

УДК 519.713: 631.411.6

Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова

МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКОГО РІШЕННЯ І КОНЦЕПЦІЯ КОРПОРАТИВНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

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

Розвиток цивілізації в умовах ноосфери безпосередньо пов'язаний з виникненням цілої низки екологічних проблем. Першочерговими вже декілька століть залишаються питання екологічного стану і нормального функціонування природних комплексів і передусім екосистем, взаємозв'язок між класичними екологічними проблемами довкілля і подальшого розвитку соціальної і економічної систем (або соціально-економічної системи). Усі три названі системи, що і складають основу життєзабезпечення планети, є складними динамічними системами. Поведінка таких систем з'ясується на основі причинно-наслідкових зв'язків між критеріями оцінювання (причини) та остаточним рішенням (наслідком). У такому разі виникає необхідність описувати ці зв'язки природною мовою, а потім формалізувати у вигляді сукупності нечітких логічних висловлювань типу: «якщо — то, інакше». Останнє положення визначається як набір точок у просторі, які є оцінювальними критеріями об'єкту. По цих точках з використанням нечіткого логічного висновку складається поверхня, що визначає відповідне остаточне рішення (вихідна змінна) за таких значень параметрів (вхідних змінних), для яких інформація у базі знань є відсутньою. На сьогодні не можна розглядати окремо природну, соціальну і економічну системи, визначати пріоритети, не зважаючи на взаємозв'язок і взаємовплив на стан, функціонування і еволюційні процеси у кожній із цих систем. Проблема прийняття рішення в умовах невизначеності і складності визначених систем реального світу ускладнюється тим, що маємо справу не з однією складною системою, а з трьома реальними динамічними і взаємодіючими системами. Для спрощення проблеми прийняття рішення відповідно до реалій було запропоновано ввести поняття корпоративної екологічної системи (КЕС), що дає змогу збалансувати гармонійний розвиток трьох складових системи (природної, соціальної, економічної), зменшити кількість параметрів оптимізації і, звернувшись до системного аналізу, запропонувати термодинамічний підхід щодо оптимізації прийняття управлінського рішення в умовах функціонування КЕС [1, 2].

Дійсно, одна з найбільш вагомих особливостей термодинаміки є її універсальність і безпосередній зв'язок з теорією інформації. Будь-яка модель, у

тому числі КЕС, є імітаційною, якщо вона відображає реально існуючі процеси. Серед моделей, що відповідають критерію мети, виділяють ті, що описують саму систему (в даному випадку КЕС) та моделі рішення, які використовують для прийняття рішення.

КЕС, як імітаційна система, є сукупність моделей, які відображають протікання складних фізико-хімічних процесів, об'єднаних зі спеціальною системою допоміжних програм і інформаційною базою, дозволяючи просто і оперативно реалізувати варіантні розрахунки, зроблені на основі даних спостережень, у тому числі в системі екологічного моніторингу [4].

Мета створення КЕС як імітаційної системи зводиться до постанови і розв'язання важливих прикладних задач — прогнозування поведінки КЕС при тих чи інших засобах взаємодії між її складовими (природною екосистемою, соціальною і економічними системами) і управління цими системами, яке має бути оптимальним для КЕС.

В залежності від інформаційних проблем при аналізі процесів управління виділяють дескрипторні моделі рішення та нормативні моделі [3].

Якщо йдеться про дослідження реальних процесів прийняття рішення у практиці керівництва охороною навколишнього природного середовища, розвитком соціально-економічної системи, то аналіз роду та характеру дій, що складають процес рішення, проводиться в рамках психологічної теорії рішень (теорії процесу) завдяки дескрипторним моделям рішення. На основі цих моделей розробляються нові стратегії діяльності для досягнення результату розв'язання поставленої задачі.

Для вибору оптимального рішення розробляють та використовують у практиці прийняття рішення нормативні моделі. Такий підхід у моделюванні рішення використовує методи та принципи математики, логіки та статистики. Управлінське рішення у цьому випадку спирається на знання множини альтернатив, систему переваг, яка враховує корисність отриманих результатів; критерій вибору. У нормативних (кількісних) моделях критерій вибору може змінюватися в залежності від числа та ймовірності появи зазначених станів реальних об'єктів. Ці моделі використовують в умовах впевненості, ризику та невпевненості [3].

