

*Все, что познается, имеет число,
ибо невозможно ни понять ничего,
ни познать без него.
Пифагор*

Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці

УДК 330.115:681.5

JEL Classification: C02; Q01; Q57

ПРОБЛЕМА СТАЛОГО РОЗВИТКУ Й ІНТЕГРАЛЬНА МОДЕЛЬ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ КРИЗ

Рамазанов С. К.

Проблема сталого розвитку має такі аспекти: системний, синергетичний, екологічний, економічний, математичний, інформаційний, філософський, юридичний, освітній та ін. Парадигма сталого розвитку потребує переходу від дослідження окремих ізольованих систем, що функціонують, до дослідження інтегральних систем, які еволюціонують, актуалізації й посилення системно-синергетичних зв'язків відкритої системи та його оточення. Розглянуто проблему сталого розвитку та інноваційний підхід до інтегрального моделювання в управлінні технологічними об'єктами та процесами (ТОП) як системи соціально-еколого-економічного та гуманітарного типу (СЕЕГС). На основі використання інформаційних та інноваційних технологій із метою прогнозування нелінійної динаміки еколого-економічних і соціально-гуманітарних систем розроблено й досліджено інтегровані стохастичні моделі об'єктів і процесів, придатні для умов системних криз. Досліджено аспект інтеграції чотирьох сфер діяльності та функціонування сучасних складних систем. Запропоновано загальну концептуальну інтегровану модель, узагальнено синергетичну модель динаміки, урахувавши різну невизначеність (стохастичну й хаотичну складові частини). Слід зауважити, що у процесі моделювання динаміки праці, ресурсів та інших чинників використано узагальнене логістичне рівняння Ферхюльста та ін.

Більшість створених раніше моделей динаміки еколого-економічних і соціо-гуманітарних систем та процесів, які функціонують і розвиваються у складних умовах нелінійності, нестабільності та криз, мають теоретичний і детермінований характер та досить проблемні, із точки зору наявності інформації й адекватності для їхньої реалізації. У зв'язку із цим, завдання управління ТОП обумовлює об'єктивну необхідність у вдосконаленні методів, моделей та інформаційних технологій на основі стохастичних рівнянь для управління СЕЕГС.

Ключові слова: інтегральна нелінійна модель, управління, соціо-еколого-економічна й гуманітарна система, розвиток.

ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО КРИЗИСА

Рамазанов С. К.

Проблема устойчивого развития имеет следующие аспекты: системный, синергетический, экологический, экономический, математический, информационный, философский, юридический, образовательный и др. Парадигма устойчивого развития требует перехода от исследования

отдельных функционирующих изолированных систем к исследованию интегральных эволюционирующих систем, актуализации и усиления системно-синергетических связей открытой системы и его окружения. Рассмотрена проблема устойчивого развития и инновационный подход к интегральному моделированию в управлении техногенными объектами и процессами (ТОП) как системы социально-эколого-экономического и гуманитарного типа (СЭЭГС). На основе использования информационных и инновационных технологий с целью прогнозирования нелинейной динамики эколого-экономических и социально-гуманитарных систем разработаны и исследованы интегрированные стохастические модели объектов и процессов, пригодные для условий системных кризисов. Рассмотрен аспект интеграции четырех сфер деятельности и функционирования современных сложных систем. Предложена общая концептуальная интегрированная модель, обобщена синергетическая модель динамики с учетом различной неопределенности (стохастической и хаотической составляющих). Необходимо заметить, что при моделировании динамики труда, ресурсов и других факторов использовано обобщенное логистическое уравнение Ферхюльста и др.

Большинство созданных ранее моделей динамики эколого-экономических и социо-гуманитарных систем и процессов, которые функционируют и развиваются в сложных условиях нелинейности, нестабильности и кризисов, носят теоретический и детерминированный характер и достаточно проблемные, с точки зрения наличия информации и адекватности для их реализации. В связи с этим, задача управления ТОП обуславливает объективную необходимость в совершенствовании методов, моделей и информационных технологий на основе стохастических уравнений для управления СЭЭГС.

Ключевые слова: интегральная линейная модель, управление, социо-эколого-экономическая и гуманитарная система, развитие.

.....

THE PROBLEM OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND THE INTEGRATED MODEL OF ECO-ECONOMIC MANAGEMENT UNDER THE GLOBAL CRISIS

S. Ramazanov

The problem of sustainable development has the following aspects: systematic, synergetic, ecological, economic, mathematical, informational, philosophical, legal, educational and so on. The paradigm of sustainable development requires a shift from the study of some isolated operating systems to the study of integral evolving systems, updating and strengthening system-synergetic links of the open system and its environment. The problem of sustainable development and the innovation approach to integrated modelling in managing technogenic objects and processes (TOP) as a system of socio-environmental, economic and humanitarian type (SEEHS) has been studied. Based on the use of information and innovative technologies, integrated stochastic models of objects and processes suitable for systemic crisis have been designed and tested with a view to predicting nonlinear dynamics of eco-economic and socio-humanitarian systems. The integration of 4 areas and operation of modern complex systems has been researched. A common conceptual integrated model has been proposed, a synergetic model of dynamics considering different uncertainty (random and chaotic components) has been generalized. Note that when modelling the dynamics of labor, resources and other factors, the generalized logistic Ferhyulst equation and others have been used.

Most of the previously created models of the dynamics of the ecological, economic and socio-humanitarian systems and processes that operate and develop under difficult nonlinear conditions, instabilities and crises are of theoretical and determined nature and quite problematic in terms of adequacy and availability of information for their implementation. In this regard, the task of managing TOP causes an objective necessity for improvement of methods, models and information technologies based on stochastic equations to control SEEHS.

Keywords: integrated nolinear model, management, socio-eco-economic and humanitarian system, development.

Глобальною метою досліджень є створення загальної концепції, принципів, методологій, методів, моделей та інформаційних технологій і систем прийняття управлінських рішень для сталого, безпечного й життєздатного розвитку економіки, екологічної економіки та соціально-гуманітарних систем в умовах невизначеності, ризиків, загроз і криз [1 – 6].

Концепція сталого, безпечного й життєздатного розвитку передбачає зміну парадигм традиційної економіки, гуманізацію та екологізацію її головних принципів, пошук спільних підходів і погодженості концепцій розвитку екологічних та економічних систем.

Проблема сталого розвитку має такі аспекти: системний, синергетичний, екологічний, економічний, математичний, інформаційний, філософський, юридичний, освітній та ін. У роботі розглянуто аспект інтеграції чотирьох сфер діяльності та функціонування систем: соціально-еколого-економічної й гуманітарної (СЕЕГ), включаючи духовно-моральні та культурні технології. Парадигма сталого розвитку потребує переходу від дослідження окремих ізольованих систем, що функціонують, до дослідження інтегральних систем, що еволюціонують, актуалізації й посилення системно-синергетичних зв'язків відкритої системи та його оточення. Наявні "монодисциплінарні" концепції, лінійні статичні моделі, репродуктивно-репрезентативні методи (що відображають лінійність наших знань), критерії прибутковості, оптимальності мають поступатися місцем міждисциплінарним, системно-синергетичним, еволюційним нелінійним моделям і методам прогнозування та здобування знань, управління (що відображає нелінійність і негаусовість законів природи й суспільства), критеріям раціональності, локальної оптимальності, відповідності "здоровому глузду". "Міждисциплінарну" парадигму слід розуміти не в інтуїтивному, технократичному зв'язку дисциплін, накопиченні квантів знань і умінь, а в актуалізації індивідуального та громадського інтелекту, освіти та вивченні нових самоорганізованих і стійких структур [7 – 13].

