

THE CYBER PHYSICAL PRINCIPLE MANAGEMENT
OF CAPRICIOUSNESS OF LANDSCAPE COMPLEXES

КІБЕРФІЗИЧНИЙ ПРИНЦИП УПРАВЛІННЯ КОПРОЄМНІСТЮ
СКЛАДНИХ ЛАНДШАФТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Ruda Mariya¹

Taras Ulyana²

DOI: http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-571-26-8_16

Abstract. The concept of the cyberphysical system of the CPE functioning on the railway lines is proposed, which will allow increasing: (1) the level of adequacy of the actual ecological state on the railway transport lines to its information model; (2) efficiency of obtaining and authenticity of primary data on the quality of CPEs on the railway; (3) the level and quality of information services for consumers of eco-information on the basis of network access to databases. The general algorithm for the use of the defined indicators combines the establishment and assessment of the relevant factors of CPE by means of direct or indirect determination of the quantitative indicators, as well as the creation of a spatial basis based on the multispectral data for assessing the impact of the railway facilities on the state of the Environment. The general algorithm for the use of the defined indicators combines the establishment and assessment of the relevant factors of CPE by means of direct or indirect determination of the quantitative indicators, as well as the creation of a spatial basis based on the multispectral data for assessing the impact of the railway facilities on the state of the Environment. The creation of quality control system for CPE functioning on the basis of the CFS allows you to solve a number of problems, namely: the possibility of combining a large number of heterogeneous components, high performance, intellectualization of means of interaction with the physical environment, interacting with the person, online information collecting, structural adjustment of measuring and computing tasks, high level

¹ Assistant Lecturer at Department of Environmental Safety and Environmental Activities, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

² Candidate of Agricultural Sciences, Acting Director of Regional Landscape Park “Znesinnia”

of service. The proposed CFS contains a network of intelligent measuring-computing nodes united into commutating environment and supported by high-performance computing means and means of information protection that are connected to the information center, among which the central place is occupied by three modules: environmental analysis, design, and ecosystem monitoring and control of PCE. Implementation of the research results will make a significant contribution to the process of bringing the railways to a higher level of competitiveness among carriers and will create better conditions for transportation. Ecosystem problems are extremely diverse. The proposed concept of quality control of PCE functioning allows us to consider management as a holistic process in which it is not difficult to identify the actual specific tasks, and in particular, the study of wind-protective and snow-retaining properties of PCEs provided a limited pollution of the natural environment – the issues which we will further deal with in the future.

1. Вступ

Складність процесів, які відбуваються на залізничних шляхах породжує необхідність вирішення значної кількості задач, які виникають при проектуванні та створенні системи контролю якості захисту довкілля. На нашу думку, за основу створення системи контролю якості захисту довкілля доцільно прийняти загальну структуру кіберфізичних систем [1]. Остання містить такі рівні:

- засоби взаємодії з фізичним світом;
- засоби збирання та доставлення інформації;
- засоби опрацювання інформації;
- засоби прийняття рішень;
- засоби персонального сервісу.

Особливістю, що вирізняє кіберфізичні системи серед інформаційних систем, є поява інтелектуальних комп'ютерних засобів, які в реальному часі забезпечують збір просторово-координатної та іншої інформації з фізичного світу, її доставлення та інформаційний зворотній зв'язок від кібернетичного простору і кібернетичний простір, який забезпечує інтелектуальне управління даними, надає обчислювальні потужності та математичні сервіси для виділення з даних корисної інформації, забезпечує аналітику та прийняття рішень. Система допускає розпаралелювання вимірювально-обчислювальних процесів

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

та процесів відслідковування змін контрольованих параметрів, що дозволяє, взявши за базу незначну кількість контрольованих параметрів, нарощувати систему в міру одержання нових знань та проектування більш досконалих засобів контролю окремих характеристик.

Розглянемо для прикладу задачу забезпечення екологічної безпеки на шляхах залізничного транспорту за допомогою складних ландшафтних комплексів, на прикладі консорційних екотонів захисного типу (тут і далі КЕЗТ). При цьому, КЕЗТ виступаються частиною складного інженерного комплексу колійного господарства і повинні бути біологічно стійкими, довговічними та постійно виконувати свої захисні функції, забезпечувати нормальний, безперебійний рух поїздів у будь-яку пору року.

2. Сутність складних природних комплексів

Фундаментальним поняттям системного аналізу є поняття «система». Системи мають зовсім нові якості, які відсутні у її елементів. Ці якості виникають завдяки наявності зв'язків між елементами. Саме за допомогою зв'язків здійснюється перенесення властивостей кожного елемента системи до інших елементів. Головним системоутворювальним фактором є її функція. Існує кілька поглядів з приводу того, що являє собою функція системи. Так, під функцією системи можна розуміти перетворення її входів у виходи. З іншого погляду функція системи може полягати у збереженні її існування, підтримці її структури та впорядкованості. Іноді функцію системи ототожнюють із функціонуванням цієї ж системи, визначаючи її як спосіб, засіб або як дії для досягнення цілі системи.

Системи функціонують у певному зовнішньому середовищі. Зовнішнє середовище – це все те, що знаходиться зовні системи, включаючи необхідні умови для існування та розвитку системи. Зовнішнє середовище складається із ряду природних, суспільних, інформаційних, економічних, виробничих та інших факторів, що впливають на систему та самі певною мірою перебувають під впливом цієї системи.