Екосистеми, а також соціально-економічна система є термодинамічними відкритими системами,

які обмінюються енергією і речовиною зі своїм оточенням. Цей обмін здійснюється і в самих системах і між їх окремими частинами (розглядають метаболізм внутрішній і зовнішній). Складна взаємодія у самій КЕС, її підсистемах, зовнішній обмін КЕС речовиною і енергією говорять, що маємо справу з нерівноважною нелінійною системою, в якій протікають процеси самоорганізації. У таких системах можуть виникати різноманітні структури, існування яких обумовлює відхилення системи від рівноваги. Тоді доцільно для вирішення *головної мети дослідження* — прийняття оптимального управлінського рішення в системі екологічного моніторингу з ціллю гармонізації розвитку природної і соціально-економічної системи, — звернутися до аналізу моделей прийняття рішень і вибору моделі, найбільш сприятливої для досягнення мети. У такому разі у роботі поставлено та досліджено наступні задачі:

1) визначення критеріїв вибору прийняття рішення, яке спрямоване на встановлення рівноваги у КЕС і її складових на базі використання основ термодинамічного аналізу;

2) застосування термодинамічних функцій щодо прийняття оптимального управлінського рішення за умов рівноваги в КЕС;

3) впровадження термодинамічного підходу для прогнозування стану ґрунтів як складової природної екосистеми; прийняття рішення в умовах нормативної моделі КЕС — запровадження методів статистичної обробки інформації і прогнозування стану системи.

Матеріали досліджень і наукові результати

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 та економічною;

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

— основи ідентифікації та оцінки нормованого рівноважного розвитку КЕС та її складових завдяки комплексному критерію — *екологічному компаратору (ЕК)* [1, 2].

У цьому напрямку досліджень більш прийнятною є модель рішення в нормативній теорії рішень. Нормативний підхід взагалі застосовують для групи проблем, які добре або частково слабоструктуровані [3].

Функціонування КЕС і її складових пов'язано з протіканням процесів в умовах невизначеності, ймовірності реалізації рішення, тобто прийняття рішення в умовах невпевненості з використанням

різних критеріїв вибору: максимізація середньої корисності, максимінний, Гурвіца, Лапласа або Севіджа.

Термодинамічний підхід щодо визначення стану КЕС дозволяє при зміні управляючих параметрів визначитися у самоорганізації системи, тобто розглянути різні її стани, які послідовно змінюються під впливом важелів управління. Поєднання концепції КЕС і основ термодинаміки як універсального підходу у визначенні стану будь-якої системи дозволяє охопити усю стохастичну динаміку у просторі, де діють управляючі параметри, що залежать від часу. Термодинамічний підхід щодо прийняття рішення в умовах КЕС дозволяє сконцентрувати увагу на ситуаціях, в яких макроскопічна поведінка системи зазнає якісних змін, визначити загальний стан для систем різного рівня.

Таким чином, *КЕС є термодинамічною складною динамічною системою, для якої прийняття рішення пов'язані з проблемами багатокритеріального вибору. У такому разі використовують прямий метод, метод прийняття рішень, що повторюються; метод безпосередньої класифікації* [3].

Оскільки КЕС складається з різних складних систем, що мають свої критерії визначення стану як нормованого, так і рівноваги, то для неї можливо застосувати найбільш відомий з прямих методів — метод зваженої суми оцінок критеріїв. Згідно з цим методом корисність U багатокритеріального об'єкту дорівнює:

$$U = \sum_{i=1}^N w_i x_i,$$

де x_i — оцінка об'єкту за i -тим критерієм ($i=1, \dots, N$), що вимірюється за кількісною шкалою; w_i — вага i -того критерію, що вимірюється за кількісною шкалою.

Метод прийняття рішень, що повторюються, для розв'язання екологічних проблем потребує застосування формалізованих методик визначення ваг критеріїв лінійних моделей, оскільки необхідно мати точніші моделі.

Метод безпосередньої класифікації не застосовується у разі КЕС, оскільки потребує розділу об'єкту на декілька класів з припущенням декількох рангових варіантів рішень. Саме впровадження моделі КЕС мало за мету відійти від класифікаційних задач, мати одну систему з гармонійно пов'язаними складовими, стан рівноваги яких можна охарактеризувати однойменними критеріями.