Автор зазначає також, що людина, яка системно мислить і діє, переважно, прогнозує та зважає на результати своєї діяльності, порівнює свої можливості, ураховує інтереси довкілля, наступних поколінь і необхідності в ноосферному розвитку [5; 6; 14].

Важливо до того ж мати такі моделі, процедури моделювання, які враховують досить просто й інтегрально зв'язки у структурах як усієї системи, так і її окремих підсистем. Для i -ї підсистеми системи структури S слід розглянути вектор $x = (x_1(i), \dots, x_{n_i}(i))$ основних параметрів (без яких не можна описати та вивчити функціонування підсистеми, відповідно до цілей і структури системи) і функціонал $s = s(x(i))$, який дістав назву функціонала активності (просто активності) підсистеми. Для всієї системи слід розглянути вектор стану системи x і активність $s(x)$, а також поняття потенціалу системи. Ці функціонали відображають інтенсивність процесів у підсистемах і системі загалом. Для завдань моделювання важливими будуть значення $s(t)_{max}$, $s(t)_{min}$, $s(t)_{opt}$ – максимальні, мінімальні й оптимальні значення активності i -ї підсистеми, а також аналогічні значення для усієї системи (S_{max} , S_{min} , S_{opt}). Показником стану можна взяти також відношення значення цього показника до його нормованого значення.

Розроблення й дослідження інтегрованих моделей на основі використання інформаційних та інноваційних технологій із метою прогнозування нелінійної динаміки еколого-економічних і соціально-гуманітарних систем у сучасних умовах є актуальною проблемою. Такий підхід у повному обсязі підтверджено думкою багатьох видатних учених, вираженою щодо концепції сталого розвитку, яка виникла в результаті об'єднання трьох основних моделей і точок зору (триєдиної моделі): економічної, соціальної та екологічної [6].

У ході моделювання еколого-економічного розвитку в руслі концепції екологічної модернізації та принципу сталого

розвитку необхідно враховувати такі взаємопов'язані системи, як: економіка (виробництво), праця (населення), ресурси (корисні копалини, природні ресурси та ін.), природа (ця система відображає стан довкілля). Останню систему названо моделлю забруднення, попри те, що вона містить і такі позитивні дії, як: очищення, відновлення та ін. Регулювальним органом у базовій моделі є деякий центр (регіональне управління), який визначає еколого-економічну політику, тобто приймає рішення про рівень споживання, рівні видобування й забруднення. Таким чином, базова модель містить чотири взаємопов'язаних взаємодійних моделі та деякий критерій вибору оптимальної екологічної політики.

Метою роботи є розроблення та дослідження інтегральної соціально-еколого-економічної стохастичної моделі динаміки техногенних об'єктів і процесів, що функціонують в умовах криз.

У цій роботі під *техногенними об'єктами та процесами* (ТОП) мають на увазі *техногенні виробничі підприємства* (ТВП), або *техногенні регіональні виробництва* (ТРВ), або *техногенні регіони* (ТР) *техногенного економічного об'єкта* (ТЕО) тощо. Усе це позначають як ТОП. Запропонований огляд і аналіз деяких досягнутих останніми роками різними авторами результатів із макро- і мікро- моделювання динаміки еколого-економічних і соціогуманітарних систем і процесів, які належать до ТОП та функціонують і розвиваються у складних умовах нелінійності, нестабільності та криз.

Більшість створених раніше моделей соціально-еколого-економічних систем (СЕЕС) моделей мають теоретичний і детермінований характер і є досить проблемними, із точки зору адекватності й наявності інформації для їхньої реалізації. У зв'язку із цим, завдання управління техногенним регіональним виробництвом (ТРВ) в умовах кризи обумовлює об'єктивну необхідність у вдосконаленні методів, моделей та інформаційних технологій на основі стохастичних рівнянь для управління СЕЕС.

Основною вимогою парадигми сталого розвитку є створення умов існування майбутніх поколінь шляхом обмеження природокористування, налагодження циклів відтворення природних ресурсів і довкілля разом із розвитком соціального капіталу – усе це може бути здійснено тільки на основі використання науково-технічних досягнень і за високої інноваційної активності. Тому парадигма інноваційного розвитку концептуально обґрунтовує шлях досягнення сталого зростання ТРВ (ТОП) за допомогою розвитку людського потенціалу та зменшення навантаження ТРВ на людину й довкілля.

Щоб підвищити ефективність управління ТРВ в умовах кризи, необхідно позитивно впливати на всі її структурні складові частини, від яких залежить успіх діяльності ТРВ на перспективу. Сталий розвиток ТРВ потребує такого підбору й поєднання її складових частин, які забезпечували б гармонійне функціонування ТРВ як єдиного цілого. Одним з основних чинників підвищення ефективності функціонування ТРВ є інтенсифікація виробництва, на яку значною мірою впливає наука. Інтелектуальний капітал ТРВ – це внутрішній ресурс, здатний надати їй нові інноваційні переваги. Важливо, щоб у результаті інноваційної діяльності ТРВ, спрямованої на подолання кризових явищ, було підвищено рівень її системності й за рахунок цього досягнуто синергетичного ефекту.

У роботах [1 – 3] досліджено процес удосконалення механізму управління техногенним регіональним виробництвом шляхом розроблення методів, моделей та інформаційних технологій соціально-еколого-економічного управління (СЕЕУ) в умовах кризи. Запропоновано математичну й концептуальну моделі та виконано сценарні розрахунки за імітаційною моделлю управління ТРВ.

Це дослідження є розвитком результатів робіт автора [1 – 6] з еколого-економічного моделювання й управління на випадок обліку стохастичних чинників впливу, який сподівається, що наведений матеріал буде корисним як для відомих фахівців-дослідників цього напрямку науки, так і молодих учених.

1. *Загальна концептуальна модель інтегрального еколого-економічного, соціально-гуманітарного розвитку й управління* складною системою в умовах невизначеності, нестабільності, труднощі тощо "НІ-чинників" і "БАГАТО-чинників" можна подати у вигляді теоретико-множинного кортежу/кортежів:

$$IS := \langle \langle E_c, E_n, S_o, H_u \rangle; \langle X_1, Y_1, F_1, G_1, K_1, \Omega_1 \rangle, R_1, U_1, E_1, T \rangle, \quad (1)$$

де $\langle E_c, E_n, S_o, H_u \rangle$ – інтегральний кортеж основного набору систем, причому E_c – економіка (економічна система); E_n – довкілля (екосфера); S_o – соціальна сфера (соціальна система); H_u – гуманітарні компоненти в моделі.

Підкортеж $\langle X_1, Y_1, F_1, G_1, K_1, \Omega_1 \rangle$ складено із загальноновідомих компонент для кожної із згаданих систем: $R_1 = \langle R_c, R_n, I_n, \tau_n, R_s \dots \rangle$ – кортеж ресурсів, причому R_c і R_n – економічні й екологічні ресурси; I_n – інвестиції; τ_n – інформаційні й інноваційні потенціали; R_s – ресурс для забезпечення безпеки від сукупності загроз, ризиків і криз.

Глобальна схема інтегральної моделі сталою й соціо-гуманітарного розвитку системи можна подати у вигляді інтегратора: $S = E_n \oplus E_c \oplus S_o \oplus H_u$, тобто як інтегральну "4-єдину" систему, причому E_c – економічна система; E_n – екологічна система; S_o – соціальна система; H_u – гуманітарна система; $X(t, r)$ – стан інтегральної системи S ; у просторі змінних $(t, r) \in [T \times R^3]$; X_0 – стан системи S у початковий момент часу t_0 ; W – множина збурювальних чинників зовнішнього середовища [3; 4].