Взаємодія між системою та зовнішнім середовищем здійснюється за допомогою входів та виходів. Вхід системи – це дія на неї зовнішнього середовища. Вихід системи – результат функціонування системи для досягнення певної мети або її реакція на вплив зовнішнього середовища. Отже, у загальному вигляді систему (з контуром зворотного зв'язку) можна зобразити графічно у такий спосіб (рисунок 1):

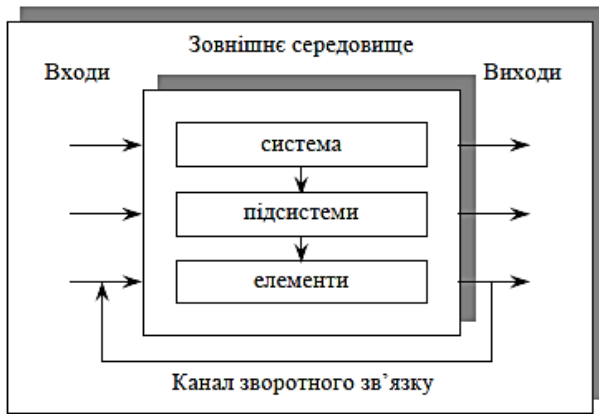


Рис. 1. Графічне зображення системи

Явище самоорганізації складних систем було відкрите у другій половині ХХ століття. Один з основоположників синергетики Хакен визначив її як науку «про колективну поведінку підсистем, що утворюють систему». Феномен синергії або синергетизму має кілька моментів: насамперед, йдеться про явища, що виникають внаслідок спільної дії кількох різних факторів, у той час, коли кожний фактор окремо до подібного явища не приводить.

У процесі взаємодії і взаємообумовленості трьох сутнісних начал формуються природні сутності. Природні сутності – це побудовані за типом відкритих стаціонарних систем матеріально-інформаційні утворення, що несуть у собі закріплені пам'яттю стійко повторювані ознаки даного типу систем, що дозволяють відтворювати їх багаторазово в просторі і часі.

Сама належність складних ландшафтних комплексів до класу відкритих стаціонарних систем обумовлює єдині закономірності їх існування і трансформації. Усі вони можуть існувати лише підтримуючи гомеостаз, що досягається здійсненням метаболізму, тобто обміну із зовнішнім середовищем і всередині самих систем. А процеси, що забезпечують динамічну стійкість і трансформації систем, досягається двома видами механізмів зворотного зв'язку – відповідно негативним і позитивним, а також двома видами трансформаційних механізмів – адаптаційним та біфуркаційним. Будь-яка відкрита стаціонарна

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

система є одночасно і матеріально-інформаційною, і інформаційно-матеріальною сутністю.

3. Визначення екологічного індексу

КЕЗТ є замкненою системою матеріальних потоків (на противагу енергетичним потокам). Переходячи з одного продукту в інший та змінюючи форми свого стану, матерія циклічно циркулює в цій системі. Саме тому загальна маса матерії не змінюється, незалежно від того що відбувається на шляхах залізничного транспорту.

У сучасному соціально-економічному середовищі матеріальні потоки і процеси відбуваються за лінійною схемою. Але, на нескінченному відрізку часу матеріали, що пройшли через техносферу, заново повертаються у навколишнє середовище як сировина. Концепція життєвого циклу розглядає продукти/послуги з початку їх фізичного виникнення і до моменту припинення їх функціонування. Вихідні потоки енергії можуть бути як відходами досліджуваної системи, так і слугувати ресурсами (вхідними потоками) в іншу систему. На всіх стадіях життєвого циклу КЕЗТ має місце певне забруднення, використовуються енергія та матеріали.

Для визначення екологічного індексу КЕЗТ необхідно здійснити три частини аналізу: інвентаризаційну → екологічного впливу → можливостей поліпшення. Всі три частини дослідження взаємопов'язані через етап формулювання задачі та встановлення меж досліджуваної системи. Формулювання завдання є важливим етапом, що становлять основу всього аналізу.

Формулювання завдання – це особливо важлива стадія аналізу, так як на ній визначається зміст і порядок виконання всіх подальших стадій. Для формулювання завдання необхідно відповісти на питання «для якої мети проводиться аналіз?». Для цього необхідно: знати, яка саме система аналізується; переконатися, чи можна порівняти систему за її функціями; знати, хто і як буде користуватися отриманими результатами аналізу; чітко визначити, за якими параметрами буде проводитися аналіз; встановити причини, за якими для порівняння були обрані саме ці параметри (параметри повинні бути репрезентабельними, тобто відповідати цілям аналізу); визначити призначення системи і функціональну одиницю, використану для аналізу; визначити масштаб і глибину проведеного аналізу або, іншими словами, визначити межі

аналізованої системи. Останній аспект найбільш важливий, тому що вибір меж системи визначає тривалість, складність, точність і повноту результатів аналізу.

Межі системи – це стадії та елементи енергетичного балансу, які розглядаються в аналізі життєвого циклу продукту/послуги [2]. Межі також включають відповідний проміжок часу, географічні координати системи, тип технології, яка використовується на даний момент, а також набір аналізованих параметрів впливу на довкілля [3]. Вибрані межі системи продукту не повинні бути ні надто вузькими, ні надто широкими. Приклад можливого вибору меж системи зображений на рисунку 2.

Важливо обмежувати межі системи для забезпечення прийнятого рівня точності результатів. По-перше, обмежувати аналізовану систему потрібно тому, що система без обмеження може розростися до неймовірних розмірів. По-друге, аналізована система не може бути занадто простою, тому що можливе упущення окремих складових життєвого циклу, що здійснюють істотні екологічні впливи. У такому випадку результат аналізу буде неточним.

