

ГЕОГРАФІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

УДК (574+502.7)

В. Ю. НЕКОС, д-р геогр. наук, проф., **М. М. ПЕЛИХАТИЙ**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
А. В. ЧУСНКО, м. н. с., **К. І. КУЧЕРОВ**, канд. техн. наук, доц.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

МОДЕЛЮВАННЯ СТАНІВ ТЕРИТОРІЇ

Побудовано математичну модель, яка дозволяє вивчати тенденції і закономірності розвитку територіальної системи. Моделюючий алгоритм являє собою апроксимацію системи кінцево-різницевих рівнянь зі змінними коефіцієнтами, моделює безперервні, взаємозалежні соціальні, екологічні, економічні динамічні процеси. Моделюючий алгоритм зберігає логічну структуру, взаємозв'язок, послідовність протікання основних процесів у часі та характер і склад інформації про розвиток території

Ключові слова: математичне моделювання, розрахункова модель, територіальна система, інформаційні ресурси, ендегенні та екзогенні причини

A mathematical model which allows to study to the tendency and conformity to the law of development of the territorial system is built. A modeling algorithm is approximation of the system of eventual-difference equalizations with variable coefficients, designs continuous, interdependent social, ecological, economic dynamic processes. A modeling algorithm saves a logical structure, intercommunication, sequence of flow line of basic processes in time, and also character and composition of information about development of territory

Key words: mathematical design, computation model, territorial system, informative resources, endogenous and exogenous causes.

Моделюючий алгоритм представляє собою апроксимацію системи кінцево-різницевих рівнянь з перемінними коефіцієнтами, моделює безперервні, взаємозалежні соціальні, екологічні, економічні динамічні процеси. Моделюючий алгоритм зберігає логічну структуру, взаємозв'язок, послідовність протікання основних процесів у часі та характер і склад інформації про розвиток території

Ключевые слова: математическое моделирование, расчетная модель, территориальная система, информационные ресурсы, эндогенные и экзогенные причины

Функціонування і розвиток територіальної соціально-еколого-економічної системи (ТСЕЕС) здійснюється безупинно в часі і просторі. Територія, як складна, відкрита, динамічна система визначається сукупністю різних, взаємодіючих між собою процесів – процесів зміни демографічної ситуації, наповнення і вибуття фондів, вичерпування природних ресурсів, що не відновлюються, забруднення й очищення навколишнього природного середовища, виробництва і споживання продуктів харчування й інтелектуальної продукції, процесів накопичення і розвитку інтегрального інтелекту суспільства та інших. Одним з ефективних підходів до прогнозування станів ТСЕЕС є метод математичного моделювання, за яким

реальна територія замінюється адекватною математичною моделлю, що дозволяє з використанням абстрактних математичних методів, обчислювальних засобів вивчати тенденції і закономірності розвитку територіальної системи. Складність територіальної системи, розмаїтість її внутрішніх і зовнішніх зв'язків, що взаємно перетинаються, взаємодія з факторами соціальної природи, що поглиблюються, і суперечливі відносини з динамічним зовнішнім середовищем – усе це істотно обмежує застосування аналітичних прогнозних моделей, вимагає створення ефективних імітаційних моделей, що відбивають процеси дослідження в менш строго формальній, але змістовно більш адекватній формі. Імітаційні моделі

дозволяють здійснювати чисельні експерименти з метою встановлення характерних рис території, накопичення інформації про різні стратегії, динаміку її соціально-еколого-економічного розвитку. Ступінь правдоподібності отриманих даних визначається ступенем адекватності імітаційної моделі територіальній системі. Для ТСЕЕС статистичні дані про їх функціонування формуються в дискретні моменти часу. Тому доцільно використання дискретних імітаційних моделей, що припускають розбивку прогнозного тимчасового інтервалу на кінцеве число рівних періодів $[t_k, t_{k+1}]$, $k = 0, 1, \dots, T/h - 1$, де T – довжина аналізованого періоду, t_k, t_{k+1} – сусідні моменти часу, h – довжина кроку, як правило, дорівнює одному року. За основу при побудові імітаційної моделі території прийнята світова модель Дж. Форрестера глобальних процесів розвитку [1]. Значним достоїнством моделі світової динаміки є детальне відображення з єдиної системної позиції істотних природних зв'язків між елементами світової системи, за допомогою яких ці елементи впливають один на одного в планетарному масштабі, визначаючи характер історичної динаміки планети. У моделі взаємозалежні населення, капіталовкладення (фонди), географічний простір, природні ресурси, забруднення, виробництво продуктів харчування і т. п. Вони визначають динаміку природних, стихійних змін у світовій системі. Описані в моделі світової динаміки процеси характерні і для кожної відкритої територіальної системи, що є невід'ємною частиною світової системи.