Термодинамічні функції як критерії визначатимуть якісні зміни, що впливають на управляючі параметри, дія яких спрямована на нову самоорганізацію системи, яка має відповідати нормованому збалансованому стану складових КЕС і її стану рівноваги в цілому за відповідністю оптимальним значенням ЕК.

Під саморегулюючими системами розуміють ієрархічні структури, які самовільно переходять послідовно через ряд визначених режимів саморегулювання системи. Будь-яка система, у тому числі КЕС, є фізико-хімічною системою, а потоки речовини і енергії будуть призводити до якісних змін у ній завдяки протіканню фізико-хімічних процесів. Протікання таких процесів контролюється і прогнозується завдяки основам термодинаміки. У стані термодинамічної рівноваги ентропія системи максимальна. Максимальному значенню ентропії відповідає найбільша неупорядкованість системи. У замкненій системі, яка характеризується нерівноважним станом, процеси відбуваються у напрямку зростання ентропії. Однорідний стан має більше значення ентропії, ніж неоднорідний. Однак КЕС є незамкненою і більш ймовірним для неї є нерівноважний стан. У нерівноважних системах ентропія більш низька, і система є більш неупорядкованою, ніж у стані рівноваги. У незамкнених системах, до яких відносяться КЕС і її складові, процеси відбуваються зі зменшенням ентропії, тобто зі збільшенням порядку. При зміні стану у системі приріст ентропії можна представити у вигляді двох додатків:

$$dS = dS_e + dS_i, \quad (1)$$

де dS_e — зміна ентропії за рахунок її притоку зовні; dS_i — зміна ентропії внаслідок процесів, що відбуваються всередині системи.

Для процесів всередині системи приріст ентропії завжди додатний, тобто $dS_i \geq 0$.

Надходження ентропії з оточуючого середовища dS_e залежно від характеру зв'язку системи із зовнішнім середовищем може мати різний знак — як позитивний, так і негативний. За таких умов, якщо величина dS_e від'ємна і за абсолютним значенням перевищує dS_i , то повний приріст ентропії буде від'ємним, що означає зменшення ентропії і збільшення порядку в системі. Отже, корпоративна дія внутрішніх і зовнішніх процесів, що є присутніми у КЕС, стабілізує систему.

Якщо спостерігається відхилення від стану рівноваги, то визначається безперервна зміна параметрів системи. Виникнення структур (речовин, перерозподіл і деструктуризація елементів, компонентів тощо), що обумовлює самоорганізацію системи, відбувається стрибкоподібно при досягненні певного значення відхилень параметрів системи від їх рівноважних значень. Такі переходи системи у новий стан є нерівноважним фазовим переходом, кінетичним процесом.

Таким чином, зважаючи на властивості КЕС і особливості корпоративного зв'язку в ній, повноцінно можна запровадити як критерії визначення стану КЕС термодинамічні функції і підійти до системи прийняття управлінського рішення. При такому підході маємо не складну систему різнорідних

параметрів, що визначають стан КЕС й її складових, а універсальні критерії стану, які характеризують стан корпоративної системи і її складових. Термодинамічні функції, які є універсальними узагальнюючими критеріями визначення стану будь-якої системи, дозволяють при прийнятті управлінського рішення в умовах КЕС уникнути багатокритеріальної задачі. Остання характеризується множиною принципів оптимальності. Використання ЕК дозволяє звернутися до задачі однокритеріальної оптимізації у разі використання термодинамічних показників, не порушуючи послідовності і не спрощуючи складності зв'язків у реальних складових КЕС.

При складанні математичної моделі задачі прийняття рішення треба врахувати наступні елементи процесу прийняття рішення:

— множину змінних, керуючі впливи або стратегії (X);

— множину змінних, значення яких не регулюються і залишаються визначеними при розв'язуванні задачі, — параметри задачі (P);

— множину змінних, значення яких незалежно змінюються і визначаються станом зовнішнього середовища, — збурення (Q);

— множину вихідних змінних (Y).

Тоді математична модель задачі прийняття рішень представлена множиною співвідношень, які зв'язують керуючі впливи та параметри задачі з вихідними змінними, і описується відображенням:

$$y: X \times P \times Q \rightarrow Y. \quad (2)$$

Якщо параметри P та зовнішні збурення Q залишаються незмінними, то маємо справу з статичною моделлю. У разі КЕС параметри задачі прийняття рішення (ПР) і зовнішні збурення будуть змінюватися у часі і просторі, тоді математична модель буде динамічною і матиме вигляд диференціальних або різницевих рівнянь.

