

УДК 519.713: 631.411.6

Т.В. Козуля

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У КОРПОРАТИВНІЙ ЕКОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

Вступ: актуальність роботи і зв'язок з науково-практичними задачами

Математичне моделювання в екології має свою специфіку і труднощі, пов'язані з вибором об'єктів моделювання, з великим обсягом задач, які розв'язуються у даній галузі. Частіше маємо справу з моделями на основі диференціальних рівнянь. Принцип побудови таких моделей пов'язаний з визначенням напівемпіричних закономірностей, аналогій і правдоподібних висновків, гіпотез.

В залежності від мети моделювання можна виділити два основні типи моделей: описові і моделі поведінки (Страшкраба, Гнаук, 1989).

У системі екологічного моніторингу розглядають статичні методи, які не враховують час як змінну. Вони включають просту і множинну лінійну і нелінійну кореляцію та регресію; дисперсійний, дискримінантний і факторний види аналізу; метод оцінки параметрів. Саме ці методи застосовані в роботі для аналізу функціонування локальної корпоративної екологічної системи, де основним об'єктом дослідження є ґрунт.

Динамічні методи враховують часову змінну і застосовують під час розробки моделей аналіз Фур'є, кореляційний і спектральний аналіз, вагові і пердатні функції. Здебільшого такі моделі являють собою регресійні та інші кількісні залежності, які не викривають механізм процесу.

При формуванні моделі поведінки важливим є визначення структури сигналів на вході і виході системи; реакції системи на особливі умови; внутрішньої структури системи. Такий підхід дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки в екологічній чи будь-якій іншій системі на основі диференціальних рівнянь завдяки *сформованій концепції моделі і складених рівнянь, що відображують поведінку системи.*

За ствердженням Р. Шенона (1978), будь-яка матеріальна система є сукупністю об'єктів, що об'єднані формою (структурою) регулятивної взаємодії або взаємозалежності для її функціонування.

У науковій літературі достатньо наведено матеріалу теоретичного плану, який стосується проблем створення складних систем для прийняття управлінського рішення з метою гармонізації взаємодії системи «природа – суспільство». Запропоновано усю різноманітність світу зобразити у вигляді трьох ієрархій – природна чи фізико-біологічна, соціальна і технічна ієрархії. Об'єднання підсистем із різних ієрархій призводить до формування змішаного класу систем – еколого-антропогенних або еколого-еко-

номічних. Недоліком цих систем є те, що людина не враховується як обов'язковий складовий елемент, а їй надається роль особи, що приймає рішення (ОПР).

Рациональне природокористування спрямоване на забезпечення, в першу чергу, і переважно, ефективного та необмеженого тривалого використання природних компонентів таким чином, щоб природний комплекс не втратив здатності до реалізації своїх функцій: 1) оптимальне функціонування систем життєзабезпечення за рахунок фундаментальних екологічних процесів; 2) підтримка ємності (техно- і природо-) і буферності природних екосистем; 3) самовідновлення і збереження генофонду (маючи на увазі і людину, як біологічної складової планети) [1].

Основа еколого-економічного підходу, концепції управління якістю навколишнього середовища по суті є антропоцентричною. Інтереси інших живих істот за межами суспільства людини не відіграють ніякої ролі, навіть емпіричної. Стан суспільства є оптимальним, коли відсутня можливість зміни цього стану, при якому хоча б один його член вигравав від цієї зміни, а ніхто не програвав, згідно з критерієм Парето – оптимальності [2]. Взагалі, у формуванні нормативної частини такого підходу є необхідним компонентом економічна наука, яка виступає інструментом критичного аналізу прийняття рішення і зважування його зі станом суспільства.