2. *Концептуальну модель прогнозування й управління еколого-економічними процесами (ЕЕП) техногенного економічного об'єкта* (ТЕО) в умовах наявності "НІ-і БАГАТО-чинників" можна подати у вигляді теоретико-множинної моделі як кортеж:

$$\langle X, Y, F, H, R, E, \Omega, T, G, K_u, K_p, P, U \rangle, \quad (2)$$

де X – множина можливих станів техногенного економічного об'єкта; $Y = \langle Y^{екн}, Y^{екл} \rangle$ – загальний вихід техногенного економічного об'єкта, причому $Y^{екн}$ – продуктивна множина (тобто "корисний вихід"), а $Y^{екл}$ – множина забруднень (тобто "шкідливий вихід"); $F = \langle F^{екн}, F^{екл} \rangle$ – модельне відображення ТЕО; $H = \langle H^{екн}, H^{екл} \rangle$ – загальний оператор спостережень (вимірів); R – ресурсна множина (тобто основний контрольований вхід ТЕО); E – множина невизначених чинників (як зовнішніх, так і внутрішніх, тобто як адитивних, так і мультиплікативних), зокрема, ця множина стохастичної, нечіткої, множинної або змішаною невизначеності; Ω – множина обмежень; T – часовий інтервал функціонування й розвитку ТЕО; G – цільова множина; K_U – узагальнений еколого-економічний критерій управління (ЕЕК); K_p – узагальнений критерій оптимізації прогнозування (КОП); P – оператор еколого-економічного прогнозування; $U = \langle U^{екн}, U^{екл} \rangle$ – вектор еколого-економічного управління

(ЕЕУ). Позначення "екн" і "екл" відповідають економічним та екологічним змінним.

Тоді завдання оптимального еколого-економічного прогнозування, тобто визначення предиктора як для внутрішніх, так і зовнішніх процесів можна сформулювати таким чином: визначити оцінку $\hat{x}(T + \delta)$, $\delta = \delta_0, \delta_1, \dots$ вектора стану $x(T + \delta)$ за заданого етапу прогнозу δ на основі множини еколого-економічних спостережень $\{y(t), t \in [t_0, T]\}$ і за заданим КОП K_p .

Завдання ЕЕУ тепер полягає у визначенні ефективного інтегрального вектора управління $U = \langle U^{екн}, U^{екл} \rangle$ на основі оцінок $\hat{x}(T + \delta)$, $\delta = \delta_0, \delta_1, \dots$ і нелінійної динамічної еколого-економічної моделі ТЕО, що забезпечує досягнення мети G за заданого узагальненого еколого-економічного критерію K_U і обмежень Ω , урахувавши умови невизначеності й ризиків.

Мультиплікативно-адитивну стохастичну модель із хаотичною динамікою в загальному вигляді можна подати як векторні рівняння:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x(t)[X^0 - x(t)] + D(t), \quad A(t) = a(t)\lambda(t)\zeta(t), \\ D(t) &= d(t)\xi(t) \end{aligned} \quad (3)$$

чи мультиплікативно-адитивну стохастичну модель із хаотичною динамікою та управлінням, тобто, урахувавши керівники дії:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x(t)[X^0 - x(t)] + D(t) + P(t), \quad A(t) = a(t)\lambda(t)\zeta(t), \\ D(t) &= d(t)\xi(t), \quad P(t) = p(t)\psi(t)u(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Модель спостережень подано у вигляді:

$$y(t) = H(t)x(t) + \eta(t). \quad (5)$$

Тут використано такі позначення: $\xi(t), \zeta(t), \eta(t)$ – мультиплікативно-адитивні стохастичні компоненти в моделях (3) – (5); $\lambda(t)$ – хаотичну складову частину в моделі системи (3). Інші позначення наведено раніше.

3. *Інтегральну соціо-еколого-економічну динамічну модель поведінки з духовно-моральними змінними* концептуально може бути подано в загальному (блоковому) вигляді:

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = f_1(X_1, X_2, X_3, X_4; P_1, \xi_1), \\ \dot{X}_2 = f_2(X_1, X_2, X_3, X_4; P_2, \xi_2), \\ \dot{X}_3 = f_3(X_1, X_2, X_3, X_4; P_3, \xi_3), \\ \dot{X}_4 = f_4(X_1, X_2, X_3, X_4; P_4, \xi_4), \end{cases} \quad (6)$$

де $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)$ – об'єднаний вектор поведінкових змінних і станів соціо-еколого-економічної системи, урахувавши зміну рівня духовності (СЕЕСД) X_4 , причому в (6) $X_1 = X_1(t)$ – вектор економічних змінних; $X_2 = X_2(t)$ – вектор екологічних змінних (змінних забруднення); $X_3 = X_3(t)$ – вектор соціальних змінних; $P = (P_1, P_2, P_3, P_4)$ – сукупний вектор параметрів СЕЕСД (внутрішньосистемні й зовнішнього середовища); $\Xi = (\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4)$ – вектор зовнішніх випадкових

і невизначених змінних. Наприклад, для ТРВ $X_i = (K_i, L_i, I_i, \tau, C)$, $C = (C_1, C_2, C_3, C_4)$ – вектор деяких параметрів споживання (витрат), а C_1 – величина соціального споживання (тобто витрати на зарплатню тощо); $C_1 = C_3$ – витрати

на екологію; $C_3 = C_5$ – витрати на безпеку, $C_4 = C_i$ – обсяг інвестицій на інноваційні, інформаційні й гуманітарні технології.

4. Синергетична модель динаміки нелінійної стохастичної системи з хаотичною поведінкою:

$$\dot{x}_i = \left[\lambda_i \xi_i(t) x_i(t) \left[\sum_X \pm \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) \prod_{k=1}^j x_k(t) \right] + \sum_{l=1}^3 d_{il} \frac{\partial^2 x_i}{\partial r_l^2} + w_i \right] + b_i u_i(t), \quad (7)$$

$$i = \overline{1, n}, \quad \overline{x}_i(0) = x_{i0},$$

де $\langle \xi_i, w_i \rangle$ – стохастичні збурювальні складові частини моделі; $\{a_{ij}(t)\}$ – нестационарні складові частини моделі; $\{d_{il}\}$ – коефіцієнти дифузії, що визначають рівень розподілу змінних стану; \sum_X – сумарне максимальне (гранично допустиме) значення вектора X ; $\{\lambda_i\}$ – сукупність параметрів, які призводять до хаотичності.

Зокрема, цю модель можна подати і як систему стохастичних диференціальних рівнянь:

$$\partial X_i / \partial t = A_i [\xi_i (r_i X_i - \sum_{j \neq i} b_{ij} X_i X_j - a_i X_i^2) + D_i(x, y) \Delta X_i] + \zeta_i + u_i,$$

де X_i – координати вектора стану системи, причому $X_i \equiv (t, x, y)$; $i, j = 1, 2, \dots, n$; r_i – коефіцієнт репродукції (розмноження, зростання, розвиток і тощо); a_i – параметр насичення, обмежуючий зростання (репродукцію); b_{ij} – параметр взаємодії між підсистемами (суб'єктами господарської діяльності); $D_i(x, y)$ – коефіцієнт дифузії i -ї підсистеми (суб'єкта економіки) у точці (x, y) ; $\xi_i \equiv \xi_i(t, x, y)$ і $\zeta_i \equiv \zeta_i(t, x, y)$ – стохастичні мультиплікативні й адитивні складові частини моделі, відповідно; $u_i \equiv u_i(t, x, y)$ – координати вектора управління (управлінських рішень); A_i – масштабувальний коефіцієнт; Δ – лапласіан: $\Delta(*) = \partial^2(*) / \partial x^2 + \partial^2(*) / \partial y^2$, а $t \in [0, T]$ – інтервал часу функціонування й розвитку системи.

