

## ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.06:519.8

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.95

ІЄРАРХІЧНО КЕРОВАНА ДИНАМІЧНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Желновач Г. М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Проаналізовано шляхи розробки концепції ієрархічно керованої динамічної системи. Проведено дослідження структури управління природно-господарськими системами як запоруки забезпечення екологічної безпеки дорожньої галузі. Розроблено принципи ієрархічного керування екологічними системами, що знаходяться в зоні впливу складових дорожньої галузі України.

*Ключові слова:* екологічна безпека, дорожня галузь, ієрархічно керована динамічна система, ієрархічно керована екологічна система, системний аналіз.

**Вступ**

Забезпечення екологічної безпеки у функціонуванні дорожньої галузі України є важливим аспектом її повноцінного й міжнародно орієнтованого розвитку [1–2]. Аналіз діяльності Державного агентства автомобільних доріг України щодо забезпечення екологічної безпеки дорожньої галузі вказує на пріоритетність розробки національних стандартів з оцінки впливів автомобільних доріг загального користування на навколишнє середовище та стандартизації методів вимірювань показників забруднення навколишнього середовища в межах впливу автомобільних доріг та об'єктів дорожньої інфраструктури [3]. Варто зауважити, що реалізація екологічно орієнтованого розвитку багатофункціональних техногенно-інфраструктурних об'єктів неможлива лише шляхом впровадження відповідних стандартів, оскільки потребує розробки застосування принципів системного аналізу щодо підвищення якості навколишнього середовища за умови забезпечення вимог економічного розвитку.

**Аналіз публікацій**

Аналіз публікацій із зазначеної тематики [4–8] дозволив встановити, що в наукових роботах приділяється достатньо велика увага питанням забезпечення екологічної безпеки в розбудові й функціонуванні складових дорожньої галузі та об'єктів дорожньо-транспортної інфраструктури. Одночасно з цим питанням розробки системного підходу щодо забезпечення сталого та екологічно безпечного розвитку дорожньої галузі шляхом застосування ієрархічно керованої динамічної системи екологічного управління не

було приділено достатньої уваги, чому й присвячена ця наукова стаття.

**Мета і постановка завдання**

Метою роботи є аналіз і обґрунтування необхідності та доцільності застосування ієрархічно керованої динамічної системи для забезпечення екологічної безпеки у функціонуванні складових дорожньої галузі України. До основних завдань роботи належать:

- аналіз шляхів розробки концепції ієрархічно керованої динамічної системи;
- дослідження структури управління природно-господарськими системами як чинником забезпечення екологічної безпеки дорожньої галузі;
- розробка принципів ієрархічного керування екологічними системами, що знаходяться в зоні впливу складових дорожньої галузі України.

**Структура ієрархічно керованої динамічної системи**

У нашому випадку розглядається найпростіша конфігурація ієрархічно керованої динамічної системи (ІКДС), яка містить елементи: джерело впливу верхнього рівня (керуючий), джерело впливу нижчого рівня (керований), керована динамічна система (КДС) (рис. 1) [9].

Взаємодія між елементами ІКДС ґрунтується на таких принципах: керуючий впливає на керованого, а керований, у свою чергу, – на КДС (безпосередній вплив керуючого на КДС відсутній) як сукупне джерело впливу на КДС, що має ієрархічну структуру.

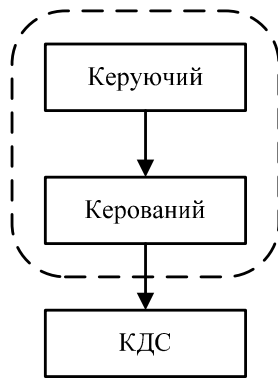


Рис. 1. Ієрархічно керована динамічна система

Доцільність використання поняття ІКДС полягає в тому, що, впливаючи на КДС, керований намагається досягти певних цілей, яких вона не може забезпечити, оскільки є пасивним об'єктом. Саме тому необхідне введення в систему керуючого, який здатний впливати на керованого у вказаному діапазоні, використовуючи комбіновану систему заохочення та покарання. Особливого значення використання ІКДС набуває в дослідженні природно-господарських або еколого-економічних систем, до яких належить і система забезпечення екологічної безпеки дорожнього господарства.

Для визначення об'єктивних цілей управління ІКДС зазвичай використовують два підходи:

- перший потребує, щоб система знаходилася в певних заданих межах простору стану, вимагаючи, щоб вона знаходилася в «ідеальному стані», від якого не повинна занадто відхилятися;

- другий підхід пов'язаний із поняттям стійкості, що вимагає від системи дотримуватися певної траєкторії під дією зовнішніх впливів (зазвичай незначних).