Якість функціонування багато в чому визначає функціональну одиницю, яка є одним з найголовніших аспектів, що впливають на якісні

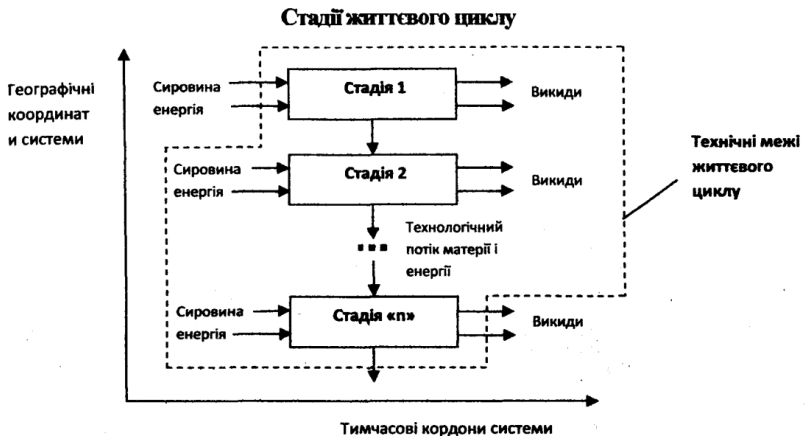


Рис. 2. Приклад аналізованої системи та обраних для дослідження меж

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

розрахунки. Під функціональною одиницею ми розуміємо кількісний вираз функції ситсеми, яка відображає характеристики аналізованих систем. Функціональна одиниця – це основа для всіх наступних розрахунків, вся інформація, зібрана на стадіях інвентаризації та оцінки впливів, відноситься до функціональної одиниці.

Після збору кількісної інформації про матеріальні та енергетичні потоки системи останні оцінюють з екологічної точки зору. Оцінювання екологічного впливу – це стадія, на якій дані про різні викиди у довкілля, зібрані на стадії інвентаризації, характеризуються і оцінюються в різних групах і за різними параметрами. Іншими словами, встановлену кількість викидів інтерпретують у вигляді нанесеного екологічного збитку.

Створення мінімальної моделі для КЕЗТ – такої, що агрегує в невеликому числі змінних інформацію про захисні насадження і піддається чисельно-аналітичному дослідженню є актуальним та важливим завданням в умовах антропогенної трансформації навколишнього природного середовища з боку залізниці. Одним з підходів, що реалізують цю концепцію, є компартментальний аналіз. КЕЗТ розбивається на блоки, що містять певні запаси речовини і енергії та здатні здійснювати обмін та перенесення не лише між собою, але й з навколишньою природою. На основі біологічної інформації задаються швидкості обміну, а також швидкості вхідних і вихідних потоків. Модель, яку ми отримуємо називається компартментальною, а блоки – компартментами (*compartment* – відділення, розділ).

Перевага такого підходу полягає в тому, що, по-перше, немає потреби ретельно збирати дані про взаємодію сотень або тисяч видів, що мешкають у КЕЗТ, а по-друге, дослідник відносно вільний у виборі змінних і предмету обміну (замість біомаси можна оцінювати концентрацію будь-якого важливого для живих організмів хімічної речовини, в тому числі поллютантів та седиментів).

4. Визначення копроемності природного середовища

Під копроемністю природного середовища розуміють величину максимального навантаження, яку може витримати і переносити протягом тривалого часу КЕЗТ без серйозних порушень її структурно-функціональних характеристик [4]. Для практичного визначення цього показника ще не існує достатньо надійних кількісних методів.

Застосування енергетичного підходу дає можливість представити копроємність як гранично допустиму зміну загального потоку біологічного перетворення енергії на даній території.

Другий спрощений спосіб оцінки копроємності може ґрунтуватися на кількісних результатах біоіндикації та використанні гігієнічних і токсикометричних нормативів. Так, приймають, що гранично допустимий ступінь зміни функції стану КЕЗТ досягається тоді, коли інтегрована по площі земельного угіддя приведена концентрація домішок наближається до одиниці. При цьому важливо, щоб критичні концентрації відповідали найсуворішим еколого-нормативним вимогам, наприклад, мінімальній фітотоксичності і нульовій мутагенності та канцерогенності, тобто були менші від нинішніх стандартних ГДК. Використання гігієнічних нормативів слід розглядати як тимчасовий захід, викликаний відсутністю комплексу екологічних нормативів.

Для підтримання еколого-енергетичного балансу та вибору варіанту подальшого розвитку КЕЗТ у моделі вводяться блоки-компартименти, які є критеріями збалансованості природоємкості і копроємності насаджень. Оптимізаційна модель еколого-енергетичного балансу є верхньою в ієрархії основних оптимізаційних моделей та базується на компартиментному аналізі.

Схему функціонування КЕЗТ подамо у вигляді чотирьох взаємопов'язаних компартиментів:

- компартимент залізничного господарства (ЗТ), де біологічні та технологічні фактори мають визначальний вплив на величину антропогенного навантаження на КЕЗТ;
- компартимент шляхів залізничного транспорту (ШЗТ), яка функціонує, як постійне джерело антропогенного впливу на стан навколишнього природного середовища;
- власне КЕЗТ, як екологічного компартимента (Е), який охоплює природні об'єкти і процеси природокористування;
- компартимент управління (У) – алгоритми управління, математичне забезпечення, програми.

Для аналізу якості функціонування КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту були згруповані необхідні дані, а саме: основні ресурси, що необхідні для функціонування КЕЗТ та залізничних шляхів, комплектуючі кожної складової сировини та матеріалу, які розглядаються як входи; процеси, такі як транспортування людей та вантажів, в тому

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

числі і небезпечних, природно-кліматичні умови (виходи). Для зручності з роботою складові частини процесу були згруповані у дві групи:

- необхідні природні ресурси;
- технічні та технологічні засоби.

Таким чином функціонування КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту утворює цілісну систему, об'єк управління якої включає сукупність технологічних і біологічних чинників, що взаємодіють в єдиному еколого-технологічному виробничому процесі і задовольняють як виробничо-екологічним, так і екологічним вимогам [5, 6].