Такі моделі описують та охоплюють досить широкий клас складних процесів і систем, до яких належать моделі типу ТОП і ноосферні моделі сталого розвитку [6].

5. Принцип системної динаміки стохастичних процесів. Принцип системної динаміки або метод системної динаміки (МСД) – це метод вивчення складних систем із нелінійними зворотними зв'язками. МСД припускає, що для основних фазових змінних (так званих системних рівнів) пишуться диференціальні рівняння за одним і тим же типом:

$$\dot{X} = \alpha X^+ - \beta X^-, \quad \alpha, \beta > 0, \quad (8)$$

де X^+ – позитивний темп швидкості змінної X , що містить усі чинники, що викликають зростання змінної X ; X^- – негативний темп швидкості, що містить усі чинники, що викликають складання змінної X (згідно із МСД).

За наявності екзогенних та ендогенних стохастичних впливів стохастичну модель системної динаміки для будь-якого j

можна подати як систему стохастичних диференціальних рівнянь загального вигляду:

$$dX_j = F(X_j^+, X_j^-, W_j) \equiv \alpha_j X_j^+ - \beta_j X_j^- + \sigma_j(X_j, t) dW_j, \quad (9)$$

де $\alpha, \beta > 0$, W_t – стандартний броунівський рух; σ – коефіцієнт волатильності.

Для узагальнення поняття стану динамічної системи на стохастичний випадок слід припустити, що розподіл імовірності змінної стану x у майбутньому визначено однозначно значенням її стану на сьогодні. Необхідно також, щоб систему описували за харківською моделлю. Для подання стохастичної моделі динаміки системи в дискретному випадку можна використати різницеве рівняння у вигляді [13; 15; 16]:

$$x(t+1) = f(x(t), t) + w(x(t), t), \quad t \in T, \quad (10)$$

де f – умовне середнє від $x(t+1)$ за заданого $x(t)$, а w – випадкова величина з нульовим середнім.

Якщо рівняння (10) є стохастичною моделлю стану динамічної системи, то необхідно, щоб умовний імовірнісний розподіл $x(t+1)$ за заданого $x(t)$ не залежав від минулих значень x . Модель (10), що має цю властивість, називають стохастичним різницеvim рівнянням, а процес $\{x(t), t \in T\}$ є марківським.

Якщо додатково припустити, що умовний розподіл $w(t)$ за заданого $x(t)$ нормальний, то випадкову величину $w(t)$ можна подати у вигляді $w = w(x(t), t) = \sigma(x, t)e(t)$, а рівняння (10) можна переписати у вигляді:

$$x(t+1) = f(x(t), t) + \sigma(x(t), t)e(t), \quad t \in T, \quad (11)$$

де $\{e(t), t \in T\}$ – послідовність незалежних, однаково розподілених, випадкових величин із параметрами $(0, 1)$.

У безперервному випадку стохастичну модель стану динамічної системи можна подати у вигляді стохастичного диференціального рівняння:

$$dx = F(x, t) + \sigma(x, t)dw. \quad (12)$$

Слід зазначити, що в рівнянні (12) другий член стохастичний і дорівнює добутку функції стану на приріст вінерівського процесу. Якщо прийняти поняття білого шуму з безперервним часом, то рівняння (12) можна подати в такому вигляді:

$$\frac{dx}{dt} = F(x, t) + \sigma(x, t)e(t), \quad (13)$$

де $\{e(t), t \in T\}$ – білий шум із безперервним часом.

6. *Моделювання еколого-економічного оптимального управління техногенного регіонального підприємства (ТРП).*

Варіант еколого-економічної моделі ТРП. Оскільки приріст (зростання) забруднення дорівнює різниці між обсягом заповдіяного забруднення та обсягом ліквідованого забруднення за рахунок безпосередньої боротьби з ним, так і в результаті природного спаду (асиміляції), динаміку забруднення в загальному вигляді можна описати таким диференціальним рівнянням балансу: $\dot{Z} = Z^+ - Z^-$, де для ТРП $Z^+ = \gamma f(k)$, $Z^- = \lambda(1 - \alpha - \beta)f(k) + \delta z$, а для регіональної економіки загалом, зокрема, для техногенного регіону (у разі взаємної незалежності ТРП) [3; 4; 8]: $Z^+ = \sum_1^n \gamma_i f_i(k_i)$, $Z^- = \lambda \sum_1^n (1 - \alpha_i - \beta_i) f_i(k_i) + \delta z$.

Якщо припустити, що величина норми накопичення є $\rho = \alpha(t)$ – змінна величина. Тоді питоме споживання можна обчислити таким чином:

$$c(t) = (1 - \alpha(t))(1 - a)f(k) = (1 - a)f(k) - \alpha(t)(1 - a)f(k)$$

чи
$$\alpha(1 - a)f(k) = (1 - a)f(k) - c(t).$$

У цьому разі рівняння динаміки фондів набере вигляду:

$$\dot{k} = -(\mu + \nu)k + \alpha(1 - a)f(k) = -(\mu + \nu)k + f(k) - c,$$

чи
$$\dot{k} = f(k) - (\mu + \nu)k - c(t), \quad k(0) = k_0.$$

Якщо випуск визначено як $Y = F(K, L)$, $Y = I + C$, то модифікована модель динаміки фондів, урахувавши запізнювання інвестиційних потоків (із розподіленим лагом і функцією ядра $h(t - \tau) = h_0 \exp(-r(t - \tau))$) (тобто для стаціонарного випадку), набере такого вигляду [1; 9; 10]:

$$\begin{cases} \dot{K} = -\mu K + I_h(t), & K(0) = K_0, \\ \dot{L} = \nu L \text{ или } L = L_0 e^{\nu t}, & L(0) = L_0, \\ \dot{I}_h = -r I_h + h_0 I, & I_h(t_0) = h_0 I(t_0) \end{cases}$$

чи
$$(14)$$

$$\begin{cases} \dot{k} = -(\mu + \nu)k + i_h(t), & k(0) = k_0, \\ (\dot{i}_h) = -(r + \mu + \nu)i_h + h_0 \rho f(k), & i_h(0) = i_{h_0}, \\ c = (1 - \rho)f(k), & (\rho \equiv \alpha). \end{cases}$$

Потрібно зазначити, що потік інвестицій також є стохастичним процесом.

Рівняння (14) є основною динамічною моделлю керуваної ТРП і за змінну, що управляє, можна взяти питоме споживання $c(t) = C(t)/L(t)$ або норму накопичення ρ , а змінна стану $k(t)$ – фондоозбросеність, тобто $k(t) = K(t)/L(t)$.

Традиційну модель приросту капіталу за відсутності впливу випадкових чинників описують рівнянням [13 – 15]:

$$\frac{dK_t}{K_t} = \left(-\mu + \rho F \left(1, \frac{L_t}{K_t} \right) \right) dt. \quad (15)$$

Динаміка капіталу може істотно залежати від випадкових чинників, які враховують, додавши до рівняння [16] стохастичний доданок σdW_t :

$$\frac{dK_t}{K_t} = \left(-\mu + \rho F \left(1, \frac{L_t}{K_t} \right) \right) dt + \sigma dW_t. \quad (16)$$

де W_t – стандартний броунівський рух; σ – коефіцієнт мінливості приросту капіталу.

Стохастичний доданок σdW_t у рівнянні (16) характеризує вплив екзогенних випадкових чинників (економічної кон'юнктури, виробничої невизначеності, наукових відкриттів та ін.) на динаміку галузі.

