

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 338.24;20.1502.7

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДНИХ ЛАНДШАФТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Руда М.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Паславський М.М., Лентяков В.В.

Національний лісотехнічний університет України

Застосовано енергетичний підхід для представлення копроємності, як гранично допустимої зміни загального потоку біологічного перетворення енергії складних ландшафтних комплексів. Розроблено загальну математичну модель визначення копроємності консорційних екотонів захисного типу. Визначено копроємність консорційних екотонів захисного типу. Встановлено, що якість насадження доцільно оцінювати за двома показниками: життєздатність та захисна ефективність. Визначено напрями реалізації запропонованого підходу.

Ключові слова: екотон, консорція екотонів, компартмент, копроємність, система, екологічна безпека.

Постановка проблеми. Складність процесів, які відбуваються на залізничних шляхах породжує необхідність вирішення значної кількості задач, які виникають при проектуванні та створенні системи контролю якості захисту довкілля. За основу створення системи контролю якості захисту довкілля доцільно прийняти загальну структуру кіберфізичних систем [1]. 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 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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. 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 система є одночасно і матеріально-інформаційною, і інформаційно-матеріальною сутністю.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. 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, безперервний рух поїздів у будь-яку пору року. КЕЗТ є замкненою системою матеріальних потоків (на протизагу 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.

Мета статті. Застосування енергетичного підходу для представлення копроємності, як гранично допустимої зміни загального потоку біологічного перетворення енергії складних ландшафтних комплексів.

Виклад основного матеріалу. 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. Перевага такого підходу полягає в тому, що, поперше, 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 біо-

маси можна оцінювати концентрацію будь-якого важливого для живих організмів хімічної речовини, в тому числі політантів та седиментів).

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

Схему функціонування КЕЗТ подамо у вигляді чотирьох взаємопов'язаних компартментів: компартмент залізничного господарства (ЗТ), де біологічні та технологічні фактори мають визначальний вплив на величину антропогенного навантаження на КЕЗТ; компартмент шляхів залізничного транспорту (ШЗТ), яка функціонує, як постійне джерело антропогенного впливу на стан навколишнього природного середовища; власне КЕЗТ, як екологічного компартмента (Е), який охоплює природні об'єкти і процеси природокористування; компартмент управління (У) – алгоритми управління, математичне забезпечення, програми.

Функціонування КЕЗТ на шляхах залізничного транспорту утворює цілісну систему, об'єкт 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.

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 частини;
- ✓ 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 компартментів, яка полягає у перевезенні пасажирів та вантажів при мінімальних витратах речовини та енергії із забезпеченням максимальної екологічної безпеки.

Якість насадження оцінюється за двома показниками: життєздатність 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; поганий – коли будь-

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

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

$$u = (g, \lambda), \tag{1}$$

де $g \in H^k$ – схема технологічних процесів, що належать простору H^k (електрофіковані і неелектрофіковані залізничні шляхи, інтеперабельність, 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:

$$S(t) = A(S(\tau), u), \tag{2}$$

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:

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

де $\eta_i^{BE}(u_i)$ – показник біоенергетичної ефективності; $\eta_n^{EB}(u_n)$ – 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 ЕЕ.

Компартмент залізничного господарства (ЗТ):

$$\sum_{\lambda \in H^m} x_{i\lambda}^{3T}(t) - \sum_{j=1} \sum_{\lambda \in H^m} a_{ij\lambda} x_i^{3T}(t) - v_i^{3T}(t) = y_i^{3T}(t) \geq y_0^{3T}(t);$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{3T} \sum_{\lambda \in H^m} v_{i\lambda}^{bc3T} x_i^{3T}(t) = v_i^{b3T}(t) + v_i^{c3T}(t); \\ \sum_{j=1}^{3T} \sum_{\lambda \in H^m} v_{i\lambda}^{3Tbc} x_i^{3T}(t) = v_y^{3Tb}(t) + v_y^{3Tc}(t); \\ \sum_{i=1}^k \beta_{iy}^{3T} x_i^{3T}(t) - \sum_{\tau=1}^l N_{\lambda}^{3T}(t) \leq N_{\lambda 0}, \end{cases} \tag{4}$$

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):

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{y \in H^n} \sum_{g \in H^k} v_{lg}^{i, \text{ШЗТ}} x_{yg}^{\text{ШЗТ}}(t) = v_m^{\text{ШЗТ}^b}(t) + v_m^{\text{Ес}}(t); \\ \sum_{y \in H^n} \sum_{g \in H^k} v_{lg}^{\text{ШЗТ}^{bc}} x_{yg}^{\text{ШЗТ}}(t) = v_m^{\text{ШЗТ}^b}(t) + v_m^{\text{ШЗТ}^c}(t) \leq H_k; \\ \sum_{y \in H^n} \sum_{g \in H^k} \beta_{1\lambda g}^{\text{ШЗТ}} x_{yg}^{\text{ШЗТ}}(t) - \sum_{\tau=1}^l N_{\lambda g}^{\text{ШЗТ}}(\tau) \leq N^{\text{ШЗТ}}_{\lambda g}, \end{array} \right. \quad (5)$$

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

Екологічний компартмент (Е):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum x_i^E(t) - \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} x_i^E(t) - \sum_q v_i^E(t) = y_i^E(t) \geq y_0^E(t); \\ \left\{ \begin{array}{l} y_0^E(t) = y_0^{E-1}(t) + \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{r\lambda} x_i^E(t) \leq L_r^E \\ \sum_{g \in H^p} \beta_{q\lambda} x_i^E(t) - \sum_{\tau=1}^l N_{\lambda g}^E(\tau) \leq N_{\lambda q}^E, \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (6)$$

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.