Розробку загальної математичної моделі визначення копроємності КЕЗТ здійснено на основі потоків речовини та енергії. Нехай, КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту задано:

- структурою взаємозв'язків між елементами екологічної, технологічної та керуючої частин.
- потоками речовин та енергії, що включають: множину вхідних потоків – x^{3T} , $x^{ШЗТ}$, x^E ; множину вихідних потоків: y^{3T} , $y^{ШЗТ}$, y^E ; винесення і розсіювання енергії та речовин – ЕЗТ, ЕШЗТ, ЕЕ; v^{3T} , $v^{ШЗТ}$, v^E – генерування відходів на шляхах залізничного транспорту, трансформація екосистеми;
- властивостями, відношеннями і алгоритмом взаємодії компартментів ЗТ, ШЗТ, Е, У;
- метою КЕЗТ та її кампартментів, яка полягає у перевезенні пасажирів та вантажів при мінімальних витратах речовини та енергії із забезпеченням максимальної екологічної безпеки.

Характер взаємодії людини з середовищем визначають потоки речовин, енергій та інформації. Змінюючи величину будь-якого потоку маси, енергії, інформації, дій людини від мінімально значущої до максимально можливої, можна пройти ряд характерних станів взаємодії в системі «людина – середовище функціонування залізниці». Поняття якості КЕЗТ тісно пов'язане з поняттям якості навколишнього природного середовища.

Якість насадження оцінюється за двома показниками: життєздатність (таблиця 1) та захисна ефективність.

Захисна ефективність КЕЗТ оцінюється за наступними класами: *добрий* – коли насадження не пошкоджені, або слабо пошкоджені антропогенними чинниками залізниці; *задовільний* – коли несприятливі чинники частково призвели до істотного ослаблення; *пога-*

ний – коли будь-який з несприятливих чинників значно вплинули на насадження; *дуже поганий* – коли насадження значно пошкоджені багатьма чинниками.

Таблиця 1

Життєздатність КЕЗТ

Категорія життєздатності	Зовнішні ознаки верхнього ярусі насаджень	Клас
1	2	3
Висока (ЖВ)	Складається переважно зі здорових гостроверхих дерев, всихаючі екземпляри одиничні. Санітарний стан добрий, ґрунти покриті опалим листям, трав'яний покрив або відсутній, або рідкий (ТО)	1
Понижена (ЖП)	Складається переважно зі здорових дерев, але переважають туповерхі екземпляри, кількість всихаючих дерев не перевищує 25%. Санітарний стан добрий або задовільний, ґрунт пухкий або затверділий, трав'яний покрив не більший середньої густоти (ТС)	2
Низька (ЖН)	Складається із суховерхих і сухих дерев (до 75%), супутні породи в більшості не всихають). Санітарний стан поганий, ґрунти затверділі або тверді, трав'яний покрив середній (ТС) або великої густоти (ТГ)	3
Дуже низька (ЖДН)	У складі насадження переважають сухостійні низькі екземпляри. Санітарний стан поганий або дуже поганий, ґрунти затверділі, трав'яний покрив густий з великою кількістю прикореневих рослин (ТОГ)	4

Для розв'язання задач управління необхідне чітке розуміння структури КЕЗТ керуючими параметрами в яких, зокрема, є:

- вертикальна структура, яка задається ярусами (ярус домінуючих дерев; середній ярус; чагарниковий ярус; мохово-трав'яний ярус; ярус залягання кореневищ і коренів трав'янистих рослин, що укореняються у верхньому шарі ґрунту– 15-20 см; ярус трав'янистих рослин з глибшим розташуванням коренів – 50-70 см; ярус коренів чагарників – 1-3 м; ярус коренів деревних порід (Н – до 5-6 м), лісова підстилка (Н – 1-3 см); гумусовий горизонт (Н – 20 см-1,5м); горизонт вимивання, або накопичення (Н – 0-20 см); перехідний горизонт (Н – до 180 см);).

- горизонтальна структура: кількість рядів, ширина рядів, розміщення дерев у рядах та кулісах, кількість куліс тощо.

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

Життєздатність КЕЗТ зобразимо вектором S , компоненти якого є функціями часу t і протостору R . Зміна стану відбувається в результаті певних дій $\xi(t, R)$ та управлінських рішень u :

$$u = (g, \lambda), \quad (1)$$

де $g \in H^K$ – схема технологічних процесів, що належать простору H^K (електрофіковані і неелектрофіковані залізничні шляхи, інтероперабельність, інтенсифікація пасажиро та вантажопотоку і т.д.)

$\lambda \in H^m$ – сукупність елементів технологічних процесів, що входять у простір H^m (машини, механізми, тощо).

Формально систему зобразимо у вигляді:

$$S(t) = A(S(\tau), u), \quad (2)$$

де A – визначення життєздатності та захисної ефективності в момент часу $t \in [t_0, T]$ за значенням вектора $S(\tau)$, $\tau \in [t, t_0]$.

Необхідно на множині M визначити невідповідність у швидкостях обороту енергії і речовин у виробничій та природній підсистемах, що зумовлює виникнення непогоджених еколого-біотехнічних відносин, знайти таку стратегію управління $u_0 \in M$, яка б при екосистемному моніторингу КЕЗТ забезпечувала копроємність H_c максимально функціональним:

$$\Phi_{\text{КЕЗТ}} = \varphi \{ \eta_i^{BE}(u_i), \eta_i^{EB}(u_n) \} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де $\eta_i^{BE}(u_i)$ – показник біоенергетичної ефективності;

$\eta_i^{EB}(u_n)$ – показник екологічної безпеки;

φ – показник зворотних критеріїв.

Запишемо у скалярному вигляді три системи рівнянь, що визначають відповідно, три системи обмежень у компартментах ЕЗТ, ЕШЗТ та БЕ.