Оскільки зовнішні збурення при функціонуванні КЕС носять випадковий характер, то модель задачі ПР є стохастичною. Вона представлена загальним відношенням (2).

Ймовірність події (P) й інформація (J) пов'язані між собою функціонально:

$$J = f\left(\frac{1}{P(M)}\right), \quad (3)$$

де f — невідома функція.

Прийняття управлінського рішення для КЕС пов'язано з інформацією, що надходить з системи екологічного моніторингу. Доцільне питання: яка невизначеність прогнозу спостережень відносно того, у якому стані система знаходиться в даний момент? Відомо, що це середнє значення функції $\log_2 1/P_i$. Таким чином маємо:

$$\langle J \rangle = -\sum_{i=1}^l P_i \log_2 P_i,$$

де $P_i = 1/\wedge$, відповідно до умов нормування, \wedge — можливі дискретні стаціонарні стани. Це є інформаційна ентропія системи [4]. Важливим для розглянутих питань є визначення умов, за яких інформаційна ентропія системи досягає максимуму.

Максимум ентропії досягається, коли всі стани рівно ймовірні, і її максимальне значення дорівнює:

$$S = S_{\max} = -\sum_{i=1}^{\wedge} \left(\frac{1}{\wedge} \log \frac{1}{\wedge} \right) = \log_2 \wedge, \quad (4)$$

тобто логарифму числа станів.

Тоді виникає питання: яку інформацію потрібно мати від окремих складових КЕС, щоб визначитися у загальному макростані системи.

Якщо W_1, W_2, W_3 — число комплексів, що відповідають за стан кожної із складових КЕС, то $W = W_1 \times W_2 \times W_3$.

Ступінь незнання чи ентропія S , з якою мікростан відповідає за макростан, що спостерігають, дорівнює $S(W_1), S(W_2), S(W_3)$ для кожної складової системи. В силу адитивної властивості інформації для всієї системи справедливе відношення:

$$S(W) = S(W_1, W_2, W_3) = S(W_1) + S(W_2) + S(W_3).$$

Згідно з рівнянням Планка для фізичної ентропії справедливо:

$$S = k \ln W.$$

Наступним кроком доцільно знайти зв'язок між фізичною та інформаційною ентропією, тим самим ствердити можливість і необхідність запровадження ентропійного критерію для визначення стану системи і можливості його використання як критерію для оптимізації прийняття рішення в умовах КЕС.

Якщо кожна система складається з N взаємодіючих компонентів і ці числа великі, то

$$N_1/N \sim P_1, \quad N_2/N \sim P_2, \quad N_3/N \sim P_3,$$

тобто

$$P_i = \lim_{N \rightarrow \infty} (N_i/N).$$

З урахуванням початкового і кінцевого стану системи величина $\wedge = 2$, тоді:

$$\langle S \rangle = -k \sum_{i=1}^2 P_i \ln P_i;$$

$$\langle S \rangle = -k \ln 2 \sum_{i=1}^2 P_i \log_2 P_i = k \ln 2 (S_{\inf}).$$

Таким чином, фізична і інформативна ентропія відрізняються на коефіцієнт $k \ln 2$. Отже, визначивши стан систем через термодинамічні показники S, G, U (ентропія, енергія Гіббса, внутрішня енергія), маємо загальний стан КЕС, а звідси інформацію для прийняття управлінського рішення. З іншого боку, оптимальність, доцільність і пра-

вильність прийнятого управлінського рішення може бути перевірена через зв'язок $S_{\inf} \sim \langle S \rangle$.

Корпоративна екологічна система є динамічною, тому маємо для неї перехід з i -го в j -тий стан, а таким чином з величиною ймовірності такого переходу U_{ji} і складом самої системи (N_i, N_j — складові компоненти у певному стані). У такому разі ентропія системи змінюється у часі:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{\wedge} \sum_{j=1}^{\wedge} U_{ij} (N_i - N_j) (\ln N_i - \ln N_j) \geq 0. \quad (4)$$

Рівняння (4) виконується у тих випадках, коли $N_i = N_j$ при всіх i і j , тобто в стані абсолютної однорідності чи в стані ідеальної симетрії, який є станом термодинамічної рівноваги.