В імітаційній моделі необхідно врахувати три групи умов: мета, що стоїть перед ТСЕЕС на тимчасовому відрізку дослідження; механізм впливу науково-технічного прогресу, інтегрального інтелектуального потенціалу суспільства; початкові умови розвитку. При розробці імітаційної моделі необхідно також враховувати два суперечливих фактори. Перший полягає в тому, що ускладнення моделі призводить до збільшення витрат на створення моделюючого алгоритму, на налаштування імітаційної

моделі, до збільшення часу проведення чисельних експериментів, труднощів інтерпретації одержуваних даних. Це приводить до втрати цінності результатів імітації через швидку втрату ними своєї актуальності. Спрощення моделі може привести до втрати змістовності через неадекватність моделі об'єктові прогнозування.

Для моделювання процесів соціального, економічного, екологічного розвитку території в якості змінних її стану обрані [2, 3]:

$y_1(t)$ – поточна чисельність населення, що фактично проживає в межах даної території;

$y_2(t)$ – оцінка природних ресурсів території. Як умовну одиницю виміру природних ресурсів прийнято їх обсяг, що приходить на душу населення території на початок прогнозного періоду в пропозиції достатності їхнього використання в плані двохсот років;

$y_3(t)$ – інтегральна оцінка накопиченої маси матеріальної складової продуктивних сил території, обумовлена сумарним обсягом наявних фондів. Як одиницю фондів прийнятий їх обсяг у розрахунку на одного мешканця території в опорному 1970 році;

$y_4(t)$ – величина забруднення природного середовища (в тому числі й радіаційного) території за рахунок промислових, побутових відходів. За одиницю забруднення прийнято сукупний обсяг забруднень природного середовища, що приходить на одного жителя території в опорному році.

$y_5(t)$ – відносна частина фондів, що використовується у сільському господарстві території;

$y_6(t)$ – інтегральна оцінка накопиченої маси інтелектуальної складової продуктивних сил території, обумовлена сумарним обсягом інформаційних ресурсів, доступних жителям території, що ототожнюється з інтегральною оцінкою інтелекту територіальної системи. Величина $y_6(t)$ залежить від рівня і темпів розвитку науки (накопичення інформаційних ресурсів, рівнем і темпами розвитку утворення (розширення інформаційних ресурсів серед населення території), рівнем і темпами розвитку

інформатики, що створює умови для обміну інформаційними ресурсами, для використання інформаційних ресурсів менеджерським персоналом території при виробленні і реалізації ефективних управлінських впливів на хід розвитку території.

$y_7(t)$ – відносна частина інтегрального інтелекту території, що використовується в її сільськогосподарській сфері.

$y_8(t)$ – економічний потенціал території, обумовлений обсягом виробництва реального валового внутрішнього продукту при повній зайнятості ресурсів (робоча сила, фонди, інтегральний інтелект). Довгостроковий аспект динаміки економічного потенціалу території визначає тренд її історичної динаміки, що задається виробничою функцією:

$$y_8(t) = f(y_3(t), y_6(t), L(t)), \quad (1)$$

де $L(t)$ – поточний загальний обсяг зайнятих з робочої сили, обумовлений чисельністю населення $y_1(t)$, його структурою, динамікою, економічною активністю.

При відомій залежності f рівень економічного потенціалу визначається чисельними значеннями змінних стану $y_1(t)$, $y_3(t)$, $y_6(t)$ території.

$$y_8(t_{k+1}) = y_8(t_k) + \mu_8(t_k) \cdot y_8(t_k)$$

$$\mu_8(t_k) = \alpha(t_k) \cdot \mu_L(t_k) + \beta(t_k) \cdot \mu_3(t_k) + \gamma(t_k) \cdot \mu_6(t_k) \quad (2)$$