Компартмент залізничного господарства (ЗТ):

$$\begin{cases} \sum_{\lambda \in H^m} x_{i\lambda}^{3T}(t) - \sum_{j=1} \sum_{\lambda \in H^m} a_{ij\lambda} x_i^{3T}(t) - v_i^{3T}(t) = y_i^{3T}(t) \geq y_0^{3T}(t); \\ \sum_{j \in I^{3T}} \sum_{\lambda \in H^m} v_{i\lambda}^{be3T} x_i^{3T}(t) = v_i^{b3T}(t) + v_i^{c3T}(t); \\ \sum_{j \in I^{3T}} \sum_{\lambda \in H^m} v_{i\lambda}^{3Tbc} x_i^{3T}(t) = v_y^{3Tb}(t) + v_y^{3Tc}(t); \\ \sum_{i=1}^k \beta_{iy}^{3T} x_i^{3T}(t) - \sum_{\tau=1}^l N_{\lambda}^{3T}(t) \leq N_{\lambda 0}, \end{cases} \quad (4)$$

де y_0^{3T} – обмеження для залізничного транспорту;
 $a_{ij\lambda}$ – коефіцієнт витрат j -го виду ресурсів на функціонування i -го виду залізничного транспорту на λ -дій дистанції колії;
 $v_{i\lambda}^{bc3T}$ – питомий коефіцієнт споживання ресурсів;
 $v_{i\lambda}^{3Tbc}$ – питомий коефіцієнт утворення y -тих відходів при виробництві та експлуатації i -го стаціонарного джерела забруднення на λ -му підприємстві залізничного транспорту;
 β_{iy}^{3T} – коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ -го агрегату під час експлуатації i -го об'єкту залізничного транспорту;
 N_{λ}^{3T} – приріст виробничих та експлуатаційних потужностей залізничного транспорту;
 $N_{\lambda 0}$ – виробничі та експлуатаційні потужності залізничного транспорту.

Компартмент шляхів залізничного транспорту (ШЗТ):

$$\sum_{g \in H^k} x_{y\lambda}^{ШЗТ}(t) - \sum_{y \in H^n} \sum_{\lambda \in H^k} a_{y\lambda} x_i^{ШЗТ}(t) - v_i^{ШЗТ}(t) = y_i^{ШЗТ}(t) \geq y_0^{ШЗТ}(t);$$

$$\begin{cases} \sum_{y \in H^n} \sum_{g \in H^k} v_{lg}^e ШЗТ x_{yg}^{ШЗТ}(t) = v_m^{ШЗТ^b}(t) + v_m^{E^c}(t); \\ \sum_{y \in H^n} \sum_{g \in H^k} v_{lg}^{ШЗТbc} x_{yg}^{ШЗТ}(t) = v_m^{ШЗТ^b}(t) + v_m^{ШЗТ^c}(t) \leq H_K; \\ \sum_{y \in H^n} \sum_{g \in H^k} \beta_{1\lambda g}^{ШЗТ} x_{yg}^{ШЗТ}(t) - \sum_{\tau=1}^l N_{\lambda g}^{ШЗТ}(\tau) \leq N_{\lambda g}^{ШЗТ}, \end{cases} \quad (5)$$

де $y_0^{ШЗТ}$ – обмеження для надання l -того виду послуг/продукції;
 $a_{y\lambda}$ – коефіцієнт витрат y -го ресурсу для надання l -того виду послуг/продукції на g -тому технологічному модулі (рухомому складі залізниці);
 $v_{lg}^{ШЗТbc}$ – питомий коефіцієнт забруднення під час експлуатації / споживання під час будівництва i -тої ділянки колії на g -тій території;
 $v_{lg}^e ШЗТ$ – питомий коефіцієнт утворення m -их транспортних відходів;
 H_K – копроємність навколишнього природного середовища;
 $\beta_{1\lambda g}^{ШЗТ}$ – коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ -го рухомого складу при перевезенні i -го пасажира чи вантажу;
 $N_{\lambda g}^{ШЗТ}$ – збільшення потужностей λ -го рухомого складу на g -тій дистанції колії і/або технологічному модулі.

Екологічний компартмент (Е):

$$\sum x_i^E(t) - \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} x_i^E(t) - \sum_q v_i^E(t) = y_i^E(t) \geq y_0^E(t);$$

$$\begin{cases} y_o^E(t) = y_o^{E-1}(t) + \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} x_i^E(t) \leq L_r^E \\ \sum_{g \in H^p} \beta_{q\lambda} x_i^E(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{\lambda g}^E(\tau) \leq N_{\lambda q}, \end{cases} \quad (6)$$

де $a_{r\lambda}$ – коефіцієнт витрат r -го виду ресурсів при експлуатації q -го рухомого складу на λ -дій дистанції колії;

L_r^E – гранично допустима доза токсиканта.

Системний біоенергетичний аналіз дає змогу врахувати не тільки прямі витрати енергії, речовини та ресурсів, але й витрати живої праці робітників та службовців. В основі пропонованого аналізу лежить визначення коефіцієнта біоенергетичної ефективності, кількісним виразом якого є відношення енергії, акумульованої в продукції чи послугі (енерговміст), до сумарних витрат енергії та її виробництва (енергоємність):

$$\eta = \frac{E_{\Pi}}{\sum_{i=1} \sum_{j=1} C_{ij}^k x_{ij}^k}, \quad (7)$$

де E_{Π} – енерговміст залізничного транспорту, ГДж/ц;

C_{ij}^k – енергетичний еквівалент k -го елемента i -го виду витрат для кожного технологічного процесу j , ГДж/(ц, м², люд.год);

x_{ij}^k – величина k -го елемента i -го виду витрат для кожного технологічного процесу j , ц, м², люд.год;

i, k – види витрат та їх елементів: прямі (електроенергії, палива, природних комплексів і т.д.), непрямі (вплив з боку залізничної інфраструктури: механічний, фізичний, хімічний, біологічний, естетичний вигляд);
 j – технологічні процеси.

