьох секторів регіону (соціального, економічного, екологічного) і кореляційного їх розвитку;
- наявність в моделі параметрів управління розвитком регіону у довгостроковому інтервалі часу, а також усіх обмежень і умов, що відбивають положення концепції сталого розвитку;
- облік синергетичного ефекту багатоцільового характеру розвитку секторів регіону у вигляді інваріантних різноманіть;
- сталий розвиток є багатокритеріальним керованим процесом, і найбільш відповідним механізмом управління розвитком економічного регіону на довгостроковий період є обрана схема компромісів.

Розглянемо запропоновану методику синтезу закону оптимального управління соціально-економічною системою регіону. Визначимо закон управління $u(x_1, \dots, x_n)$ об'єктом:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= f_i(x_1 \dots x_n), \quad i=1, 2, \dots, n-1; \\ \dot{x}_n(t) &= f_n(x_1 \dots x_n) + u, \end{aligned} \quad (1)$$

Вектор $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ описує стан регіону у момент часу t ; вектор $u(x_1, \dots, x_n)$ являє собою сукупність керуючих впливів, що забезпечує послідовний перехід відображаючої точки системи з довільної початкової точки (у деякій припустимій галузі) спочатку в околицю деякого інваріантного різноманіття в просторі координат:

$$\Psi(x_1, \dots, x_n) = 0, \quad (2)$$

а потім рух уздовж $\Psi = 0$ (2) в початок координат простору станів ($x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0$). Вважатимемо, що на траєкторіях вказаного руху управління u доставляє мінімум наступному супроводжуючому функціоналу:

$$J_{\Sigma} = \int_0^{\infty} \left[m^2 \phi(\Psi) + c^2 \left(\sum_{k=1}^n \frac{\partial \Psi}{\partial x_k} f_k + \frac{\partial \Psi}{\partial x_n} \right) u^2 \right] dt, \quad (3)$$

де $\Psi(x_1, \dots, x_n)$ конструйована агрегована макрозмінна координат;

$$\dot{\Psi}(t) = \sum_{k=1}^n \frac{\partial \Psi}{\partial x_k} \dot{x}_k(t). \quad (4)$$

У контексті сталого розвитку процес управління станом регіону на відрізку часу $(t_0, t_S) = (t_0, t_1 \dots t_S)$ можна показати на моделі (1, 4) таким чином. Під впливом обраних в початковому стані $x^0 = (x_1^0 \dots x_n^0)$ управлінь $u_1(t)$ регіон переходить (в силу системи рівнянь (1) при $t = t_1$) в новий стан $x(t_1)$. Далі, під впливом управлінь $u_1(t_2)$, вибраних в стані $x(t_1)$, регіон переходить в новий стан $x(t_2)$ і т. д. до моменту $t = t_S$. В результаті формуються послідовність (алгоритм допустимого управління) $u(t) = u(t_1) \dots u(t_S)$ і відповідна послідовність станів $x(t) = x(t_0) \dots x(t_S)$.

Слід зауважити, що одні компоненти вектора стану $x(t)$ описують економічний стан регіону, інші – екологічний стан, а треті – соціальний стан. Це ж можна говорити і про вектор управлінь $u(t)$. Взаємозв'язаний розвиток цих трьох секторів реалізований в моделі (1) – (4) залежністю правих частин рівняння руху від усіх керуючих впливів $(u_1 \dots u_m)$.

З форми супроводжувачого функціонала (3) виходить, що критерій оптимальності не постулюється заздалегідь, а формується шляхом вибору відповідних функцій ψ з використанням рівнянь об'єкта (1). Такий підхід дозволяє побудувати супроводжувачий функціонал (3), що задовольняє обраній схемі компромісу при багатокритеріальному синтезі системи. Використовуючи, згідно з [16], рівняння Ейлера–Лагранжа, маємо таке рівняння екстремалей:

$$T\dot{\Psi}(t) + \phi(\Psi) = 0, \quad T = \frac{c}{m} > 0, \quad (5)$$

де $\phi(\Psi) \Psi > 0$, рішення якого $\psi(t)$, доставляє мінімум функціоналу (3);

T – параметр, що визначає міру компромісів векторних критеріїв оптимальності.