Для управління еколого-економічними системами доцільно застосовувати саме другий підхід, оскільки вони вимагають дотримання вимог щодо стійкості та сталості. Найбільш поширеним формулюванням поняття стійкості є стійкість за Ляпуновим рівноважних рішень диференціальних рівнянь щодо збуджуючих початкових умов або рівнянь руху [10]. Близьким до цієї вимоги є принцип Ле-Шательє, згідно з яким зовнішні впливи, що виводять систему з рівноваги, стимулюють у ній процеси, спрямовані на мінімізацію результатів такого впливу [11].

Саме застосування підходу щодо забезпечення стійкості в управлінні ІКДС дає змогу високоорганізованим системам (насамперед

еколого-економічним та природно-господарським) протистояти зовнішнім впливам або пристосовуватися до них, забезпечуючи збереження умов свого існування та цілеспрямованого розвитку.

У контексті цього дослідження доцільно розглянути адаптивні системи, до яких належать як винятково екологічні, так і еколого-економічні системи. Будь-яка система може вважатися адаптивною, тобто такою, що здатна зберігати свій рівноважний стан та нормальне існування (гомеостаз системи), якщо вона має та ефективно застосовує механізми адаптації до впливів. Адаптивні системи мають ієрархічну структуру, що містить елементи:

- система – об'єкт впливу;
- зовнішні впливи в певному діапазоні;
- адаптаційні реакції (механізми адаптації) системи, що залежать від стану системи.

Оскільки механізми адаптації відрізняються щодо еколого-економічних та природно-господарських систем, то вважаємо за доцільне зупинитися на них докладно. Серед таких механізмів доцільно виокремити «вбудовані», що є невід'ємною частиною системи (наприклад, механізми самоочищення екосистеми), та «віднесені», які є відносно незалежними від адаптивної системи структурами та мають за мету збереження гомеостазу системи (наприклад, екологічна інспекція).

Отже, ІКДС є адаптивною системою, у межах якої КДС є об'єктом впливу, керований – джерело впливу (поряд з некерованими чинниками), а керуючий відіграє роль віднесеного механізму адаптації.

### Ієрархічно керовані екологічні системи

Взаємодія природи та суспільства на різних рівнях формалізується поняттям природно-господарської або еколого-економічної системи (рис. 2), що характерно для функціонування системи дорожнього господарства.

У загальному вигляді природно-господарська система є контуром, утвореним ієрархічними підструктурами, оскільки, з одного боку, господарча система впливає на екологічну, а з іншого, – екологічна впливає на господарську.

Одночасно з цим вплив на природне середовище слід вважати більш вагомим з точки зору наслідків як для довкілля, так і для суспільства, тому доцільно говорити про ієрархію природно-господарської системи загалом (господарська система є керуючою, а екологічна – керованою).

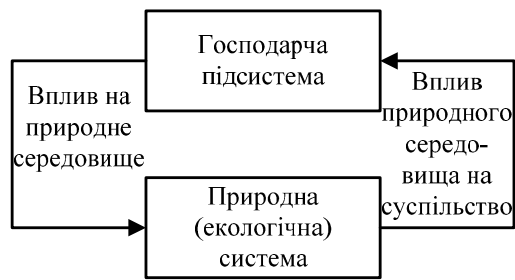


Рис. 2. Схема природно-господарчої системи

Отже, природно-господарська система містить аспекти:

- господарську підсистему;
- екологічну підсистему;
- вплив природи на суспільство;
- вплив суспільства на природне середовище.

До складу господарської підсистеми належать такі елементи та зв'язки:

- господарська діяльність (промисловість, енергетика, сільське господарство, транспорт, будівництво тощо);
- населення (населені пункти, демографічні процеси, рекреація тощо);
- правова та адміністративна регуляція (екологічне право, нормативні документи в галузі охорони довкілля та у використанні природних ресурсів, органи охорони довкілля тощо).

Отже, назва «господарська» система є не зовсім коректною, оскільки слід враховувати низку аспектів соціального характеру, тому більш точним терміном буде «соціально-економічна підсистема».

Ключове значення в розгляді екологічної підсистеми та забезпеченні її екологічної безпеки належить поняттю «біогеоценоз», який, за В.М. Сукачовим, є сукупністю на відомій протяжності земної поверхні однорідних природних явищ (атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу та мікроорганізмів, ґрунтів та гідрологічних умов), що має особливу специфіку взаємодії всіх її компонентів і певний тип обміну речовиною та енергією їх один з одним та з іншими явищами природи [12].

Стосовно дорожньої галузі України, то вплив природного середовища на неї відбувається в таких напрямках:

- надання фізичного базису (території) для розвитку об'єктів інфраструктури дорожньої галузі;
- надання ресурсів для розбудови мережі автомобільних доріг та супутньої інфраструктури

держави (сировина, матеріали, енергія).