5. Кіберфізична суть консорційних екотонів захисного типу

Структура і склад інформаційних потоків системи погодження антропогенної дії повинні відповідати структурі та функціональним особливостям КЕЗТ і узгоджуватися з режимами природокористування. Діагностику об'єктів КЕЗТ слід проводити на основі відношення копроемності оточуючого середовища до природоємності КЕЗТ.

Особливої уваги й аналізу заслуговує кібернетична суть запропонованого підходу. На відміну від цілком біотичних систем, які, за В.І. Вер-

надським [7, 8], виникли спонтанно, стихійно, природним шляхом, формувалися впродовж тривалого часу органічної еволюції і мають такого самого походження генетичні механізми саморегуляції, КЕЗТ є наслідком потужної роботи людського розуму і керованої ним праці [9]. Їхнє зародження також було спонтанним, стихійним і природним, але їхні механізми саморегуляції за своєю суттю – соціального походження і генезисно пов'язані з вищою від біотичної формою організації, оскільки будучи за своєю суттю біологічними об'єктами виконують функції інженерних споруд на шляхах залізничного транспорту.

Після того, як виробнича діяльність охопила цілу біосферу, вона (біосфера) разом з іншими блоками соціосфери опинилася в єдиному кібернетичному контурі управління [10] – інтелектуальному, перетворившись в трофічну, ресурсну і середовищну базу соціосфери, а її стан з часом потрапив у залежність від ефективності роботи регуляторних механізмів останньої.

Кіберфізична система (КФС) являє собою складну систему, яка об'єднує обчислення, комунікації та фізичні процеси. Інформаційна система (ИС) КФС має ієрархічний рівень структури, потоки інформації та систему прямих і зворотних зв'язків і ґрунтується на гіпотезі про те, що зміни у системі зумовлені цими зв'язками. Отримання кінцевого результату – є функцією параметрів окремих блоків системи, якими необхідно керуватися при обґрунтуванні та прийнятті управлінських рішень щодо еколого-економічного розвитку КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту.

На рисунку 3 наведено модуль екологічного аналізу КЕЗТ. Екологічний аналіз включає ідентифікацію КЕЗТ – це процес розпізнавання системою показників і параметрів, що визначають лісове насадження, як КЕЗТ; оцінка використання потенціалу КЕЗТ – застосування запасів та засобів компонентів КЕЗТ, що можуть бути використані для виконання захисних функцій на шляхах залізничного транспорту; виділення повнопрофільних та неповнопрофільних КЕЗТ – класифікація КЕЗТ за ознаками профільності, тобто чітко простежуваною структура смуг; встановлення екологічної ємності – узагальнена характеристика, що кількісно відповідає максимальному техногенному навантаженню, яке може витримувати впродовж тривалого періоду сукупність реципієнтів та екологічних систем КЕЗТ без порушення їхніх структурних і функціональних властивостей.

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

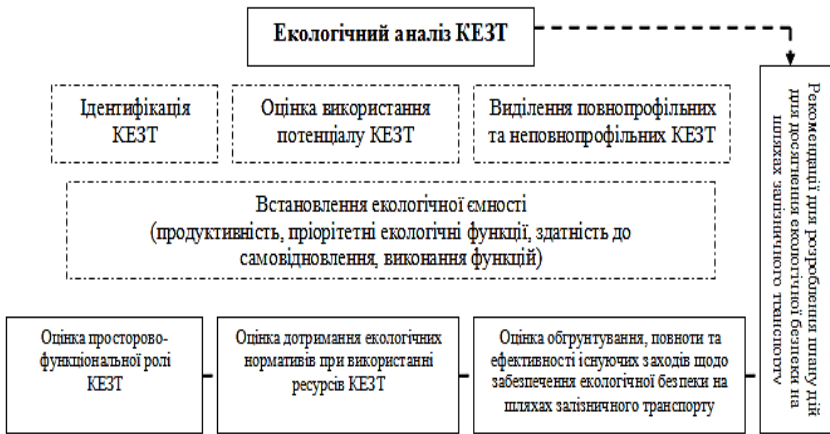


Рис. 3. Модуль екологічного аналізу КЕЗТ

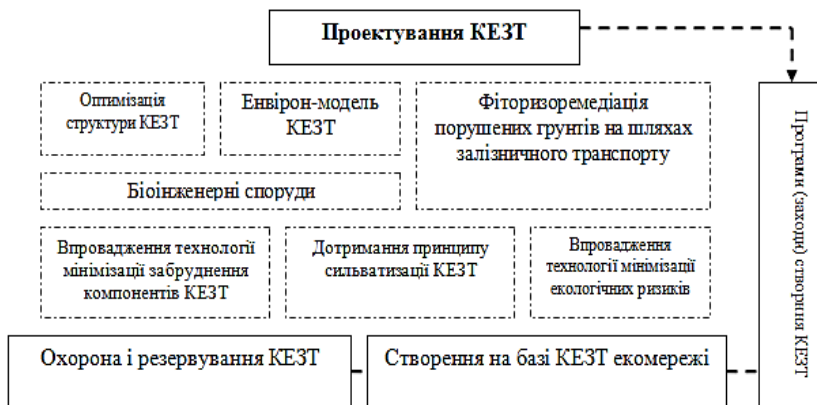


Рис. 4. Модуль проектування КЕЗТ

На рисунку 4 наведено модуль проектування КЕЗТ. Алгоритм застосування показників передбачає:

- оптимізацію структури КЕЗТ – знаходження екстремуму певної функції або вибору найкращого (оптимального) варіанту з безлічі можливих – найбільш надійним способом знаходження найкращого варіанту є порівняльна оцінка всіх можливих варіантів (альтернатив);