При $N_i \rightarrow \infty$ функція $S = f(x)$ монотонна, тобто незворотно буде намагатися досягти максимального рівноважного значення і, досягнувши його, залишається далі незмінною.

Вибрані критерії оцінки стану КЕС — імовірнісні величини. Функціонування КЕС і складових пов'язано з невизначеністю дії зовнішніх факторів. Стан зовнішнього середовища визначається як S_1, S_2, \dots, S_k . Результатом прийняття рішення для КЕС і складових буде сполучено з корисністю отриманого результату u_j при використанні стратегії x_i :

$$u_{ij} = U(y_j, x_i), \quad j = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Реалізація будь-якої стратегії визначається загальною корисністю U , яка визначається розмірністю $m \times n$.

В залежності від стану середовища результат u_j досягається з ймовірністю $P(y_j(x_i, S_k))$.

Якщо для КЕС використати величини $P(S_k)$, то перейдемо до розв'язання задачі ПР в умовах ризику. У такому разі вибір стратегії ПР x_i визначатиметься умовами

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k u(y_j, x_i) P(y_j(x_i, S_k)) P(S_k).$$

Оскільки стан середовища і розподіл ймовірностей $\{P(S_k)\}$, $k = \overline{1, k}$ невідомі, то суттєвим є вибір оптимальної стратегії ПР. В умовах функціонування КЕС навіть мінімальний ризик не є припустимим, тоді необхідно застосовувати критерій Вальда — гарантованого результату.

Таким чином, отримані наступні результати з двох пунктів дослідження: *важливим у однозначній визначеності рівноваги стану КЕС і прийняття оптимального управлінського рішення підтримки гармонійного зв'язку між складовими КЕС є запровадження термодинамічного підходу визначення стратегії ПР і умов запровадження стохастичної динамічної моделі ПР.*

Найбільш складною і лімітуючою щодо стану КЕС є природна екологічна система, що зазнає більш

інтенсивного зовнішнього впливу з боку соціальної і економічної систем. Будь-який природний процес характеризується збільшенням суми ентропії dS усіх частин системи, що приймають участь у процесі. У той же час, якщо існує можлива зміна системи, при якій $dS > 0$, система здатна до спонтанних змін і не може залишатися у стані рівноваги. Якщо система рівноважна, то сумарні зміни її ентропії dS при всіх безкінечно малих змінах, які відбуваються у системі, дорівнюють нулю, тобто $dS = 0$. Система піддається спонтанним змінам, якщо при будь-якому безкінечно малому зміні стану її загальна потенційна енергія ψ зменшиться, тобто $\Delta\psi < 0$. При довільній зміні ентропія системи S завжди зростає, тоді як потенційна енергія $\Delta\psi$ системи завжди зменшується, тобто $\Delta S > 0$ і $\Delta\psi < 0$ описують одні й ті ж умови. Якщо система знаходиться у стані рівноваги, то зміни її потенційної енергії $\Delta\psi$ при всіх безкінечно малих змінах дорівнюють нулю, при цьому як $\Delta S = 0$, так і $\Delta\psi = 0$ описують умови рівноваги. Функція ψ найменш узагальнена порівняно з ентропією, що робить її більш зручною і практичною при вивченні багатьох реальних проблем.

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 системи, і де відбувається формування їх подальшого руху в економічну і соціальну системи. Ґрунт виступає своєрідним депо усіх потоків речовини, зокрема забруднювачів. Це спричиняє виникнення умов протікання фізико-хімічних процесів, що здатні вивести систему з рівноваги. Розглянемо, яким чином діють термодинамічні підходи щодо визначення загального стану системи за даними окремих локальних процесів і явищ, які відбуваються у системі. Для розгляду цього питання були взяті дані статистичних спостережень екологічного моніторингу ґрунтів, що знаходяться під впливом викидів забруднювачів теплової електростанції (для прикладу взято чисельні значення вмісту важких металів у ґрунтах на території Зміївського району, що піддаються впливу викидів Зміївської ДРЕС, отримані під час досліджень протягом 1994–2001 рр.) [5].