Подивимося на дану проблему з точки зору екології як науки про співвідношення і стан живих організмів, включаючи людину як елемент соціальної системи. Тоді доцільно ввести глобальну корпоративну екологічну систему (КЕС) як сукупність екологічної, економічної і соціальної систем. Прийняття управлінського рішення щодо вирішення екологічних проблем необхідно перенести зі сфери функціонування еколого-економічних систем і дії критеріїв оптимізації мікро- і макроекономічних систем в нову систему – корпоративну екологічну систему (КЕС), і запровадити новий критерій оптимізації – екологічний компаратор. Він стане новим у структурі процесів прийняття і оптимізації управлінських рішень, виступаючи як корпоративне утворення, оскільки його основою буде комплекс термодинамічних показників, що контролюватимуть оптимальність функціонування живої і неживої складових природних екосистем, рівноваги техніко-економічної системи і соціальної, включаючи людину як біоелемент. Це дозво-

литель оптимізувати чи підтримувати на певному рівні оптимального функціонування, близького до нормативного стану КЕС, маючи на увазі протікання фізичних, хімічних і біологічних процесів у системі та в її окремих складових. Основою *реалізації концепції КЕС* є постійне функціонування системи глобального і регіонального моніторингу, зокрема екологічного моніторингу.

Найкращою системою екологічного управління вважається така система, яка надає переваги властивостям самопідтримки природних якостей (принцип обережного втручання) [3]. Такий підхід зважає на гармонізацію екологічних систем і процесів у них самих.

Слід зазначити, що на функціонування як екологічної, так і економічної систем значною мірою впливатиме соціальна система, де важливим є стан самої людини, як частини суспільства, так і як біологічний організм. Таким чином, актуальним і необхідним на даний момент є розробка нової концепції вирішення екологічних проблем на глобальному рівні в сучасних умовах.

Мета і задачі дослідження

Метою дослідження щодо гармонізації сталого рівноважного розвитку екологічної, соціальної і економічної систем є впровадження концепції корпоративної екологічної системи [4, 5] і визначення за її допомогою екологічного стану дослідженої території на основі даних екологічного моніторингу і впровадження термодинамічних засад під час аналізу вхідних даних. У ході теоретичного аналізу і вибору методу математичної обробки інформації щодо досягнення визначеної мети поставлено і розв'язано такі задачі:

1) обґрунтування структури корпоративної системи для екологічного моніторингу, яка буде екологічною, оскільки у вирішенні будь-яких питань пріоритетним є екологічні питання;

2) застосування корпоративної системи на мікрорівні використання термодинамічних показників, а саме, ентропійної основи для прийняття рішення в системі екологічного моніторингу.

Матеріали досліджень і наукові результати

В екології для аналізу системи прийнято спочатку розглядати елементарну структурну одиницю, яка є об'єктом дослідження. Необхідною умовою побудови структурної одиниці є те, щоб вона зберігала усі властивості системи. Якщо брати природні екосистеми, то такою одиницею виступає біогеоценоз.

З урахуванням техногенної діяльності людини, тобто існування техносфери, змінюється об'єкт дослідження і, відповідно, елементарна структурна одиниця. У літературі [6] пропонується вважати за таку одиницю нообіогеоценоз. Це складна система за своєю структурою. Основою взаємодії системи «сус-

пільство-природа» є суспільне виробництво, усі абстрактні моменти якого входять у склад нообіогеоценозу. Основним процесом, що визначає функціонування нообіогеоценозу, як елементарної частини системи «суспільство – природа», є процес праці. Тому під час дослідження взаємодії компонентів системи «суспільство-природа» найбільшу увагу приділяють технологічним процесам і тим змінам, які вони викликають у природному середовищі.

Запропонована корпоративна екологічна система (КЕС) має більш спрощену структуру, оскільки мікроелементи не приймаються до уваги як складові при вирішенні питань оптимізації, урегулювання стану системи взагалі. Екологічна корпоративна система дозволяє абстрагуватися від тонкої структури системи і вважати відхиленням від норми будь-які порушення у будь-якому елементі, що визначається і враховується в аналізі екологічного стану через термодинамічні параметри. Такий підхід дозволяє вирішувати питання екологічного спрямування на глобальному макрорівні, а також на мікрорівні для розв'язання задач локального характеру (рис. 1).