У разі переходу в рівнянні (16) до відносних показників: фондоозбросеності $k_t = \frac{K_t}{L_t}$; середньої продуктивності

праці $x_t = \frac{X_t}{L_t}$; питомих інвестицій на одного зайнятого

$i_t = \frac{I_t}{L_t}$; середньоособового споживання $c_t = \frac{C_t}{L_t}$, користуючись формулою Іто, можна записати як стохастичне диференціальне рівняння:

$$dk_t = \left(-(\mu + \nu)k_t + \rho k_t F \left(1, \frac{1}{k_t} \right) \right) dt + \sigma k_t dW_t,$$

чи $dk_t = \left(-(\mu + \nu)k_t + \rho F(k_t, 1) \right) dt + \sigma k_t dW_t$, оскільки ВФ $F(K_t, L_t)$ є лінійно-однорідною, то $k_t F \left(1, \frac{1}{k_t} \right) = F(k_t, 1)$.

Якщо увести позначення: $\lambda = \mu + \nu$, $f(k_t) = F(k_t, 1)$, буде остаточно визначено односекторну стохастичну динамічну модель:

$$\begin{cases} dk_t = \left(-\lambda k_t + \rho f(k_t) \right) dt + \sigma k_t dW_t, \\ k_0 = \frac{K_0}{L_0}, \\ x_t = f(k_t), \quad i_t = \rho f(k_t), \quad c_t = (1 - \rho) f(k_t). \end{cases} \quad (17)$$

Модель праці найчастіше класично зображають як модель експоненціального зростання Мальтуса: $\dot{L}(t) = \gamma L(t)$, $L(0) = L_0$.

Проте цю модель необмеженого зростання трудових ресурсів не відображено у практичному застосуванні. У цих випадках використовують моделі типу Ферхольста або Гомперца, відповідно:

$$\dot{L}(t) = \gamma L(t) \left[1 - L(t) / L^0 \right], \quad L(0) = L_0 \quad (18)$$

$$\text{чи } \dot{L}(t) = \gamma L(t) \ln \left[L^0 / L(t) \right], \quad L(0) = L_0, \quad (19)$$

де L^0 – деяка константа, що визначає максимально можливу кількість працівників. За такого підходу до моделювання

трудова ресурсів не враховано впливу рівня споживання й рівня забруднення. Дотримуючись логіки моделювання, розширену модель трудових ресурсів можна подати таким чином:

$$\dot{L}(t) = \gamma L(t) - \gamma_Z Z(t) + \gamma_C C(t), \quad L(0) = L_0; \quad (20)$$

$$\dot{L}(t) = \gamma L(t) [1 - L(t) / Q(Z, C)], \quad L(0) = L_0; \quad (21)$$

$$\dot{L}(t) = \gamma L(t) \ln [Q(Z, C) / L(t)], \quad L(0) = L_0. \quad (22)$$

У першому рівнянні константи γ_Z, γ_C характеризують зміну кількості населення (у тому числі у зв'язку зі зміною рівня смертності, рівня народжуваності й міграції), унаслідок екологічної ситуації та рівня споживання в регіоні. У другому та третьому – функція $Q(Z, C)$ визначає зміну верхньої межі кількості населення регіону. Особливе завдання полягає у визначенні виду функції $Q(Z, C)$.

Нелінійна модифікована динамічна модель системи за логістичного характеру зміни L має такий вигляд [4]:

$$\begin{cases} \dot{k}(t) = \alpha f(k) - n_0(1 - \eta(t))k(t), & k(t_0) = k_0, \\ \dot{c}(t) = (1 - \alpha)f(k), \\ \dot{\eta}(t) = n_0 \eta(t)(1 - \eta(t)), & \eta(t) \equiv L(t) / L_{\max}, \\ \eta(t_0) = L_0 / L_{\max}. \end{cases} \quad (23)$$

Динаміка праці також може істотно залежати від випадкових чинників, які можна врахувати, додавши до рівняння (18) або (19) стохастичний доданок типу σdW_t , наприклад, у вигляді стохастичного логістичного рівняння Ферхюльста, як стохастичне диференціальне рівняння [16]:

$$dL_t = (a + bL_t)(L^0 - L_t)dt + \sigma \cdot (L^0 - L_t)dW_{tL}, \quad (24)$$

де L^0 – загальна (гранична) кількість працівників; $\dot{L} \equiv \frac{dL}{dt}$ – швидкість зміни кількості працівників; $L^0 - L_t$ – обсяг потенційного ринку праці; W_{tL} – стандартний броунівський рух (вінерівський процес [15; 16]), σ – волатильність ринку, тобто $\sigma \cdot (L^0 - L_t)dW_{tL}$ – випадковий доданок – випадковий процес у пропорційно неохопленій частині ринку праці.

Розв'язком рівняння (тобто розв'язанням задачі Коші) є випадковий процес:

$$L_t = L^0 - \frac{1}{E_t \cdot \left[\frac{1}{L^0 - L_0} - b \int_0^t \frac{1}{E_\tau} d\tau \right]}, \quad E_t = \exp \left[(a + bL^0)t + \sigma W_{tL} \right]$$

де E_t – "геометричний" броунівський рух $dE_t = E_t \cdot [(a + bL^0 + \sigma^2)dt + \sigma \cdot W_{tL}]$ за початкової умови $E_0 = 1$ [16].

Зокрема, логістичне рівняння зростання кількості працівників у детермінованому випадку має вигляд:

$$\dot{L}_t = aL_t [1 - bL_t].$$

Сучасна точка зору на екологічну проблему така, що дилему між економічним розвитком і збереженням довкілля може бути вирішено лише за допомогою коеволюційного розвитку економічного виробництва, природи й суспільства, створення нового "екологізованого" законодавства. Це відображено в концепції екологічної модернізації – сучасній науковій теорії, основним об'єктом якої є організаційна й менеджерська структура індустріальної економічної

системи та їхні перетворення в руслі одночасного забезпечення сталого розвитку та збереження довкілля.

У ході моделювання еколого-економічного розвитку в руслі концепції екологічної модернізації та принципу сталого розвитку необхідно враховувати такі взаємопов'язані системи, як: економіка (виробництво), праця (населення), ресурси (корисні копалини, природні ресурси), природа (ця система відображає стан довкілля). Останню систему названо моделлю забруднення, попри те, що вона містить і такі позитивні дії, як: очищення, відновлення та ін. Регулювальним органом у базовій моделі є деякий центр (регіональне управління), який визначає еколого-економічну політику, тобто приймає рішення про рівні споживання, добування та забруднення.

Таким чином, базова модель містить чотири взаємопов'язаних взаємодійних моделі: *Модель капіталу*, *Модель ресурсів*, *Модель забруднення*, *Модель праці* та деякий критерій вибору оптимальної екологічної політики.

Інтегральну модель у цьому випадку можна подати як кортеж у вигляді: $IM = \langle \text{Модель капіталу}, \text{Модель ресурсів}, \text{Модель забруднення}, \text{Модель праці та ін.} \rangle$.

Слід зазначити, що необхідно та важливо до системи моделей також включити моделі інших важливих чинників і активів.

Для формалізації базової моделі введено такі позначення: C – споживання; Z – забруднення; Y – обсяг "корисного" випуску; R – залишок ресурсу; K – капітал; L – праця (робоча сила); I – інвестиції; D – витрати на зниження забруднення.

Формалізацію базової моделі може бути подано в такому загальному вигляді.

Критерій вибору еколого-економічної стратегії, тобто ЕЕУ:

$$M[\Phi(C, Y, D)] \rightarrow \max, \quad (25)$$

де $\Phi(C, Y, D)$ – функція добробуту регіону, а M – символ математичного очікування.