- компртмент-модель КЕЗТ – метод аналізу статистичних даних КЕЗТ, як сукупності блоків, повязаних між собою вхідними і вихідними потоками речовини і енергії;
- фіторизоремедіація ґрунту – в основу методу поставлено задачу розробки нового ефективного, універсального, доступного, екологічно та економічно обґрунтованого способу ремедіації спрямованого на культивування комплексу ремедіатив: мікоризні гриби та асоційовані з ними рослинні мікроорганізми, що володіють потенціалом до високої ризосферної біоремедіації ґрунту *in situ*;
- біоінженерні споруди – склад і структура насаджень, які за умови інтенсифікації залізниці здатне зберігати/відновлювати біотичне та ландшафтне різноманіття, підвищувати продуктивність КЕЗТ і здатність їх до самовідновлення, забезпечувати екологічну безпеку території – такий стан, за якого не виникають екологічні ризики, зберігається здатність КЕЗТ виконувати тепер і в майбутньому економічні, екологічні і соціальні функції на шляхах залізничного транспорту.



Рис. 5. Модуль екосистемного моніторингу і контролю якості КЕЗТ

На рисунку 5 наведено модуль екосистемного моніторингу і контролю якості КЕЗТ. Екосистемний моніторинг і контроль якості КЕЗТ доцільно проводити за наступними показниками: функціональна роль ЕЗТ; структурно-функціональні особливості КЕЗ.

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

Для ефективного обліку необхідно мати достовірну, своєчасну і повну інформацію про головні параметри поточних станів компонентів КЕЗТ і техногенних факторів, що впливають на них. До інформації, яка формує основу науково обгрунтованих рішень, необхідно висувати такі вимоги:

- повнота і збалансованість, отримані показники повинні дозволяти використовувати обрану стратегію оцінки і відповідати поставленим цілям проведення екологічного моніторингу: визначати ступінь емісії забруднювачів, характеризувати проблеми якості навколишнього природного середовища;
- чутливість – доцільно було б встановити для кожної змінної відповідний діапазон значень, в межах якого вона може змінюватися, і відповідно до цього відібрати коректні методики її визначення;
- статистична залежність між станом консорції та екотоном вцілому;
- можливість інтерпретації отриманої інформації;
- доступність і надійність даних;
- принцип біоіндикації, як напрямок підвищення обсягів отримання екологічної інформації при збереженні витрат на реалізацію програм.

Екосистемний принцип моніторингу і контролю якості КЕЗТ дозволить підвищити: рівень адекватності дійсному екологічному стану на шляхах залізничного транспорту його інформаційної моделі; оперативність отримання та достовірність первинних даних за якістю КЕЗТ на залізниці; рівень і якість інформаційного обслуговування споживачів екоінформації на основі мережевого доступу до банків та баз даних.

6. Висновки

Для отримання достовірної інформації необхідно запропонований підхід реалізовувати в таких напрямках:

- застосування не тільки методів математичної статистики, а й інформації про механізми реакції екотонів на зовнішній вплив;
- виявлення ступеня впливу конкретних зовнішніх факторів на стан НПС;
- встановлення впливу взаємозв'язків різних параметрів;
- вивчення періодичності часової і просторової мінливості аналізованих параметрів у консорціях;

- отримання можливості роздільної оцінки кількісних параметрів розвитку природних і антропогенних процесів в консорціях і прогнозування тенденцій в екотонах при сукупному впливі природних і антропогенних факторів;

- визначення оптимального числа натурних вимірювань одного параметра в екотоні і рівня достатньої точності інструментальних засобів екологічного моніторингу.

Загальний алгоритм використання визначених показників поєднує встановлення і оцінку відповідних факторів НПС шляхом прямого або непрямого визначення за матеріалами моніторингу їх кількісних показників, а також створення на основі багатоспектральних даних просторової основи для оцінки впливу об'єкті залізниці на стан НПС.

Запропонований підхід враховує властивості природних комплексів: багатозв'язковість, стійкість, комутативності, адитивність, інваріантність, а також багатфакторна кореляція компонентів природи:

- багатозв'язковість виражається в різнохарактерній дії транспорту на природу, яке може викликати в ній зміни, які складно врахувати. Якщо виразити об'єкти залізничного транспорту $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, КЕЗТ $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, а зв'язки, що виникають між ними $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$, тоді якість стану НПС на ШЗТ (N) в будь-який момент часу (t) можна виразити функціонально залежністю:

$$Nt = \Phi[x(t), y(t), k(t)] \quad (8)$$

- адитивність – це можливість багатопараметричного складання різних джерел техногенної і антропогенної дії на природу, що може привести до непередбачуваних змін у ній. Надходження забруднень в КЕЗТ від об'єктів залізничного транспорту $dP_{MЗТ}/dt$ та інших об'єктів регіону $dP_{фон}/dt$ обмежується самоочишувальною здатністю НПС $dP_{самооч}/dt$, що виражається формулою:

$$dP_{фон}/dt + dP_{MЗТ}/dt \leq dP_{самооч}/dt \quad (9)$$

- інваріантність є властивістю екосистем зберігати стабільність у межах регламентованих техногенних і антропогенних дій.

$$dP_{ЗКД}/dt \leq dP_{відновл}/dt \quad (10)$$

де $dP_{ЗКД}/dt$ – кількість забруднених компонентів КЕЗТ за одиницю часу; $dP_{відновл}/dt$ – відновлювальні можливості КЕЗТ за компоненто.

- стійкість – це здатність екосистем зберігати початкові параметри до природної, техногенної і антропогенної дії.

The cyber physical principle management of capriciousness of landscape...