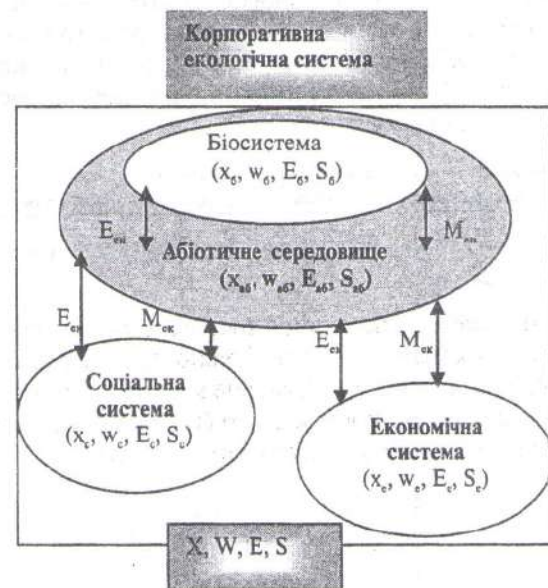


Рис. 1. Структура корпоративної екологічної структури

Таким чином, існуючий підхід до структуризації відносин «людина-природа», «економіка-природа», який має за основу досліджень ієрархічну підпорядковану модель (природно-промислова система), замінено на корпоративний підхід щодо визначення відносин між природною, екологічною, соціальною і економічною системами.

Для однозначного визначення екологічного стану навколишнього середовища як комплексу природних, соціальних і економічних систем, оптимального узгодження функціонування природних систем

і соціально-економічної діяльності доцільним є впровадження в систему екологічного моніторингу не ієрархічної, а корпоративної цілісної системи.

Саме така система матиме три рівноцінні і взаємопов'язані складові, стан яких можна однозначно визначити за одним комплексним критерієм, який відповідає за склад будь-якої складової КЕС (x), її структуру (w), енергетичний та ентропійний стан (E, S). Особливість і науково-теоретична новизна введення такого критерію полягає в тому, що він однаково визначає стан корпоративної системи в цілому і її складових окремо, враховуючи основи термодинаміки для замкнутої системи до якої можна віднести КЕС, в якій існує термодинамічний ендогенний потік енергії та речовини ($E_{ен}, M_{ен}$) і екзогенний між її складовими ($E_{ек}, M_{ек}$).

КЕС дозволяє вирішувати питання стійкого рівноважного розвитку як спрямованої, незворотної й закономірної зміни екологічної (природної), соціальної й економічної підсистем, виходячи з особливостей їхньої структури, властивостей і забезпечуючи цілісний розвиток. При цьому для КЕС екологічні проблеми є пріоритетними, оскільки саме природна складова забезпечує основу розвитку двох інших підсистем корпоративної системи. Для особи, що приймає рішення й забезпечує сприятливий соціальний і економічний розвиток суспільства, КЕС можна подати у вигляді матриці пріоритетів [7], виходячи з оцінки першочерговості вирішуваних проблем:

рівноважний соціально-економічний розвиток	екологічна підсистема C_1	економічна підсистема C_2	соціальна підсистема C_3
C_1	1	2	3
C_2	1/2	1	3/2
C_3	1/3	2/3	1

Для відбиття пропорційності переваг і погодженості для зазначеної матриці рівноважного розвитку КЕС знайдемо максимальне або головне власне значення, індекс погодженості (ІП) як відношення погодженості (ВП) і вектора пріоритетів:

$$\begin{pmatrix} 6 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix} : 3 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0,6 \end{pmatrix} : 3,6 = \begin{pmatrix} 0,555 \\ 0,278 \\ 0,167 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma = 3,6$$

Оскільки $\lambda_{\max} = 2$, то $ІП = 0,5$, $ВП = 0,58$, при цьому, чим ближче значення λ_{\max} до n , тим більше погоджений результат, величина випадкового індексу $VI = ІП/ВП = 0,86$. Відповідно до отриманих даних, найбільш пріоритетними для даної корпоративної системи є екологічні питання, а важливою підсистемою КЕС виступає екологічна або природна складова (вага 0,555).