Модель капіталу:

$$\dot{K}(t) = W(K, R, D, L, C, I, \xi_k), \quad K(0) = K_0. \quad (26)$$

Модель забруднення:

$$\dot{Z}(t) = J(K, L, Y, Z, D, \xi_z), \quad Z(0) = Z_0. \quad (27)$$

Модель ресурсів:

$$\dot{R}(t) = G(R, K, L, Y, \xi_R), \quad R(0) = R_0. \quad (28)$$

Модель праці:

$$\dot{L}(t) = S(L, C, Z, \xi_L), \quad L(0) = L_0. \quad (29)$$

де J, G, Φ, S – деякі задані функції, а $(\xi_k, \xi_z, \xi_R, \xi_L)$ – стохастичні зміни, які описують нестабільне зовнішню середовище.

Модель ресурсів складено із двох підсистем. Це обумовлено наявністю двох типів ресурсів: *поновлюваних і непоновлюваних* [16].

Для моделювання поновлюваних ресурсів використовують моделі, аналогічні моделям праці, тобто:

$$\text{Модель Мальтуса } \dot{R}(t) = \gamma_R R(t), \quad R(0) = R_0;$$

Модель Ферхюльста $\dot{R}(t) = \gamma_R R(t) \left(1 - \frac{R(t)}{Q_R}\right)$, $R(0) = R_0$;

Модель Гомперца $\dot{R}(t) = \gamma_R R(t) \ln\left(\frac{Q_R}{R(t)}\right)$, $R(0) = R_0$;

Модель Монода $\dot{R}(t) = \gamma_R R(t) \frac{\tilde{S}(t)}{Q_R + \tilde{S}(t)}$, $R(0) = R_0$,

де $\tilde{S}(t)$ – динаміка деякого допоміжного атрибута, що обмежує приріст ресурсу (наприклад, харчування для біологічних ресурсів, світло для рослинних тощо).

Модель Лотки – Вольтерра, що враховує динаміку двох взаємовпливових ресурсів. Наприклад, модель "хижак-жертва" у вигляді:

$$\begin{cases} \dot{R}_1(t) = \gamma_1 R_1(t) - \alpha R_1(t) R_2(t), \\ \dot{R}_2(t) = -\gamma_2 R_2(t) + \beta R_1(t) R_2(t), \\ R_1(0) = R_{10}, R_2(0) = R_{20}. \end{cases}$$

Облік дії інших підсистем соціально-еколого-економічної моделі приведе до розширення типової моделі поновлюваних ресурсів. Таке розширення можна здійснити шляхом додавання до цієї моделі додаткових змінних:

$$\dot{R}(t) = \gamma_R R(t) + \gamma_K K(t) - Y(t) - \gamma_L L(t), R(0) = R_0.$$

Модель *непоновлюваних* ресурсів, на відміну від попередньої моделі не буде містити доданка, що враховує відновлення ($\gamma_R R(t)$), але буде зважати на розвідку нових родовищ ($\Phi(K(t), L(t))$):

$$\dot{R}(t) = \Phi(K(t), L(t)) + \gamma_K K(t) - \gamma_L L(t) - Y(t), R(0) = R_0,$$

де $\Phi(K(t), L(t))$ – деяка функція, що визначає загальну технологію й дослідження, залежно від витраченого капіталу $K(t)$ і праці $L(t)$.

Модель забруднення. До моделювання забруднення існує декілька підходів. Один із них наведений у монографії [17], у якій автор пропонував розглядати взаємодію

$$\frac{dy(x)}{dt} = [a - by - cy(x-l) + w \sin vx - d \int_0^x y(z) f(x-z) dz] y, y(0) = y_0, 0 \leq x \leq L,$$

де $y(x)$ – вихід системи, відповідний чиннику розвитку x (наприклад, час); $a(x)$ – еволюціонованість системи; $b(x)$ – лімітування; $c(x)$ – вплив запізнювання (лаг) l ; $w(x)$ – вплив періодичних коливань чинників середовища; v – періодичність цих коливань; $d(x)$ – вплив організаційних чинників; $f(x-s)$ – функція, що характеризує темп впливу внутрішніх чинників від зміни чинника x ; s – запізнювання цього впливу; y_0 – початковий рівень виробництва за $x = 0$.

Реальні системи ТОП, а також СЕЕСД є стохастичними із-за випадкового характеру чинників довкілля й міри їхньої дії. Якщо вважати, що всі параметри a, b, c, d, w мають випадковий характер, а, отже, випадковий характер мають і значення y_i $i = 0, 1, \dots, n$. Важливо визначити оцінку T – очікуваній тривалості життєздатності підприємства, а також V – еволюційну місткість середовища, наприклад, економічної ніші.

держави, економіки та природи в межах ієрархічної синергетичної/кібернетичної системи.

Система має синергетичний опис, якщо ефективно побудовано такий оператор D , що стан системи в кожен момент часу $t \in (t_0, T(t_0))$ може бути побудовано за значеннями вектора $x(\tau)$, $\tau \in (t_1, t_0)$, за умови, якщо всі зовнішні дії, які управляють, фіксовані:

$$x(t) = D(x(\tau), \varepsilon, \eta, u), t \in (t_0, T(t_0)), \tau \in (t_1, t_0), \quad (30)$$

де $\varepsilon(t, r)$ – випадкова дія з відомими ймовірнісними характеристиками; $\eta(t, r) \in G_\eta$ – дія, задана мірою невизначеності G_η , $u \in R^k$ – дії, що управляють; r – 3-вимірний вектор просторових змін.

Нехай ця деяка керована система, про яку відомо лише $s_{min}(s_{max})$. Відомо цільову функцію управління $F(s(t), u(t))$, де $s(t)$ – активність (стан) системи в момент часу t , а $u(t)$ – управління за деякої множини U допустимих управлінь, причому вважають, що досяжна u_{opt} – оптимальне управління з U , причому $0 < t_0 < t < T$ і $s_{min} < s(t) < (s_{max})$.

Тоді міру успішності (за М. Моїсеєвим [14]) прийняття рішень щодо управління системою оцінено таким чином:

$$H = |(F_{max} - F_{min}) / (F_{max} + F_{min})|,$$

$$F_{max} = \max\{F(u_{opt}, s_{max})\}, F_{min} = \min\{F(u_{opt}, s_{min})\}, \\ t \in [t_0; T], s \in [s_{min}, s_{max}].$$

Збільшення H свідчить про успішність управління системою (прийнятого рішення, функції підсистеми, що управляє). Життєздатність ТОП (техногенного підприємства) рівнозначна його виживаності та збереженню адаптаційних, еволюційних можливостей упродовж заданого проміжку часу та заданій економічній ніші. Підприємство життєздатне, якщо має певний соціально-економічний і виробничий потенціал.

Підмодель розвитку техногенного підприємства можна подати за законом (згідно з динамічною моделлю В. Вольтерра) у вигляді:

У результаті комплексної формалізації визначають один із варіантів соціально-еколого-економічної моделі динаміки у вигляді такої системи рівнянь:

$$\dot{K}(t) = -\alpha K(t) + e^{\alpha} F(K(t), L(t), R(t)) - C(t) - D(t) \quad K(0) = K_0; \quad (31)$$

$$Y = F(K, L, R) = \left[\beta_1 K^{\frac{\delta-1}{\delta}} + \beta_2 L^{\frac{\delta-1}{\delta}} + \beta_3 R^{\frac{\delta-1}{\delta}} \right]^{\frac{\delta}{\delta-1}}; \quad (32)$$

$$\dot{L}(t) = \gamma L(t) - \gamma_Z Z(t) + \gamma_C C(t), \quad L(0) = L_0; \quad (33)$$

$$\dot{R}(t) = \gamma_R R(t) + \gamma_K K(t) - Y(t) - \gamma_L L(t), \quad R(0) = R_0 \quad (34)$$

чи $\dot{R}(t) = d(K(t), L(t)) + \gamma_K K(t) - \gamma_L L(t) - Y(t), \quad R(0) = R_0; \quad (35)$

$$\dot{Z} = f^*(c, K, L, R)(1 - \eta c) - g(Z), \quad Z(0) = Z_0, \quad (36)$$

де Y – обсяг "корисного" випуску; K – капітал; L – кількість працівників; C – обсяг споживання; Z – обсяг забруднень ("шкідливий" вихід); I – інвестиції; R – інші ресурси; D – витрати на заходи зі зниженню забруднень.