З (5) з урахуванням виразу (4) та рівнянь об'єкта (1) отримуємо основне функціональне рівняння:

$$T \frac{\partial \phi}{\partial x_n} u + T \sum_{k=1}^n \frac{\partial \Psi}{\partial x_k} f_k(x_1, \dots, x_n) + \phi(\Psi) = 0. \quad (6)$$

З (6) можна отримати закони управління, які неминуче переводять систему в околицю різноманіття $\psi = 0$, оскільки диференціальне рівняння (5) має властивість асимптотичної стійкості в цілому відносно $\psi = 0$. Залежно від обраної функції $\psi(x_1, \dots, x_n)$ і рівнянь об'єкта (1) можна побудувати різні закони управління якості, що задовольняють конкретним критеріям.

Завдання синтезу управління, оптимального за відповідними критеріями якості, найбільшою мірою проявляє свої особливості в умовах, коли необхідно враховувати обмеження на координати стану і управління (обмеження ресурсної, кадрової і фінансової систем). Облік обмежень можна здійснювати шляхом формування відповідних макрозмінних $\psi(x_1, \dots, x_n)$ в функціоналах, що оптимізують і конструювання на їх основі конкретних критеріїв якості.

Побудуємо модифіковану динамічну модель сталого розвитку Луганської області. Для цього, користуючись технологією, викладеною в [4], розрахуємо вагові коефіцієнти рівнянь моделі.

Для розрахунку вагових коефіцієнтів і параметрів компромісу використано дані по модельованому регіону за період з 2010 – 2015 рр. [18], а саме: валовий регіональний продукт на душу населення, річний випуск продукції в Луганській області, чисельність населення, величини смертності та міграції населення в різних діапазонах віку, показники площ оброблюваних сільськогосподарських земель тощо.

Діями, що керують, використовуватимемо частки коштів у різні сфери фінансування: частки витрат бюджету і залучені інвестиції, що направляються в промисловість, на виробництво послуг, на відновлення родючості ґрунту, зруйнованого ерозією, на відновлення ресурсів (чи їх вторинну переробку) і на демографічний розвиток регіону.

Багатокритеріальна система управління соціально-економічною сферою Луганської області з урахуванням динаміки основних макроекономічних і соціальних показників [18] може бути представлена системою рівнянь [4; 15]:

$$\begin{aligned} T_1 \dot{x}_1(t) &= k_1 x_2; \\ T_i \dot{x}_i(t) + x_i &= k_i x_{i+1}, i = 2, \dots, n-1; \\ T_n \dot{x}_n(t) + x_n &= k_n u. \end{aligned} \quad (7)$$

Виберемо агреговану змінну [15]:

$$\Psi = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i, \beta_n = 1, \quad (8)$$

тоді похідна $\dot{\Psi}(t)$ після підстановки $\dot{x}_i(t)$ з (7) набирає вигляду:

$$\dot{\Psi}(t) = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\beta_i k_i}{T_i} - \frac{\beta_{i+1}}{T_{i+1}} \right) x_{i+1} + \frac{\beta_n k_n}{T_n} u, \quad (9)$$

приймаючи:

$$\frac{\beta_i k_i}{T_i} = \frac{\beta_{i+1}}{T_{i+1}}. \quad (10)$$

Підставивши ψ (8), $\dot{\Psi}(t)$ (9) в оптимізуючий функціонал, отримуємо критерій якості:

$$J = \int_0^{\infty} \left[m^2 th^2 \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \frac{c^2 \beta_n^2 k_n^2}{T_n^2} u^2 \right] dt. \quad (11)$$