Практичні результати вимірів концентрації важких металів у зразках ґрунтів було проаналізовано за допомогою пакету програм «STATISTICA 5.5». Це дозволило визначити кореляційні залежності збільшення вмісту тих чи інших металів через присутність інших забруднювачів. Оскільки всі важкі метали є полівалентними, то в залежності від умов середовища вони виявляють як кислотні, так і основні властивості. Такі елементи, як Cr, V, Mo, W і такі інші утворюють відповідні кислоти, що взаємодіють з катіонними формами важких металів, і протікають термодинамічно-обумовлені реакції утворення нерозчинних сполук. Це призводить до зменшення міграційної здібності забруднювачів, а

ентропія системи досягає максимального значення, яка у подальшому не змінюється, тобто $\Delta S = 0$, і система, маючи на увазі ґрунт, знаходиться у стані рівноваги. Підтвердженням цього є відсутність у зразках рослин з досліджених територій забруднювачів у надлишковій кількості. Так, за результатами статистичної обробки матеріалу маємо найбільш визначені кореляції між:

- Pb – ґрунт** — ($r = 0,85$) — Cr – ґрунт;
- Zn – ґрунт** — ($r = 0,88$) — Cu – ґрунт і ($r = 0,80$) Ni – ґрунт;
- Sr – ґрунт** — ($r = 0,83$) — V – витяг;
- Cu – ґрунт** — ($r = 0,88$) — Zn – ґрунт; а також при $r = 0,65$ спостерігається залежність від вмісту V – ґрунт;
- Cr – витяг** — ($r = 0,83$) — Ni – витяг.

Таким чином, найбільш ймовірними є процеси, які протікають у напрямку стабілізації системи зі зменшенням енергетичних термодинамічних функцій і збільшенням ентропії, — утворення нерозчинних сполук між катіоногенами (Pb, Sr, Cu, Ni) й аніоногенами (Cr, V, частково Zn), що відповідає високим значенням коефіцієнту кореляції r .

Серед регресійних рівнянь треба привести дві математичні моделі поведінки свинцю і цинку у ґрунтах в залежності від присутності в них інших забруднювачів таких, як важкі метали, у твердій частині ґрунту і водній витяжці (витяг) (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Regression Summary for Dependent Variable: Pb_ґРУНТ
R= ,99999959 RI= ,99999918 Adjusted RI= ,99999261
F(8,1)=1523E2 p<,00198 Std.Error of estimate: ,01102

	β	St. Err. of β	B	St. Err. of B
Intercept			-133,23	0,314
Cr – ґрунт	2,64	0,005	1,30	0,002
Zn – ґрунт	1,49	0,003	0,199	0,000
V – витяг	2,34	0,006	281,70	0,759
Sr – витяг	0,55	0,002	1,03	0,003
Pb – витяг	0,07	0,001	1,50	0,031
Cu – витяг	0,37	0,001	65,06	0,249
Ni – витяг	0,32	0,002	109,55	0,634
Cu – ґрунт	0,07	0,003	0,04	0,001

$$C_{Pb} = 2,68C_{Cr} + 1,49C_{Zn} + 2,34C_{V_b} + 0,55C_{Sr_b} + 0,07C_{Pb_b} + 0,37C_{Cu_b} + 0,32C_{Ni_b} + 0,07C_{Cu} - 133,23$$

Таблиця 2

Regression Summary for Dependent Variable: Zn_ґРУНТ
R= ,98920995 RI= ,97853633 Adjusted RI= ,96136540
F(4,5)=56,988 p<,00023 Std.Error of estimate: 5,9474

	β	St. Err. of β	B	St. Err. of B
Intercept			-329,81	133,00
Cu – ґрунт	1,70	0,311	7,74	1,41
V – витяг	-0,75	0,167	-672,59	150,47
Sr – ґрунт	1,40	0,353	0,67	0,17
Cr – ґрунт	0,47	0,244	1,73	0,89

$$C_{Zn} = 1,7C_{Cu} - 0,75C_{V_b} + 1,4C_{Sr} + 0,47C_{Cr} - 329,81,$$

де, $C_{Pb}, C_{Cu}, C_{Sr}, C_{Cr}, C_{Zn}, C_{V}, C_{Si}, C_{Pb}, C_{Cu}, C_{Ni}$ — концентрація свинцю, міді, стронцію, хрому, цинку у ґрунтах, концентрація ванадію, стронцію, свинцю, міді і хрому у водній витяжці, відповідно.