Тоді трійка (C, Y, D) визначає еколого-економічну політику розвитку, тобто $U \equiv (C, Y, D)$ – вектор управління.

Модель еколого-економічного управління (ЕЕУ). Для управління ТРВ як еколого-економічну модель динаміки можна розглянути рівняння (31) і (36) із вектором стану $x = (k, z)$ і керівним вектором параметрів (змінних) $u = (\alpha, \beta)$ [3 – 5].

Тепер завдання оптимального еколого-економічного управління ТРВ можна надати таким чином.

Нехай інтегральна модель динаміки СЕЕС є (31) – (34).

Як функцію корисності можна розглядати таку функцію:

$$U(q) \equiv U(k, z, \alpha, \beta) \equiv U(x, u), \quad (37)$$

а функціонал ефективності:

$$J(q) = \int_{t_0}^T \exp(-\delta t) U(q(t)) dt \quad (38)$$

і критерій оптимізації управління:

$$J(q) \rightarrow \max_{q \in Q} \quad (39)$$

за обмежень:

$$Q = \{(\alpha, \beta, k, z) | 0 \leq \alpha, \beta \leq 1; \alpha + \beta \leq 1, k(t_0) = k_0, z(t_0) = z_0\}$$

чи

$$Q = \{(\alpha, \beta, k, z) | k(t_0) \in K_0, k(T) \in K_T, z(t_0) \in Z_0, z(T) \in Z_T\}. \quad (40)$$

Таким чином, завдання ЕЕУ в цьому випадку полягає у визначенні оптимальних часток α і β випуску, призначених на споживання й боротьбу із забрудненням, відповідно, тобто $c = \alpha Y, z = \beta Y, 0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ на основі, наприклад, такої моделі:

$$\begin{cases} Y(t) = F(K, L), \\ \dot{K} = (1 - \alpha - \beta)F(K, L) - \mu K, \\ \dot{Z} = (\varepsilon - \delta\beta)F(K, L) - \gamma Z, \\ \dot{L}(t) = \gamma L(t) [1 - L(t)/L^0], \quad L(0) = L_0. \end{cases} \quad ; \quad (41)$$

$$0 \leq \alpha(t), \beta(t) \leq 1, \alpha(t) + \beta(t) \leq 1. \quad (42)$$

У разі інтегральної моделі управління функція корисності (ФК) – це є функція параметрів/змінних $\tilde{u}(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$, де $\{\alpha_k(t), k = 1, \dots, 4\}$ – частки витрат на невикористані та екологічні витрати, безпеку, інноваційні й інформаційні технології, а критерієм оптимальності тепер є співвідношення:

$$J(\{c, k, z, L, \tau, S\}) = \int_{t_0}^T \tilde{u}(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) \exp(-\theta t) dt \rightarrow \max_{\{\alpha_i\} \in \Omega} \quad (43)$$

Для вирішення завдань ЕЕУ на основі наведених стохастичних і детермінованих моделей можна скористатися відомими класичними методами оптимального управління з обмеженнями [3; 4; 9; 10].

Розглянуто проблему сталого розвитку та інноваційний підхід до інтегрального моделювання в управлінні техногенними об'єктами та процесами (ТОП) як системи соціально-еколого-економічного та гуманітарного типу (СЕЕГС). На основі використання інформаційних та інноваційних технологій із метою прогнозування нелінійної динаміки еколого-економічних і соціально-гуманітарних систем розроблено й досліджено інтегровані стохастичні моделі об'єктів і процесів, придатні для умов системних криз. У роботі розглянуто аспект інтеграції чотирьох сфер діяльності та функціонування сучасних складних систем. Запропоновано загальну концептуальну інтегровану модель, узагальнено синергетичну модель динаміки, урахувавши різну невизначеність (стохастичну й хаотичну складові частини). Більшість створених раніше моделей динаміки еколого-економічних і соціо-гуманітарних систем та процесів, які функціонують і розвиваються у складних умовах нелінійності, нестабільності та криз, мають теоретичний і детермінований характер та досить проблемні, із точки зору наявності інформації й адекватності для їхньої реалізації. У зв'язку із цим, завдання управління ТОП обумовлює об'єктивну необхідність у вдосконаленні методів, моделей та інформаційних технологій на основі стохастичних рівнянь для управління СЕЕГС.

Розроблено та досліджено інтегральні соціально-еколого-економічні стохастичні моделі динаміки систем ТОП, тобто техногенних інтегрованих систем, що функціонують в умовах сучасних системних криз.

Напрямом подальших досліджень буде практичне застосування розробленої моделі.

Література: 1. Рамазанов С. К. Соціо-еколого-економічне моделювання та управління техногенним регіональним виробництвом в умовах кризи / С. К. Рамазанов, А. В. Сергієнко // Моделювання та інформаційні технології в дослідженні соціально-економічних систем: теорія і практика : монографія / під ред. докт. екон. наук., проф. В. С. Пономаренка, докт. екон. наук, проф. Т. С. Клебанової. – Бердянськ : ФОП Ткачук О. В., 2014. – С. 199–218. 2. Рамазанов С. К. Моделювання соціально-еколого-економічної динаміки в нестабільному середовищі / С. К. Рамазанов // Інформатика та системні науки (ІСН-2015) : мат.-ли VI Всеукр. наук.-практ. конф. за міжнародною участю (м. Полтава, 19 – 21 березня 2015 року). – Полтава : ПУЕТ, 2015. – С. 56–62. 3. Рамазанов С. К. Нелінійні моделі та аналіз складних систем : навч. посіб. / С. К. Рамазанов, Н. Є. Рогоза, Е. К. Мусаєва ; під ред. проф. Рамазанова С. К. – Луганськ ; Полтава : ПУЕТ, 2009. – 636 с. 4. Рамазанов С. К. Інструменти еколого-економічного управління підприємством : монографія / С. К. Рамазанов. – Донецьк : ТОВ "Юго-Восток, ЛТД", 2008. – 351 с. 5. Інноваційні технології антикризового управління економічними системами : монографія