• Багатофакторна кореляція характеризує КЕЗТ з позицій їх зумовленості до випадкових і невідповідних подій з аналітичним зв'язком між ними:

$$d\Pi_{\text{кор}}/dt > dY_{\text{зм}}/dt, \quad (11)$$

де $d\Pi_{\text{кор}}/dt$ – стан КЕЗТ за методикою *eco*-індикатора 99; $dY_{\text{зм}}/dt$ – вплив на стан КЕЗТ, що може виражатись в еко-балах.

Список літератури:

1. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Комп'ютерні системи та мережі. – 2014. – № 806. С. 154-161.
2. Дейлі Г. Поза зростанням. Економічна теорія сталого розвитку. – К.: Інтелсфера, 2002. 246 с.
3. Мирцхулава Ц.Е. Количественная оценка предельно допустимых нагрузок на ландшафт // Известия АН. Серия географическая. – № 3. – 2001. – С. 68–74.
4. Чміль А.І. Дослідження енергетичної досконалості біотехнічних систем у тваринництві // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК» – 2015 – 209/2 – С. 58–63. «Енергетика і автоматика», № 1, 2015 р. 29.
5. Чміль А.І. Обґрунтування оптимальної структури сільськогосподарської еколого-біотехнічної системи // Актуальні питання фізіології рослин в аспекті екологічних проблем. – Чернівці, 1995. – С. 64-65.
6. Економічна безпека: навч. посіб. / О. Є. Користін, О. І. Барановський, Л. В. Герасименко та ін. // За ред. О. М. Джужі. – К. : Алерта ; КНТ ; Центр навчальної літератури, 2010. – 368 с.
7. Борисенков Е.П. Идеи Вернадского В.И. о ноосфере и биогеохимических циклах и их современное звучание при изучении процессов, происходящих в климатической Системе и в обществе // «Академия Трипитаризма». – М.: Эл. № 77-6567. публ. 10464, 10.06.2003. <http://www.Trinitas.ru/rus/doc/0203|001a|02030016.htm>.(-7с).
8. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. – М.: Наука, 1989. 263 с.
9. Бачинский Г.А. Социоэкология: теоретические и прикладные аспекты. – К.: Наук. думка, 1991. 153 с.
10. Бокарев В.А. Понятие управления и оптимизации биосферы // Методологические аспекты исследования биосферы. – М.: Наука, 1975. – С. 268-282.

References:

1. Meljnyk, A.O. (2014). Kiberfizychni systemy: problemy stvorennja ta naprjamy rozvytku [Cyberphysical systems: problems of creation and directions of development]. *Visnyk Nacionaljnogho universytetu "Ljvivs'jka politehnikha" Komp'juterni systemy ta merezhi*, (806): 154-161.

2. Dejli Gh. (2002). Poza zrostannjam. Ekonomichna teorija stalogho rozvytku [Out of growth. Economic Theory of Sustainable Development]. K.: Intelsfera, p. 246.
3. Myrckhulava, C.E. & Yzvestyja, A.N. (2001). Kolychestvennaja ocenka predeljno dopustymykh naghruzok na landshaft [The Quantitative estimate of the maximum allowable loads on the landscape]. *Seryja gheografycheskaj*, (3): 68–74.
4. Chmilj, A.I. (2015). Doslidzhennja energhetychnoji doskonalosti biotexnichnyx system u tvarynnyctvi [The Research of energy perfection of biotechnical systems in livestock breeding]. *Naukovyj visnyk NUBiP Ukrainy. Serija "Texnika ta energhetyka APK"*, (209/2): 58–63.
5. Chmilj, A.I. (1995). Obghruntuvannja optimaljnoji struktury siljsjkoghospodarsjkoi ekologho-biotekhnichnoji systemy [The Justification of the optimal structure of the agricultural ecological and biotechnical system]. *Aktualjni pytanja fiziologhiji roslyn v aspekti ekologhichnykh problem*. Chernivci: pp. 64–65. (in Ukrainian).
6. Korystin O.Je., Baranovs'kyj O.I., Gherasymenko L.V. ta in. (2010)/ Ekonomichna bezpeka [Economic security]: *navch.posib*. K.: Alerta ; KNT; Centr navchalnoji literatury, 368. (in Ukrainian).
7. Kompleksna derzhavna prohrama energhozbere-zhennja Ukrainy [Integrated state-of-the-art programma energhozbere-zhennja Ukrainy]: zatverdzhena Postanovoju Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 05.02.1997 № 148 (zizminamy ta dopovnennjamy) Retrieved from: <http://www.zakon.rada.gov.ua/>.
8. Borisenkov, E.P. (2003). Idei Vernadskogo V.I. o noosfere i biogeokhimicheskikh tsiklakh i ikh sovremennoe zvuchanie pri izuchenii protsessov, proiskhodyashchikh v klimaticheskoy Sisteme i v obshchestve [The Ideas of Vernadsky V.I. about the noosphere and biogeochemical cycles and their contemporary sound when studying processes occurring in the climate system and in society]. "Akademiya Tripitarizma". – M.: El. № 77-6567. Retrieved from: [http://www.Trinitas.ru/rus/doc/0203|001a|02030016.htm.\(-7c\)](http://www.Trinitas.ru/rus/doc/0203|001a|02030016.htm.(-7c)).
10. Vernadskyj, V.Y. (1989). Byosfera y noosfera [Biosfera i noosfera]. M.: Nauka, 263. (in Ukrainian).
12. Bachyns'kyj, Gh.A. (1991). Sotsioekologiya: teoreticheskie i prikladnye aspekty [Socioecology: theoretical and applied aspects]. K.: Nauk. dumka. 153. (in Ukrainian).
13. Bokarev, V.A. (1975). Ponyatie upravleniya i optimizatsii biosfery [The concept of management and optimization of the biosphere]. *Metodologicheskie aspekty issledovaniya biosfery*. M.: Nauka, pp. 268–282. (in Russian)