де $\mu_L(t_k)$ – темп зміни числа зайнятих з робочої сили, $\mu_3(t_k)$ – темп зміни фондів, $\mu_6(t_k)$ – темп зміни інтегрального інтелекту суспільства, $\alpha(t_k)$, $\beta(t_k)$, $\gamma(t_k)$ – поточні значення коефіцієнтів еластичності виробничої функції (3.4). Припускаючи, що обсяг зайнятих з робочої сили $L(t)$ складає постійну частину kL від $y_1(t)$, одержують їх однакову динаміку, при якій $\mu_L(t) = \mu_1(t)$ – темпові зміни чисельності населення території. Коефіцієнти еластичності визначаються співвідношеннями:

$$\alpha(t_k) = \frac{y_1(t)}{y_8(t)} \mu_1(t),$$

$$\beta(t_k) = \frac{y_3(t)}{y_8(t)} \mu_3(t), \quad \gamma(t_k) = \frac{y_6(t)}{y_8(t)} \mu_6(t) \quad (3)$$

де $\mu_1(t)$ – граничний продукт робочої сили, $\mu_3(t)$ – робочої сили, $\mu_6(t)$ – інтегрального інтелекту суспільства.

Для опису відкритої території розрахунковою замкнутою моделлю системної динаміки пропонується всі причини, що викликають взаємодію території з зовнішнім середовищем розбити на дві групи: ендегенні та екзогенні причини. До першої групи відносяться всі ті причини, що формуються усередині території. До другої групи – усі ті причини, що формуються поза територією. Оскільки перша група причин є результатом внутрішніх процесів розвитку території, то їх можна врахувати в моделі, не розглядаючи наявності активного зовнішнього середовища. Вплив причин другої групи моделюється, як збуджуючі впливи на параметри розрахункової моделі.

З урахуванням відзначених обставин зміна природних ресурсів в умовах відкритості території не суперечить формальній схемі їх зміни у світовій моделі і може бути описано формальними методами системної динаміки.

При дослідженні процесів забруднення природного середовища території передбачається, що кожна територія створює екологічно чисте навколишнє природне середовище не за рахунок забруднення інших територій, а за рахунок проведення власних активних очисних заходів. Ця передумова є наслідком нездатності ТСЕЕС оцінити рівень шкідливих наслідків для своєї території забруднення нею інших територій. Об'єднані зусилля територій по проведенню спільних очисних заходів можуть бути описані, як процеси експорту й імпорту ресурсів і продуктів.

Зміна вектора стану $\vec{y}(t) = (y_1(t), \dots, y_8(t))$ території визначається системою звичайно – різницевих рівнянь, приведених у компактній формі

$$y(t_{k+1}) = y(t_k) + h \cdot B(x(t_k), y(t_k)) \cdot e, \quad (4)$$

з початковими умовами $y(t_0) = y_0$, де $e = (1, 1, \dots, 1)$, h – довжина кроку, яка дорівнює, як правило, одному року, t_k, t_{k+1} – сусідні моменти часу, B – діагностична матриця темпів приросту змінних стану, $x(t_k)$ – вектор змінних параметрів динамічної моделі території, що задаються нелінійними векторними залежностями

$$x(t) = \varphi(f_j(x(t), F_i(x_H), k_p)) \quad (5)$$

в яких k_p, x_H – постійні параметри динамічної моделі, що настроюються, $f_j(x)$ – безперервні нелінійні функції, що відбивають об'єктивно залежності (причинно-наслідкові зв'язки) між реальними параметрами територіальної системи, $F_i(x_H)$ – логічні функції, використовуються як тимчасові перемикачі для екзогенної зміни характеру варіації x_H за якісних змін умов протікання процесів, що моделюються. Матриця $B(t)$ містить наступні діагональні елементи

$$B_{11}(t) = x_1(t) - x_8(t), \quad (6)$$

де $x_1(t)$ темп прибуття, а $x_8(t)$ – темп вибуття чисельності населення, що проживає на території в момент часу t , $x_2(t)$ – матеріальний рівень життя населення, пропорційний $x_3(t)$ – числу одиниць ефективних фондів, що безпосередньо підвищують рівень життя, на душу населення території, $x_{21}(t)$ – інтелектуальний рівень життя населення, пропорційний $x_{22}(t)$ – кількості одиниць ефективних інтелектуальних ресурсів, що безпосередньо підвищують рівень життя на душу населення, $x_6(t)$ – відносна щільність населення, обумовлена фактичною щільністю населення, що проживає на території в момент часу t ,