Підставивши ψ (8) в рівняння (6), отримуємо оптимальний за критерієм (11) закон управління:

$$u = -\frac{T_n}{k_n \beta_n T} th \sum_{i=1}^n \beta_i x_i, \quad T = \frac{c}{m}. \quad (12)$$

В законі управління u ваговий коефіцієнт k пов'язаний з параметром T таким співвідношенням:

$$k = \frac{T_1 T_2^2 \dots T_{n-2} T_n}{k_1 k_2 \dots k_{n-2} T}, \quad (13)$$

а коефіцієнти a_i визначаються через β_i вираженням:

$$a_i = \frac{k_1 k_2 \dots k_{n-2}}{T_1 T_2^2 \dots T_{n-2} T_n} \beta_i. \quad (14)$$

Приведене співвідношення (13) встановлює зв'язок між параметром $T = \frac{c}{m}$ у критерії (11) і ваговим коефіцієнтом k , а вираження (14) – між коефіцієнтами нелінійних зворотних зв'язків β_i і a_i при оптимізації системи.

Для апробації запропонованої методики синтезу закону управління досить розглянути три індикатори – по одному для кожної підсистеми:

- рівень забруднення довкілля;
- чисельність населення;
- рівень добробуту населення.

Спочатку зробимо моделювання без залучення запропонованої методики знаходження компромісів з лінійним законом управління, що наведено в [3]. Результати відображено на рис. 1а.

Для порівняння здійснимо моделювання відповідно до запропонованої методики. Остаточна модифікована динамічна модель розвитку Луганської області матиме вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= 0,25x_1 + x_2; \\ \dot{x}_2(t) &= -0,05x_2 + 0,5x_3; \\ \dot{x}_3(t) &= x_1 - 0,3x_3 + u. \end{aligned}$$

Відповідно до обраного параметра компромісу $T=0,5$ критерій прийме вигляд:

$$J_{\text{sup}} \approx \int_{t_{0\text{sup}}}^{t_{k\text{sup}}} (1 + 0,25u^2) dt,$$

а закон керування отримаємо у вигляді:

$$u = -2th(x_1 + 2x_2 + 1,5x_3).$$

Результати моделювання отриманої системи наведено на рис. 1а і 1б.

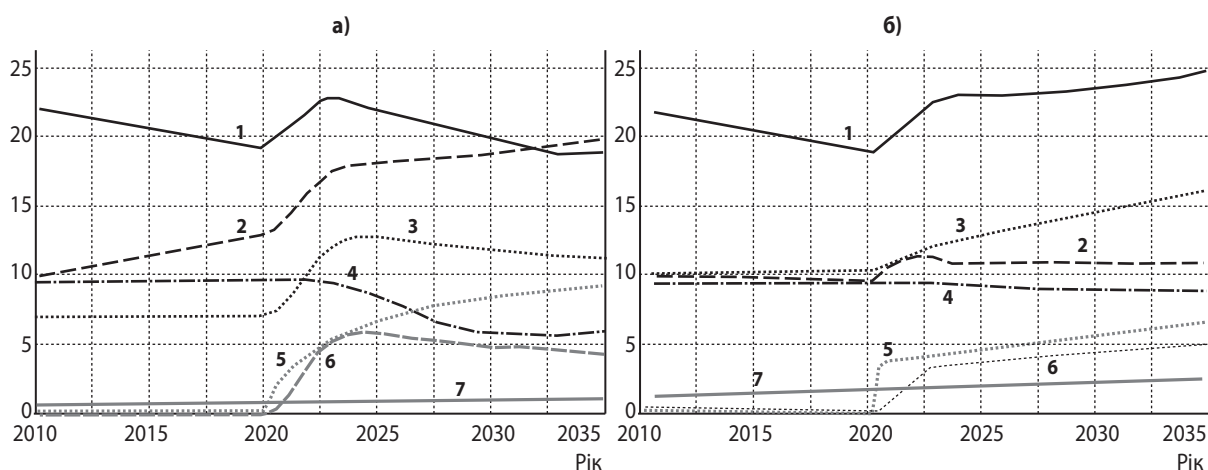


Рис. 1. Результати моделювання розвитку Луганської області:

а – при застосуванні лінійного закону управління регіоном;

б – при застосуванні синергетичного методу синтезу закону управління і нелінійної функції управління

Результати моделювання на модифікованій моделі «World – 3» при лінійній функції управління розподілом капіталовкладень в різні сектори показують, що при початку функціонування нових виробництв у 2020 р. криза настає приблизно до 2030–2033 р.р. з причини виснаження ресурсів – 4, що призводить до зниження виробництва продукції. Спочатку падає матеріальний рівень життя – 3, потім чисельність населення – 1 і капіталовкладення в сільське господарство – 6, як наслідок – зниження чисельності та купівельної спроможності населення. У наявності дисбаланс між економічною і екологічною підсистемами і, як наслідок, зменшення населення за рахунок міграції економічно активної його частини, що тільки ускладнює ситуацію. Зростання капіталовкладень на відновлення ресурсів не дає значного ефекту.

Моделювання з модифікованою моделлю «World – 3» при нелінійній функції управління розподілом капіталовкладень в різні сектори економіки регіону також при початку функціонування нових виробництв у 2020 р. показує, що в діапазоні терміну моделювання криза не настає. В цьому випадку відбувається стабілізації рівня непоновлюваних ресурсів – 2, а матеріальний рівень життя – 3 і чисельність населення – 1 зростають. Економічна, екологічна та соціальна підсистеми знаходяться у балансі та стійко розвиваються.

Таким чином, результати дослідження показують наявність потенціалу розвитку Луганської області за умови забезпечення стійкості соціально-економічної системи регіону, використання оптимальної стратегії розвитку як багатокритеріального завдання та вибору адекватного сценарію управлінських дій для оптимального розподілу ресурсів.

Висновки. Суть економічної категорії «стійкість соціально-економічної системи» полягає в її (системі) здатності стабільно функціонувати та розвиватися в довгостроковій перспективі в умовах внутрішнього та зовнішнього мінливого середовища. Саме стійкість виступає необхідною умовою переходу системи на модель сталого розвитку.

Специфіка стійкості регіональної соціально-економічної системи відбивається в її залежності як від стійкості підсистем, що входять до її складу, так і стійкості соціально-економічних систем більш високого рівня, що виступають зовнішнім середовищем. На зовнішні чинники регіональна соціально-економічна система не може чинити прямої дії, а це означає, що вона повинна адаптуватися до них. Чинники внутрішнього середовища (економічні, соціальні, екологічні й ін.) є керованими, і, впливаючи на них, можна управляти стійкістю системи.

Теорія сталого розвитку соціально-економічної системи базується на збалансованості соціальної, економічної і екологічної підсистем, але, оскільки в загальному випадку досягти екстремуму одночасно за



декількома критеріями неможливо, то рішення проблеми векторної оптимізації вимагає певного компромісу шляхом формування деякого нового функціонала, вид якого повністю залежить від обраної схеми компромісів.

Адаптивне стратегічне планування, як головна умова підвищення стійкості регіональної соціально-економічної системи, ґрунтується на визначених оптимальних керуючих впливах, реалізація яких забезпечує ефективне функціонування соціально-економічної системи в довгостроковій перспективі, швидку адаптацію до умов зовнішнього та внутрішнього середовища, що змінюються, і підвищення на цій основі якості життя населення.

Запропонована методика математичного моделювання сталого соціально-економічного розвитку регіону дозволить визначити алгоритм прийняття управлінських рішень для вибору оптимального сценарію розвитку, алгоритму управлінських дій, ефективного розподілу фінансових і матеріальних ресурсів тощо.