/ С. К. Рамазанов, Г. О. Надьон, Н. І. Кришталь та ін. ; під ред. проф. Рамазанова С. К. – Луганськ ; К. : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 584 с. 6. Ризики, безпека, кризи і сталий розвиток в економіці: методології, моделі, методи управління та прийняття рішень: монографія / С. К. Рамазанов, О. А. Бурбело, В. В. Вітлінський та ін. ; під заг. ред. проф. Рамазанова С. К. – Луганськ : Вид-во "Ноулідж", 2012. – 948 с. 7. Форрестер Д. Мировая динамика / Д. Форрестер ; пер. с англ. – М. : ООО "Изд-во АСТ" ; СПб. : Terra Fantastica, 2003. – 379 с. 8. Григор'єв В. С. Моделювання багатосекторної еколого-економічної системи / В. С. Григор'єв // Кібернетика і системний аналіз. – 1999. – № 3. – С. 147–157. 9. Колемаев В. А. Экономико-математическое моделирование. Моделирование макроэкономических процессов и систем : учебник / В. А. Колемаев. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 295 с. 10. Красс М. С. Математические методы и модели для магистрантов экономики : учеб. пособ. / М. С. Красс, Б. П. Чупрынов. – СПб. : Питер, 2006. – 346 с. 11. Поносов Д. А. Динамическая коррекция задач управления для экономико-математических моделей : автореф. дис. ... канд. экон. наук. : спец. 08.00.13 "Математические и инструментальные методы экономики" / Д. А. Поносов. – Пермь, 2012. – 24 с. 12. Казиев В. М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем / В. М. Казиев. – М. : ИНТУИТ, 2006. – 248 с. 13. Острем К. Введение в стохастическую теорию управления / К. Острем. – М. : Мир, 1970. – 326 с. 14. Моисеев Н. М. Человек и биосфера: опыт системного анализа и эксперименты с моделями / Н. М. Моисеев, В. В. Александров, А. М. Тарко. – М. : Наука, 1985. – 271 с. 15. Ширяев А. Н. Вероятность. – Т. 1. / А. Н. Ширяев. – М. : Физматлит, 2004. – 234 с. 16. Соловьев В. И. Экономико-математическое моделирование рынка программного обеспечения : монография / В. И. Соловьев; ГУУ. – М. : Вега-Инфо, 2009. – 176 с. 17. Моисеев Н. М. Оптимизация, исследования операций и теория управления : монография / Н. М. Моисеев. – М. : Тайдекс Ко, 2003. – 374 с.

References: 1. Ramazanov S. K. *Sotsio-ekoloho-ekonomichne modeliuвання та upravlinnia tekhnoghennym rehionalnym vyrobnyctvom v umovakh kryzy* [Socio-ecological and economic modelling and management of technogenic regional production in crisis] / S. K. Ramazanov, A. V. Serhiienko *Modeliuвання та informatsiini tekhnologii v doslidzhenni sotsialno-ekonomichnykh system : teoriia i praktyka : monohrafiia* [Modelling and Information technology research in the socio-economic systems: theory and practice : monograph] / pid red. dokt. ekon. nauk prof. V. S. Ponomarenka, dokt. ekon. nauk prof. T. S. Klebanovoi. – Berdiansk, 2014. – P. 199–218. 2. Ramazanov S. K. *Modeliuвання sotsialo-ekoloho-ekonomichnoi dynamiky v nestabilnomu seredovishchi* [Modelling socio-economic dynamics in an unstable environment] / S. K. Ramazanov // *Informatyka ta systemni nauky (ISN 2015)* : mat-ly VI Vseukr. nauk.-prakt. konf. za mizhnarodnoiu uchastiu, (m. Poltava, 19 – 21 bereznia 2015 roku). – Poltava : PUET, 2015. – P. 56–62. 3. Ramazanov S. K. *Neliniini modeli ta analiz skladnykh system : navch. posib.* / S. K. Ramazanov, N. Ye. Rogoza, E. K. Musaieva ; pid. red. prof. Ramazanova S. K. – Luhansk ; Poltava : PUET, 2009. – 636 p. 4. Ramazanov S. K. *Instrumenty ekoloho-ekonomichnoho upravlinnia pidpriemstvom : monohrafiia* [Instruments of eco-economic enterprise management : monograph] / S. K. Ramazanov. – Donetsk : TOV "Yuhu-Vostok, Ltd", 2008. – 351 p. 5. *Innovatsiini tekhnologii antykrizovoho upravlinnia ekonomichnymy systemamy : monohrafiia* [Innovative technologies of crisis management of economies : monograph] / S. K. Ramazanov, H. O. Nadon, N. I. Kryshthal, et al. ; prof. Ramazanova S. K. – Luhansk ; K. : Vyd-vo SNU im. V. Dalia, 2009. – 584 p. 6. *Ryzyky, bezpeka, kryzy i stalyy rozvytok v ekonomitsi: metodologii, modeli, metody upravlinnia ta pryiniattia rishen : monohrafiia* [Risks, safety, crisis and sustainable development of the economy: methodologies, models, methods of management and

decision making : monograph] / S. K. Ramazanov, O. A. Burbelo, V. V. Vitlinskyi et al. ; pid zah. red. prof. Ramazanova S. K. – Luhansk : Vyd-vo "Noulidzh", 2012. – 948 p. 7. Forrester D. *Mirovaya dinamika* / D. Forrester ; per. s angl. – M. : ООО "Изд-во АСТ" ; SPb. : Terra Fantastica, 2003. – 379 p. 8. Hryhoriev V. S. *Modeliuвання bahatosektornoї ekoloho-ekonomichnoi systemy* [Modelling multi-sector environmental and economic systems] / V. S. Hryhoriev // *Kibernetyka i systemnyi analiz.* – 1999. – No. 3. – P. 147–157. 9. Kolemaev V. A. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie. Modelirovanie makroekonomicheskikh protsessov i sistem : ucheb. posob.* / V. A. Kolemaev – M. : UNITI-DANA, 2005. – 295 p. 10. Krass M. S. *Matematicheskie metody i modeli dlya magistrantov ekonomiki : ucheb. posob.* / M. S. Krass, B. P. Chuprynov. – SPb. : Piter, 2006. – 346 p. 11. Ponosov D. A. *Dinamicheskaya korrektsiya zadach upravleniya dlya ekonomiko-matematicheskikh modelei* : avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk : spets. 08.00.13 "Matematicheskie i instrumentalnye metody ekonomiki" / D. A. Ponosov. – Perm, 2012. – 24 p. 12. Kaziev V. M. *Vvedenie v analiz, sintez i modelirovanie sistem* / V. M. Kaziev. – M. : INTUIT, 2006. – 248 p. 13. Ostrem K. *Vvedenie v stokhasticheskuyu teoriyu upravleniya* / K. Ostrem – M. : Mir, 1970. – 326 p. 14. Moiseev N. N. *Chelovek i biosfera: Opyt sistemnogo analiza i eksperimenty s modeliyami* / N. N. Moiseev, V. V. Aleksandrov, A. M. Tarko. – M. : Nauka, 1985. – 271 p. 15. Shiryayev A. N. *Veroyatnost. Vol. 1* / A. N. Shiryayev – M. : Fizmatlit, 2004. – 234 p. 16. Solovov V. I. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie rynka programmnoho obespecheniya : monografiya* [Economic-mathematical modelling of the software market : monograph] / V. I. Solovov ; GUU. – M. : Vega Info, 2009. – 176 p. 17. Moiseev N. N. *Optimizatsiya, issledovanie operatsiy i teoriya upravleniya : monografiya* [Optimization, operations research and management theory : monograph] / N. N. Moiseev. – M. : Taydeks Ko., – 2003. – 374 p.

Інформація про автора

Рамазанов Султан Курбанович – докт. техн. наук, докт. экон. наук, профессор, завідувач кафедри економічної кібернетики Інституту економіки і управління Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля МОН України (просп. Центральний, 59-А, м. Северодонецьк, Луганська обл., Україна, 93406, e-mail: sramazanov@i.ua).

Інформация об авторе

Рамазанов Султан Курбанович – докт. техн. наук, докт. экон. наук, профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики Института экономики и управления Востоку Украины национального университета им. В. Даля МОН Украины (просп. Центральный, 59-А, г. Северодонецк, Луганская обл., Украина, 93406, e-mail: sramazanov@i.ua).

Information about the author

S. Ramazanov – Doctor of Sciences in Engineering, Doctor of Sciences in Economics, Professor, Head of the Department of Economic Cybernetics of the Institute of Economic and Management of Eastern Ukraine National University named after V. Dal of the Ministry of Education of Ukraine (59-A, Tsentralnyi Ave., Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93406, e-mail: sramazanov@i.ua).

Стаття надійшла до ред.
11.05.2016 р.