до нормальної щільності, рівної відношенню нормальної чисельності населення до площі території. Нормальна чисельність дорівнює чисельності населення, якому наявні продуктивні сили території здатні в середньому забезпечити нормальний рівень якості життя, що відповідає сформованим європейським стандартам, $x_7(t)$ – поточне відносне забруднення, обумовлене відношенням поточного фактичного забруднення території промисловими і побутовими відходами до прийнятого стандартного забруднення, що визначає припустимі границі збереження гомеостазису території, $x_9(t)$ – поточний відносний рівень харчування населення. Множники f_1, f_7 визначають функціональні залежності темпу прибуття (f_1), темпу вибуття (f_7) чисельності населення від відносного рівня продуктивних сил території (x_{25}), множники f_6, f_8 визначають функціональні залежності темпу прибуття (f_6), темпу вибуття (f_8) чисельності населення від відносного рівня забруднення території (x_7) множники f_5, f_9 визначають функціональні залежності темпу прибуття (f_5), темпу вибуття (f_9) чисельності населення від відносного рівня харчування (x_9), множники f_4, f_{10} визначають функціональні залежності темпу прибуття (f_4), темпу вибуття (f_{10}) чисельності населення від відносної щільності населення (x_6). Множники F_1, F_2 визначають екзогенні змінні нормального темпу прибуття (F_1), нормального темпу вибуття чисельності населення на розглянутому тимчасовому інтервалі.

$$B_{22}(t) = -x_{14}(t) = -F_6(x_{14H}) \cdot f_3(x_{27}(t)) \quad (7)$$

де $x_{14}(t)$ – поточний темп використання природних ресурсів території, $x_{27}(t)$ – структурний параметр ефективних продуктивних сил на душу населення,

обумовлений відношенням матеріального (x_2) й інтелектуального рівнів життя населення території.

$$B_{33}(t) = x_{10}(t) - x_{11}(t), \quad (8)$$

де $x_{10}(t)$ – поточний темп прибуття фондів $x_{11}(t)$ – поточний темп їх вибуття.

$$B_{44}(t) = x_{15}(t) - x_{16}(t), \quad (9)$$

де $x_{15}(t)$ – поточний темп утворення забруднення природного середовища території за рахунок промислових і побутових відходів, $x_{16}(t)$ – поточний темп розкладання забруднень. Вирази $x_{15}(t)$, $x_{16}(t)$ приведені в [3], де множник f_{15} визначає функціональну залежність темпу утворення забруднень від фондоозброєності, (x_{27}) одиниці інтелекту, множник f_{16} визначає функціональну залежність часу розкладання забруднень від відносного забруднення території (x_7). Множник F_7 визначає екзогенну змінну нормального забруднення території на розглянутому тимчасовому інтервалі.

$$B_{55}(t) = k_8 \cdot [f_{17}(x_9(t)) \cdot f_{18}(x_{13}(t)) - y_5(t)], \quad (10)$$

де k_8 постійний множник, а вирази для $x_9(t)$, $x_{13}(t)$ приведені у [3]. Змінна $x_{12}(t)$ задає відносну величину фондів у сільському господарстві, обумовлену кількістю фондів аграрного сектора на душу населення, змінна $x_2(t)$ задає відносну величину інтелекту в сільському господарстві на душу населення. Множники f_{11} , f_{13} визначають функціональну залежність виробництва продуктів харчування від відносної щільності (x_6) населення території (f_{11}) від відносного забруднення (x_7) території (f_{13}). Множники f_{12} , f_{26} визначають залежність харчового потенціалу аграрного сектора від відносної величини фондів (x_{12}), інтелекту (x_{24}),

здіяних у сільському господарстві території. Множник F_3 визначає екзогенну змінну нормального рівня харчування населення на розглянутому тимчасовому інтервалі. Змінна $x_{17}(t)$ характеризує якість життя населення, використовується як інтегрована оцінка функціонування територіальної системи. Вирази для $x_{17}(t)$ приведено в [3], де множник k_9 задає стандартну якість життя, обумовлену умовами життя населення території в опорному році. Множники f_{19} , f_{20} , f_{21} , f_{22} визначають функціональну залежність якості життя населення від матеріального рівня життя x_2 , від відносної щільності населення (x_6), від відносного рівня харчування (x_9), від відносного забруднення (x_7). Множники f_{17} , f_{18} визначають залежність приросту відносної частини фондів у сільському господарстві від рівня харчування (x_9), від відношення (x_{13}) множників f_{19} , f_{21} .