Література: 1. Доклад комиссии по оценке экономических результатов и социального прогресса ООН. *Вопросы статистики*. 2011. № 2. С. 3–41. 2. Гурман В. И., Либенсон И. Р., Скитневский Д. М. Моделирование устойчивого развития региона и инвестиционных стратегий. *Сибирский торгово-экономический журнал*. 2013. № 1. С. 10–16. 3. Данилов Н. Н., Иноземцева Л. П. Факторы устойчивого развития регионов России: монография. Новосибирск: ЦРНС, СИБПРИНТ, 2008. 341 с. 4. Данилов Н. Н., Данильян В. И. Устойчивое развитие (теоретико-методологический анализ). *Экономика и математические методы*. 2003. Т. 39. № 2. С. 123–135. 5. Егоров В. А., Пионтковский А. А. Математические модели глобального развития. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 192 с. 6. Ishchenko A. Stimulation of effective ecological and economic interactions in the process of business environment creation. *Environmental Economics*. 2017. Vol. 8. Issue 2. P. 57–66. 7. Бобылев С. В., Гирусов Э. В., Перелет Р. А. Экономика устойчивого развития: учеб. пособие. М.: Ступени, 2004. 303 с. 8. Малинецкий Г. Г., Махов С. А., Поскашков С. А. Процессы глобализации, устойчивое развитие и компьютерное моделирование. *Безопасность Евразии*. 2003. № 4. С. 292–309. 9. Karnitis G., Karnitis E. Sustainable growth of EU economies and Baltic context: Characteristics and modelling. *Journal of International Studies*. 2017. Vol. 10. No. 1 P. 209–224. 10. Forrester J. W. *World Dynamics*. Cambridge, Mass: Wright–Allen Press. Inc., 1971. 144 p. 11. Hersh M. *Mathematical Modelling for Sustainable Development*. Berlin: Springer, 2005. 557 p. 12. Meadows D., Randers J., Meadows D. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Vermont: Chelsea Green, White River Junction, 2004. 368 p. 13. Meadows D. L., Meadows D. H. et al. *The Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge, Mass: Wright–Allen Press. Inc., 1974. 338 p. 14. О проектах «Римского клуба». М.: Препринт комитета по системному анализу при Президиуме АН СССР, 1977. 15. Колесников А. А. Прикладная синергетика: основы системного синтеза. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. 384 с. 16. Красовский А. А., Тарасьев А. М. Свойства гамильтоновых систем в принципе максимума Понтрягина для задач экономического роста. *Оптимальное управление: сб. ст. К 60-летию со дня рождения проф. В. И. Благодатских*. 2008. С. 127–145. 17. Красовский А. А., Тарасьев А. М. Динамическая оптимизация инвестиций в моделях экономического роста. *Автоматика и телемеханика*. 2007. № 10. С. 38–52. 18. Макроекономічна статистика // Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