Запропонований підхід враховує властивості природних комплексів: багатозв'язковість, стійкість, комутативності, адитивність, інваріантність, а також багатofакторну кореляцію компонентів природи.

Список літератури:

- Melnyk A.O. (2014). Kiberfizychni systemy: problemy stvorennja ta naprjamy rozvytku [Cyberphysical systems: problems of creation and directions of development]. Visnyk Nacionaljnogho universytetu "Ljvivs'jka politehnika" Komp'juterni systemy ta merezhi, (806): 154-161.
- Dejli Gh. (2002). Poza zrostannjam. Ekonomichna teorija stalogho rozvytku [Out of growth. Economic Theory of Sustainable Development]. K.: Intelsfera, p. 246.
- Myrckhulava С.Е. & Yzvestyja A.N. (2001). Kolychestvennaja ocenka predeljno dopustymykh naghruzok na landshaft [The Quantitative estimate of the maximum allowable loads on the landscape]. Seryja gheoghrafycheskaja, (3): 68-74.
- Chmilj A.I. (2015). Doslidzhennja energhetichnoji 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.
- Chmilj A.I. (1995). Obghruntuvannja optymalnoji struktury siljsjkgohospodarsjkoji ekologho-biotekhnichnoji systemy [The Justification of the optimal structure of the agricultural ecological and biotechnical system]. Aktualjni pytannja fiziologhiji roslyn v aspekti ekologhichnykh problem. Chernivci: pp. 64-65 (in Ukrainian).
- 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).
- Kompleksna derzhavna prohrama energhozber-zhennja Ukrainy [Integrated state-of-the-art programma energhozber-zhennja Ukrainy]: zatverdzhena Postanovoju Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 05.02.1997 № 148 (zizminamy ta dopovnennjamy). Retrieved from: <http://www.zakon.rada.gov.ua/>.
- Borisov E.P. (2003). Idei Vernadskogo V.I. o noosfere i biogeokhicheskikh tsiklakh i ikh sovremennoe zvuchanie pri izuchenii protsessov, proiskhodyashchikh v klimaticheskoj 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)).
- Vernadskij V.Y. (1989). Byosfera y noosfera [Biosfera i noosfera]. M.: Nauka, 263 (in Ukrainian).

Висновки та рекомендації. Для отримання достовірної інформації необхідно запропонований підхід реалізувати 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 навколишнього природного середовища (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'єкти залізничі на стан НПС.

Запропонована концепція має на меті автоматизувати процеси управління якістю функціонування КЕЗТ, що базується на наступних принципах: застосування не тільки методів математичної статистики, а й інформації про механізми реакції екотонів на зовнішній вплив; 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 біотичних і абіотичних факторів; визначення оптимальної кількості натурних вимірювань одного параметра в екотоні і рівня точності інструментальних засобів екосистемного моніторингу.

10. Bachynskij G.A. (1991). Sotsioekologiya: teoreticheskie i prikladnye aspekty [Socioecology: theoretical and applied aspects]. K.: Nauk. dumka. 153 (in Ukrainian).
11. 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).

Руда М.В.

Национальный университет «Львовская политехника»

Паславский М.М., Лентяков В.В.

Национальный лесотехнический университет Украины

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация

Применен энергетический подход для представления копроемности, как предельно допустимого изменения общего потока биологического преобразования энергии сложных ландшафтных комплексов. Разработана общая математическая модель определения копроемности консорциальных экотонов защитного типа. Определено копроемность консорциальных экотонов защитного типа. Установлено, что качество насаждения целесообразно оценивать по двум показателям: жизнеспособность и защитная эффективность. Определены направления реализации предложенного подхода.

Ключевые слова: экотон, консорция экотонов, компартмент, копроемность, система, экологическая безопасность.

Ruda M.V.

Lviv Polytechnic National University

Paslavsky M.M., Lentyakov V.V.

Ukrainian National Forestry University

ENERGY EFFICIENCY AND ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF COMPLEX LANDSCAPES

Summary

The energy approach was applied to represent the coprocapacity as the maximum permissible change in the total flow of the biological conversion of energy of complex landscapes. A general mathematical model has been developed to determine the coprocapacity of consortive protective ecotones. The coprocapacity of consortive protective ecotones has been determined. It is found that the quality of plantations is advisable to evaluate by using two indicators: viability and protective efficiency. The areas of implementation of the proposed approach have been outlined.

Keywords: ecotone, ecotone consortium, compartment, coprocapacity, system, environmental safety.