Ідея застосування основ термодинаміки в області робіт з оптимізації управлінського рішення в системі екологічного моніторингу об'єктивно обумовлена ходом дослідження – введення КЕС як:

– необхідної моделі реалізації взаємодії між складними динамічними системами: природною екологічною, соціальною і економічною;

– оптимізації управлінського рішення щодо КЕС з метою гармонізації зв'язків природної і соціально-економічної систем та їх сталого рівноважного розвитку;

– основи ідентифікації і оцінки нормованого рівноважного розвитку КЕС і її складових завдяки впровадженню корпоративного підходу для вирішення екологічних питань мікрорівня.

Оскільки КЕС безпосередньо пов'язана з системним аналізом, то вирішення поставлених задач пов'язано з математичним описом складних об'єктів. Отримані ж таким чином результати є підставою для синтезу прогностичної інформації про функціонування КЕС.

У декількох роботах [8, 9] приділяється увага розгляду питань регулювання складних систем і створення структур банку інформації. У цих роботах вказується на необхідність міждисциплінарного підходу до вивчення подібних складових систем, як глобальної природно-соціально-економічної, але під час розгляду конкретних питань все зводиться до еколого-економічної системи і розчленування її на окремі складові з використанням при вирішенні питання прийняття управлінського рішення антропоцентризму. При цьому розчленування і багаторівневий розгляд може відповідати природній ієрархічній організації об'єктів реального світу, маючи при цьому в загальному вигляді умовний методологічний характер, який добре виражає принцип ідентифікації Лейбніца. За цим принципом системи при зображенні поділяються на частини, і всі елементи, що входять у таку частину, не можна розрізнити на рівні абстракції, тоді така частина розглядається як система зі своєю особистою структурою. Саме такими частинами в КЕС є екологічна, соціальна і економічна системи. Не зважаючи на особливості їх складу і структури, вважаємо, що для вирішення проблемного питання екології – збереження всього живого і захист людини, вони мають знаходитися в оптимально-нормованому стані, а рішення з регулювання їх взаємодії $F(U)$ контролюватиметься мінімумом $F(X, W, E, S)$. Самі ж системи за складом, структурою і адаптаційними можливостями як живої, так і абіотичної складової характеризуватимуться у будь-якому проміжку часу параметрами X, W, E і S . Останні, а саме E, S є термодинамічними функціями, що є доцільним у даному підході вирішення мети дослідження, оскільки саме за допомогою термодинамічних показників можна прогнозувати стан будь-якої фізико-хімічної системи, до якої відноситься і КЕС. Перші складові X, W відповідають за вигляд системи: X – склад, W – структура.

Таким чином, КЕС – це складний, унікальний об'єкт, експеримент, з яким у прямому розумінні

цього слова неможливий. У реальних системах усі перелічені параметри розподілені за певним заданим станом системи і їх зміни визначені у часі в результаті переходу елементів із одного стану в інший. Зміни стану $F(X, W, E, S)$ учасі називається процесом. Оскільки цими змінами можна керувати, то такі процеси прийнято описувати шляхом показу закономірностей переходу від попереднього стану $F(X_i, W_i, E_i, S_i)$ до наступного $F(X_{i+1}, W_{i+1}, E_{i+1}, S_{i+1})$ на кожному кроці в залежності від управляючого впливу, який характеризується функцією $F(U)$ або деяким вектором $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ (набір управляючих параметрів), або в загальному випадку елементом множини U_0 , що називається множиною управління.

На перехід із одного стану системи в інший можуть впливати інші фактори, що не піддаються управлінню і суворому врахуванню. Вони характеризуються також як стан і управління деяким вектором чи елементом множини іншої природи, що називають збуренням $v(i)$.