References: 1. Doklad komissii po otsenke ekonomicheskikh rezultatov i sotsialnogo progressa OON. *Voprosy statistiki*. 2011. No. 2. P. 3–41. 2. Gurman V. I., Libenson I. R., Skitnevskiy D. M. *Modelirovaniye ustoychivogo razvitiya regiona i investitsionnykh strategiy* [Modeling of Sustainable Development of the Region and Investment Strategies]. *Sibirskiy torgovo-ekonomicheskii zhurnal*. 2013. No. 1. P. 10–16. 3. Danilov N. N., Inozemtseva L. P. *Faktory ustoychivogo razvitiya regionov Rossii: monografiya* [Factors of Sustainable Development of Russian Regions: monograph]. Novosibirsk: CRNS, SIBPRINT, 2008. 341 p. 4. Danilov N. N., Danilyan V. I. *Ustoychivoye razvitiye (teoretiko-metodologicheskii analiz)* [Sustainable Development (Theoretical and Methodological Analysis)]. *Ekonomika i matematicheskiye metody*. 2003. Vol. 39. No. 2. P. 123–135. 5. Yegorov V. A., Piontkovskiy A. A. *Matematicheskiye modeli globalnogo razvitiya*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. 192 p. 6. Ishchenko A. Stimulation of effective ecological and economic interactions in the process of business environment creation. *Environmental Economics*. 2017. Vol. 8. Issue 2. P. 57–66. 7. Bobilev S. V., Girusov Ye. V., Perelet R. A. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya: ucheb. posobiye*. M.: Stupeni, 2004. 303 p. 8. Malinetskiy G. G., Makhov S. A., Poskashkov S. A. *Protsessy globalizatsii, ustoychivoye razvitiye i kompyuternoye modelirovaniye* [The Processes of Globalization, Sustainable Development and Computer Modeling]. *Bezopasnost Yevrazii*. 2003. No. 4. P. 292–309. 9. Karnitis G., Karnitis E. Sustainable growth of EU economies and Baltic context: Characteristics and modelling. *Journal of International Studies*. 2017. Vol. 10. No.1. P. 209–224. 10. Forrester J. W. *World Dynamics*. Cambridge, Mass.: Wright–Allen Press. Inc., 1971. 144 p. 11. Hersh M. *Mathematical Modelling for Sustainable Development*. Berlin: Springer, 2005. 557 p. 12. Meadows D., Randers J., Meadows D. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Vermont: Chelsea Green, White River Junction, 2004. 368 p. 13. Meadows D. L., Meadows D. H. et al. *The Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge, Mass.: Wright–Allen Press. Inc., 1974. 338 p. 14. O proektakh «Rimskogo kluba». M.: Preprint komiteta po sistemnomu analizu pri Prezidiume AN SSSR, 1977. 15. Kolesnikov A. A. *Prikladnaya sinergetika: osnovy sistemnogo sinteza*. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2007. 384 p. 16. Krasovskiy A. A., Tarasyev A. M. *Svoystva gamiltonovykh sistem v printsipe maksimuma Pontryagina dlya zadach ekonomicheskogo rosta* [Properties of Hamiltonian Systems in the Pontryagin Maximum Principle for Problems of Economic Growth]. *Optimalnoye upravleniye: sb. st. K 60-letiyu so dnya rozhdeniya prof. V. I. Blagodatskikh*. 2008. P. 127–145. 17. Krasovskiy A. A., Tarasyev A. M. *Dinamicheskaya optimizatsiya investitsiy v modelyakh ekonomicheskogo rosta* [Dynamic Optimization of

Investments in Models of Economic Growth]. *Avtomatika i telemekhanika*. 2007. No. 10. P. 38–52. **18**. Makroekonomichna statystyka // Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

Інформація про авторів

Фесенко Інна Анатоліївна – доктор економічних наук, професор кафедри економіки підприємства і менеджменту Харківського національного економічного університету ім. С. Кузнеця (просп. Науки, 9а, м. Харків, 61116, Україна; e-mail: fesenko_i.a@ukr.net).

Фесенко Микола Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Донбаського державного технічного університету (просп. Перемоги, 84, м. Лисичанськ, 93120, Україна; e-mail: fesekomikola@ukr.net).

Информация об авторах

Фесенко Инна Анатольевна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики предприятия и менеджмента Харьковского национального экономического университета (просп. Науки, 9а, г. Харьков, 61116, Украина; e-mail: fesenko_i.a@ukr.net).

Фесенко Николай Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированного управления технологическими процессами Донбасского государственного технического университета (просп. Победы, 84, г. Лисичанск, 93120, Украина; e-mail: fesekomikola@ukr.net).

Information about the authors

I. Fesenko – D.Sc. (Economics), Professor of Department of Economy of Enterprise and Management of Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (9a Nauky Ave., Kharkiv, 61116, Ukraine; e-mail: fesenko_i.a@ukr.net).

M. Fesenko – Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Automated Control of Technological Processes of Donbas State Technical University (84 Peremohy Ave., Lysychansk, 93120, Ukraine; e-mail: fesekomikola@ukr.net).

*Стаття надійшла до ред.
12.12.2017 р.*