Ці залежності відрізняються великим значенням коефіцієнту детермінації R (чим ближче значення R до 1, тим краще регресія пояснює залежність даних) і незначною стандартною похибкою оцінки (Std. Error of estimate):

Таким чином, фізико-хімічні процеси у ґрунтах, антропогенно-забруднених хімічними елементами різної хімічної природи, призводять до стабілізації у системі, яка за термодинамічними критеріями матиме $|S| \rightarrow \max, dS = 0$, тобто стан рівноваги. Це зменшить або зовсім припинить надходження речовини та енергії в іншу систему, тобто не буде її дестабілізувати. За цих умов екологічна система знаходиться у стані рівноваги, так як зменшується до нуля потік забруднюючої речовини у рослини і так далі. Таким чином, забруднення, тобто потік речовини зовні, не надходить до організму людини (важкі метали з продуктами харчування не потрапляють в організм людини, не спричиняють порушень функціонування організму), яка є елементом соціальної системи, тобто і для цієї складової КЕС також маємо $dS = 0$. Економічна система також залишається у незмінному стані, що відповідає початковому стану КЕС — стану рівноваги. За умов відсутності зовнішнього притоку речовини і енергії зовні в КЕС і при $dS_i = 0$ будемо мати стан рівноваги для всієї КЕС — $dS = 0$.

Заключення

Науково-практичне значення роботи. Введення складної імітаційної моделі КЕС і запровадження до неї теорії термодинамічного підходу дозволяє розглядати задачу прийняття управлінського рішення як стохастичної динамічної моделі ПР в умовах невизначеності стану зовнішнього середовища і відсутності ризику. Суттєвим при введенні КЕС є можливість порівняння результатів змін у різних складових підсистемах КЕС як природної екосистеми, соціальної і економічної системи. Застосування функції корисності результатів ПР стратегії дозволяє визначити однозначно оптимальне управлінське рішення для КЕС і її складових, яке забезпечує стан рівноваги, що і є ціллю прийняття управлінського рішення в системі екологічного моніторингу.

Перспективи розвитку. Корпоративна система, впроваджена у систему охорони природного середовища, — корпоративний екологічний менеджмент, дозволяє розв'язувати питання прийняття управлінського рішення щодо вирішення екологічних проблем на мікрорівні. КЕС — це система, що

регулює відносини між природною і соціально-економічною системами на глобальному рівні. Надалі потребує розвитку концепція КЕС і удосконалення застосування для ПР математичного апарату оптимізації прийняття управлінського рішення з урахуванням термодинамічних критеріїв визначеності стану системи і використання стохастичної динамічної моделі ПР.

Висновки

1. Аналіз наслідків впровадження КЕС як цілісної складної системи показав, що рівноважний гармонійний розвиток систем життєзабезпечення людини і природної (екологічної) системи гарантується завдяки прийняттю оптимального управлінського рішення на базі впровадження термодинамічного підходу щодо визначення стану КЕС і дотримання умов рівноваги за рівнянням (4).

2. Визначено, що оптимальним буде управлінське рішення щодо гармонійного функціонування природної і соціально-економічної систем, яке сприятиме урегулюванню фізико-хімічних процесів у складових компонентах підсистем КЕС; у самій КЕС в цілому; максимізації функції корисності результатів впровадження стратегії x_i за умов відсутності ризику для стохастичної динамічної моделі ПР.

3. Розглянуто приклад застосування термодинамічного підходу щодо визначення стану центрального об'єкту екосистем — ґрунту. На основі аналізу було показано можливість послідовного визначення напрямку процесів стабілізації в системі ґрунт, як однієї з складових КЕС, при надходженні забруднювачів (важких металів) до неї.

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

Список літератури: 1. Козуля Т. В. Исследование оптимальных математических подходов в управлении качеством окружающей среды на основе данных экологического мониторинга // АСУ и приборы автоматики. 2004. Вып. 129. С. 59-66. 2. Козуля Т. В. Теоретично-практичні підходи при оптимізації прийняття рішення в системі екологічного моніторингу // Вестник НТУ «ХПИ». Системный анализ, управление и информационные технологии. 2004. № 45. С. 110-118. 3. Юхимчик С. В., Азарова А. О. Математичні моделі ризику для систем підтримки прийняття рішень. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. 188 с. 4. Николик Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление. М.: Мир, 1989. 488 с. 5. 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 // Радиоелектроника и информатика. 2004. № 4. С. 159-165.

Надійшла до редколегії 01.06.2005