Математична модель процесу управління для нашої КЕС являє собою рівняння, що зв'язує майбутній стан системи з попереднім, управлінням і збуренням:

$$F(X_{i+1}, W_{i+1}, E_{i+1}, S_{i+1}) = f(\{t(i)\}, \{u(i)\}, \{v(i)\}). \quad (1)$$

Фактори, що не враховуються при визначенні X, W, E і S для КЕС в даний момент часу є несуттєвими і в математичній моделі їх можна не включати. Тоді рівняння (1) описує процес з повною інформацією. У цьому випадку процес повністю визначається, якщо задано початковий стан $F(X_0, W_0, E_0, S_0)$, управління на кожному кроці. В іншому разі має місце процес з неповною інформацією. Зміна стану КЕС у часі за умов визначення початкового стану, управління і збурення називають реалізацією процесу управління при заданому збуренні. При функціонуванні КЕС під збуренням вважаються потоки речовини, енергії і інформації екзогенного характеру, що змінюють взагалі стан $F(X, W, E, S)$. У подальшому під терміном «процес» розуміється математична модель реального процесу.

Усі процеси в КЕС є процесами, в яких наступний стан залежить тільки від попереднього стану, управління і, можливо, неврахованих факторів:

$$F(X_{i+1}, W_{i+1}, E_{i+1}, S_{i+1}) = f(\{t(i)\}, \{X(i)\}, \{W(i)\}, \{U(i)\}, \{v(i)\}). \quad (2)$$

Ці процеси називають процесами без наслідків, чи марківськими процесами. Швидкість зміни стану приблизно з будь-якою точністю дорівнює зміні стану, віднесеного до відповідної зміни часу, якщо останнє достатньо максимальне.

При $t(i+1) - t(i) \rightarrow 0$ маємо:

$$\dot{X}(i) \approx \frac{X(i+1) - X(i)}{t(i+1) - t(i)} \{W(i+1) - W(i)\}. \quad (3)$$

Аналогом для рівняння (2) буде рівняння вигляду:

$$\dot{F}_{X,W,E,S} = f(t, X(t), W(t), U(t), V(t)), \quad (4)$$

яке називають диференціальним рівнянням з управлінням і збуренням.

Безперервним аналогом рівняння (1) може бути рівняння з відхиленням аргументом:

$$\dot{F}_{X,W,E,S} = f(\{t-t_q\}, \{X(t-t_q)\}, \{W(t-t_q)\}, \{U(t-t_q)\}, \{V(t-t_q)\}), \quad (5)$$

де $q = 1, 2, \dots, t_0 = 0$.

На стан $F(X, W, E, S)$ і управління $F(U)$ можуть бути використані додаткові обмеження, що визначаються реальними умовами, в яких протікає процес. У моделі це досягається шляхом задання деякої множини X, W, E і S , яким належить x, w, e і s , і множини U , із якої можна вибрати управління u .

Стан КЕС відображається не кінцевим набором показників, а їх безперервним розподілом. Розподіл температури, вологості і концентрацій речовин і хімічних елементів по поверхні ґрунту подібно до розподілу енергії, ентропії, речовини по всій КЕС і її складових відображається як дифузія і перенесення (міграція). Цьому відповідають рівняння в частинних похідних:

$$\frac{\partial F_{X,W,E,S}}{\partial t} = f(t, X(t, z), W(t, z), E(t, z), S(t, z), U(t, z)), \quad (6)$$

де z – просторова змінна (параметр розподілу); $f(\cdot)$ – якийсь диференціальний оператор.

Такий підхід щодо опису КЕС є природним, оскільки і складові, і їх компоненти, і елементи – це реальні об'єкти, що відносяться до категорії складних, розподілених у просторі. Більшість моделей, існуючих на цей час, мають вигляд скупчених моделей звичайних рівнянь, оскільки природні спостереження мають дискретний характер.