$$B_{66}(t) = x_{19}(t) - x_{20}(t), \quad (11)$$

де $x_{19}(t)$ – поточний темп накопичення, $x_{20}(t)$ – втрат інтегрального інтелекту суспільства. Вирази для $x_{19}(t)$, $x_{20}(t)$ приведені [3], де множник f_{24} визначає функціональну залежність темпу нагромадження інтелекту від відносного рівня розвитку продуктивних сил x_{25} . Множники F_8 , F_9 визначають екзогенні змінні нормального темпу накопичення (F_8), вибуття (F_9) інтегрального інтелекту суспільства на часовому інтервалі.

$$B_{77}(t) = k_{11} \cdot [f_{14}(x_9(t)) \cdot f_{18}(x_{13}) - y_7(t)] \quad (12)$$

де множник k_{11} є параметром, що настраюється, f_{14} , f_{18} визначають

функціональну залежність приросту відносної частини інтелекту в сільському господарстві від рівня харчування (x_9), від відношення (x_{13}) множників f_{19}, f_{21} .

$$B_{88}(t) = [\alpha(t) \cdot \mu_1(t) + \beta(t) \cdot \mu_3(t) + \chi(t) \cdot \mu_6(t)] \cdot y_8(t) \quad (13)$$

де коефіцієнти еластичності α, β, χ визначаються співвідношеннями (2), а μ_1, μ_3, μ_6 знаходяться на кожному кроку як і темпи зміни змінних станів y_1, y_3, y_6 територіальної системи. При цьому $\mu_1(t)$ визначає темп зміни чисельності активного населення. Зростання населення є однією з причин безперервного економічного росту. $\mu_3(t)$ визначає динамічні зміни матеріальної складової продуктивних сил території під впливом інвестицій, вибуття фондів, процесів взаємодії з іншими територіями. $\mu_6(t)$ визначає динамічні зміни інтелектуальної складової продуктивних сил під впливом технічного і технологічного прогресу в сферах виробництва, споживання, керування на основі інвестицій в науку, духовну сферу, під впливом вибуття інформаційних ресурсів в силу їх фізичного і морального зносу, процесів інформаційної взаємодії з об'єктами зовнішнього середовища.

З метою імітації динамічних процесів у територіальній системі, машинної реалізації динамічної моделі, що розроблена, остання перетворена в моделюючий алгоритм. Цей алгоритм являє собою апроксимацію системи кінцево-різницевого рівня з змінними коефіцієнтами, що моделює безперервні, взаємозалежні соціальні, екологічні, економічні динамічні процеси. Моделюючий алгоритм зберігає логічну

структуру, взаємозв'язок, послідовність протікання основних процесів у часі, характер, склад інформації про розвиток території. Він задає правила розгортання в часі квазіпаралельних процесів функціонування окремих структурних елементів, території в цілому. У межах кожного інтервалу $[t_k, t_{k+1}]$ послідовно обчислюються збільшення всіх змінних стану, а також здійснюється, якщо це потрібно, автоматично з використанням тимчасових перемикачів F_3 зміна параметрів окремих підсистем імітаційної моделі. Адекватність імітаційної моделі і території дослідження досягається шляхом налаштування параметрів окремих підсистем моделі, вибору відповідного режиму їхньої взаємодії на розглянутому тимчасовому інтервалі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пелихатый Н. М. Влияние гамма и нейтронного облучения на параметры пассивных элементов интегральных схем / Н. М. Пелихатый, Н. И. Коваленко, Т. С. Плахтий, А. К. Гнап // Вісник Харківського державного університету № 440. – Серія Фізична „Ядра, частинки, поля”. – 1999. – Вип. 3. – С. 155–160.
2. Пелихатый М. М. Нелінійні явища в металах і напівпровідниках при опроміненні високоенергетичними частинками / Н. М. Пелихатый // Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Х., 2000. – С. 84.
3. Пелихатый Н. М. Нелинейности электронно-дырочных структур облученных нейтронами и гамма-квантами / Н. М. Пелихатый // “Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна № 476”. – Серія Фізична „Ядра, частинки, поля”. – 2000. – Вип. 4. – С. 191–196.

Надійшла до редколегії 07.07.2009

© Некос В. Ю., Пелихатый М. М.,
Чуєнко А. В., Кучеров К. І., 2009