Якщо виходити із основ запропонованої корпоративної системи, тоді екологічна оцінка локальної рівноваги у природних системах має бути безпосередньо пов'язана з аналізом взаємозв'язку потоків речовини з економічною системою (чи в разі мікрорівня це викиди і скиди в навколишнє середовище), а також станом здоров'я населення. Відомо, що ґрунт як об'єкт природних екосистем є центральною і найбільш складною частиною. Саме у ґрунті концентруються усі потоки речовини і енергії, які перерозподіляються між усіма іншими складовими системами, і де відбувається формування їх подальшого руху в економічну і соціальну системи. Ґрунт виступає своєрідним депо усіх потоків речовини,

зокрема забруднювачів, що впливає на рівновагу у соціальній системі.

Розглянемо, яким чином реалізуються на практиці термодинамічні підходи щодо визначення загального стану системи за даними окремих локальних процесів і явищ, які відбуваються у системі, та формується управлінське рішення при застосуванні корпоративного підходу при визначенні загальної оцінки стану дослідженої території. Для цього використано статистичні дані екологічного моніторингу ґрунтів, зразки яких були відібрані з періодичністю весна–осінь, за період з 1994 р. по 2004 р., що знаходяться під техногенним впливом Зміївської ДРЕС (Харківська обл.) і в техногенно-навантаженому районі м. Харкова. (Для прикладу взято середні чисельні значення вмісту важких металів у ґрунтах для осіннього і весняного періоду на території Зміївського району і м. Харкова, зразки яких відбиралися з 6 і 5, відповідно, постійних точок спостереження і 16 контрольних протягом 1994 – 2004 рр., що склало з урахуванням паралельного аналізу близько 400 зразків і 10800 елемент-визначень) [10].

Згідно з даними РФА у складі ґрунтів визначено на якісному рівні такі хімічні сполуки малорозчинного і нерозчинного характеру: $Zn_2V_2O_7$, $Zn_3(VO_4)_2$, $Zn(VO_3)_2$, $Pb(VO_3)_2$, $4PbOxV_2O_5$, $Pb_3(VO_4)_2$, $PbCrO_4$, $PbCr_2O_7$, $SrCrO_4$, $SrCr_2O_7$, $Sr(VO_3)_2$, $Ni_2V_2O_7$. Таким чином, важкі метали, потрапляючи у ґрунт у вигляді оксидів, сульфідів, елементної форми, завдяки трансформації у ґрунтового розчині знаходяться в іонній формі: Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , CrO_4^{2-} , $Cr_2O_7^{2-}$, VO_3^- , $V_2O_7^{4-}$, VO_4^{3-} . Аніогени, як видно із перелічених сполук за даними РФА, утворюють оксидовміщуючі кислотні залишки, що здатні поєднуватися з катіонами металів і утворювати нерозчинні солі. Саме ці речовини хіміко-трансформаційного потоку акумулюються у ґрунтах і зменшують міграційні здатності відповідних техногенних елементів. На розповсюдження забруднювачів також значно впливає макросклад ґрунтів, що сприяє затриманню катіоногенів, оскільки частинки ґрунту мають від'ємний заряд. Структура і співвідношення макроречовин створюють певне рН-середовище, що регулює міграційні здатності поліютантів. Найбільшу увагу під час аналізу макроскладу ґрунту приділяють співвідношенню Al_2O_3/SiO_2 і наявності оксидів K, Ca і Mg, що створюють основні умови, які збільшують міграційні здатності таких токсичних аніогенів як Cr (VI), V (V) і As(V), а також Mo і W. Значний вміст SiO_2 і наявність у ґрунтового розчині сульфат-, хлорид – іонів є умовою підкислення ґрунту, що призводить до збільшення міграційних здатностей катіоногенів важких металів, надходження їх у рослини і подальше розповсюдження по харчовому ланцюгу.

Практичні результати вимірів концентрації важких металів у зразках ґрунтів було проаналізовано за допомогою пакета програм «STATISTICA 6.0».

Математична модель залежності показника рН від вмісту основних компонентів ґрунтів та значення співвідношення головних складових ґрунтів має такий вигляд для ґрунтів міста:

$$pH = 7,3 + 0,92K_{Al/Si} \text{ або}$$

$$pH = 0,216K_{Fe/Si} + 0,711K_{Al/Si} + 7,3 \quad (7)$$

$$pH = 0,85C_{SiO_2} - 0,22C_{Al_2O_3} + 0,19C_{Ti_2O_5} + 0,13C_{K_2O, CaO, MgO}, \quad (8)$$

де $K_{Fe/Si}$; $K_{Al/Si}$ – коефіцієнти співвідношення між відповідними мікроелементами Fe/Si, Al/Si.

Для ґрунтів Зміївського району відсутня така залежність і згідно з даними статистичної обробки визначено такі параметри зв'язку між рН і складом ґрунтів (табл. 1).

Таблиця 1

Multiple Regression Results, Standard error of estimate: 0,529053012					
Dependent: pH Multiple R=0,99992555 F = 26860,92					
R ² = 0,9998 df = 1,4 adjusted R ² = 0,9998 p = 0,000000					
Intercept: 6,9160 Std. Error: 0,2368 t (4) = 29,200					
p-level= 0,000008					
	Beta	Std. Err.	B	Std. Err.	t(4)
Intercept			6,916	0,237	29,2003
pH	0,999	0,0061	0,932	0,0057	163,8930

Математична модель формування певного рН-середовища для досліджених ґрунтів має вигляд: для ґрунтів Зміївського району –

$$pH = 0,99C_{Mo} + 0,47C_{Cr} - 49,95; \quad (9)$$

для ґрунтів міста –

$$pH = 1,1C_{Pb} + 0,07C_{Sr} - 0,16C_{Cr} + 0,22C_{Ni} - 25,8, \quad (10)$$

де C_{Mo} , C_{Cr} , C_{Pb} , C_{Sr} , C_{Ni} – концентрації молібдену, хрому, свинцю, стронцію, нікелю у ґрунтах, відповідно.

Отримані результати аналізу підтверджують думку щодо взаємодії між катіоногенами та аніоногенами у трансформаційному потоці й утворення певних умов їх акумулювання, міграції і рН-середовища: наявність у ґрунтах хроматів важких металів, які за умовами термодинаміки зменшують порушення у системі, зменшують екзогенний потік речовини у соціальну складову КЕС і спричиняють умови уникнення системою порушення рівноваги. Управління в економічній системі, що призвело до надходження потоку речовини у природні системі завдяки процесам саморегулювання і ендегенним процесам у ґрунті й екологічній системі загалом призвело до зменшення навантаження на систему в цілому, оскільки згідно з (6) матимемо

$$\frac{\partial F_{X,W,E,S}}{\partial t} \rightarrow 0.$$

Коли в результаті нестатичних процесів КЕС прийде в стан рівноваги при існуючих умовах, то ентропія її досягне максимально можливої величини. Критерієм рівноваги в КЕС буде:

$$(dS)_{U,V} = 0, (d^2S)_{U,V} < 0.$$

Заключення

Науково-практичне значення роботи

Запровадження корпоративного підходу в систему екологічного моніторингу дозволило сформулювати і обґрунтувати структуру КЕС для розв'язання екологічних задач на макро- і мікрорівні. Суттєвим при введенні КЕС є можливість порівняння результатів змін у різних складових підсистемах КЕС, як природна екосистема, соціальна і економічна системи. Застосування термодинамічного підходу й урахування комплексного критерію стану як корпоративної системи, так і її складових на основі аналізу складу, структури, енергетики та упорядкованості системи (ентропії) дозволяє визначити однозначно оптимально спрямований вплив на КЕС і її складові, який забезпечує стан рівноваги, що і є ціллю прийняття управлінського рішення в системі екологічного моніторингу.

Перспективи розвитку

1. Розробка структури бази даних для КЕС, враховуючи запропоновані підходи визначення її стану, стійкості рівноваги за термодинамічними функціями.

2. Розробка нових теоретико-практичних підходів розв'язання задач оптимізації управлінського рішення з ціллю досягнення рівноваги у взаємодії між системами

[природна система] – [соціально – економічна система]

3. На основі статистичних даних вбачається можливим прогнозування і розробка математичних моделей формування хіміко-трансформаційних потоків з урахуванням якісного і кількісного складу техногенних речовин, макроскладу ґрунтів, рН-середовища. Визначення на основі моделей розрахункового рівня забруднення території і рівня екологічної небезпеки з боку техногенної сфери як для екосистем, так і людини.

Висновки

Аналіз існуючих підходів вирішення екологічних проблем сучасності щодо прийняття зважених оптимальних управлінських рішень з вирішення екологічних проблем дозволив визначити новий напрямок щодо розв'язання задач у системі екологічного моніторингу.

1. Розглянуто і доказано доцільність впровадження корпоративного підходу щодо вивчення і аналізу взаємодії між трьома складовими навколиш-

нього світу: природною, соціальною і екологічною системами. Останні дві з'єднані природними зв'язками речовини, енергії та інформації з природною екологічною системою і в разі КЕС являють собою термодинамічні потоки енергії і речовини екзогенного характеру, що впливають на стан корпоративної системи і її складових, який характеризується комплексним критерієм системи $F(X, W, E, S)$.

2. Основними критеріями визначення стійкого оптимально наближеного до нормативного стану КЕС, що гарантує цільність і збалансованість усіх підсистем людини є термодинамічні показники — внутрішня енергія E , ентропія S . Стан КЕС відображається не кінцевим набором показників, а їх безперервним розподілом, зміною стану відповідно до рівняння (6).

3. На основі статистичних даних вбачається можливість прогнозування і розробка математичних моделей формування хіміко-трансформаційних потоків з урахуванням якісного і кількісного складу техногенних речовин, макроскладу ґрунтів, рН-середовища. Визначення на основі моделей розрахункового рівня забруднення території і рівня екологічної небезпеки з боку техногенної сфери як для екосистем, так і людини.

Отже, визначений напрямок досліджень є перспективним щодо вирішення екологічних проблем сучасності, спрямованих на гармонізацію відносин між природною і соціально-економічною системами; розв'язання задач оптимізації прийняття рішення у відсутності ризику для стохастичної динамічної моделі прийняття рішення в системі екологічного моніторингу.

Список літератури: 1. Лук'янін В. О. Екологічний менеджмент. Суми: ВТД „Університетська книга”, 2002. — 314 с. 2. Экологический менеджмент /Н.В. Пахомова, А. Эндрес, К. Рихтер. СПб: «Питер», 2003. — 544 с. 3. Екологічне управління /В.Я. Шевчук, Ю.М. Сатакін, Г.О. Білявський та ін. К.: Либідь, 2004. 432 с. 4. Козуля Т.В. Теоретико-практичні підходи при оптимізації прийняття рішення в системі екологічного моніторингу //Вестник НТУ «ХПИ». Системный анализ, управление и информационные технологии. № 45. 2004. — С. 110–118. 5. Козуля Т.В. Исследование оптимальных математических подходов в управлении качеством окружающей среды на основе данных экологического мониторинга //АСУ и приборы автоматизации. Вып. 129. 2004. — С. 59–66. 6. Организация природоохранной работы на предприятиях. Экологический менеджмент. Серия 12. Харьков: Учебно-консультативный центр «УкрКонсалтинг». 2003. — 309 с. 7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.Ж Радио и связь, 1993. — 320 с. 8. Эколого-экономические системы: модели, информация, эксперимент /В.И. Гурман, В.А. Дыхта, Н. Ф. Кашина и др. Новосибирск: Наука, 1987. — 215 с. 9. Семиноженко В. П., Канило П. М., Остапчук В. Н., Ровенский А. И. Энергия. Экология. Будущее. Харьков: «Прапор», 2003. — 464 с. 10. Козуля Т.В., Глушкова Л.В., Штительман З.В. Визначення кореляцій між вмістом важких металів у ґрунтах різних екосистем при вирішенні задач математичного моделювання в екологічному моніторингу //Радиоэлектроника и информатика. № 4. 2004. — С. 159–165.

Надійшла до редколегії 29.04.2005