Вплив дорожньої галузі на природне середовище здійснюється в таких формах:

а) деструктивний вплив:

- забруднення (хімічне та фізичне) навколишнього природного середовища,
- споживання природних ресурсів;

б) конструктивний вплив:

- охорона довкілля та відновлення її ресурсів.

Потрібно зауважити, що особливе місце в процесі забезпечення екологічної безпеки дорожньої галузі України, яка відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» є «... таким станом навколишнього природного середовища, коли забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей» [13], займає проблема оцінки наслідків екодеструктивного впливу.

У цьому контексті під оцінкою впливу на довкілля розуміється діяльність, спрямована на визначення та передбачення результатів утручання людського суспільства в біогеофізичне середовище та пов'язаного з цим впливом на здоров'я та благополуччя людини, а також діяльність щодо узагальнення та поширення інформації щодо впливу [14].

Вважаємо за доцільне під час аналізу еколого-економічних та природно-господарських систем дорожнього господарства України використовувати концепцію ІКДС, згідно з якою природна (екологічна) підсистема тлумачиться як КДС, а в дорожній підсистемі виокремлюються керований (безпосереднє джерело техногенного впливу на довкілля) та керуючий (контролює рівень такого впливу з метою забезпечення екологічної безпеки дорожнього господарства). Таку систему доцільно назвати ієрархічно керованою екологічною системою (ІКЕС). Варто зауважити, що такий підхід справедливо застосовувати не лише для комплексу дорожнього господарства, але й для будь-якої природно-господарчої системи.

Отже, ІКЕС – окремий випадок ІКДС, який є елементом складних еколого-економічних систем, що відіграє ключову роль у проблемі оцінки впливу на довкілля та, як наслідок, забезпечення екологічної безпеки, зокрема дорожнього господарства держави.

**Принципи ієрархічного управління екологічними системами, що знаходяться в зоні впливу складових дорожньої галузі**

Загальна задача ієрархічного управління динамічної системи може бути сформульована таким чином:

$$x(t) \in \Omega, t = 1, 2, \dots, T; \quad (1)$$

$$J_v = \sum_{t=1}^T g_v(t, v(t)) \rightarrow \max; \quad (2)$$

$$v(t) \in V(t), t = 1, 2, \dots, T; \quad (3)$$

$$J_u = \sum_{t=1}^T g_u(t, x(t-1), u(t), v(t)) \rightarrow \max; \quad (4)$$

$$u(t) \in U(t, x(t-1), v(t)), \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (5)$$

$$\xi(t) \in \Xi(t), t = 1, 2, \dots, T; \quad (6)$$

$$x(t+1) = x(t) + f(t, x(t), u(t), \xi(t)); \quad (7)$$

$$x(0) = x_0, t = 0, 1, \dots, T-1, \quad (8)$$

де  $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$  – вектор стану КДС у момент  $t$ ;  $v(t) = (v_1(t), \dots, v_p(t))$  – вектор керуючих впливів Керуючого на керованого в момент  $t$ ;  $u(t) = (u_1(t), \dots, u_m(t))$  – вектор керуючих впливів керованого на КДС в момент  $t$ ;  $\xi(t) = (\xi_1(t), \dots, \xi_k(t))$  – вектор неконтрольованих зовнішніх впливів на КДС у момент  $t$ ;  $V(t)$  – область допустимих керувань Керуючого в момент  $t$ ;  $U(t, x(t-1), v(t))$  – область допустимих керувань Керованого в момент  $t$ ;  $\Xi(t)$  – галузь можливих зовнішніх чинників у момент  $t$ ;  $g_v(t, v(t))$  – цільова функція Керуючого в момент  $t$ ;  $J_v$  – загальна цільова функція Керуючого за період  $[0, T]$ ;  $g_u(t, x(t-1), u(t), v(t))$  – цільова функція Керованого у момент  $t$ ;  $J_u$  – загальна цільова функція Керованого за період  $[0, T]$ ;  $f(t, x(t), u(t), \xi(t))$  – оператор переходу КДС зі стану в момент  $t$  у стан у момент  $t+1$  (задана нелінійна функція);

$x_0 = (x_{01}, \dots, x_{0n})$  – відомий початковий стан КДС;  $T$  – період прогнозування;  $\Omega$  – бажана область станів КДС.

Умова (1) формалізує об'єктивну мету управління: вимагається, щоб у кожний момент часу КДС знаходилася у певній заданій області  $\Omega$  простору станів  $R^n$ . Максимум у (2) шукається за різними траєкторіями  $\{v(t)\}$ , що задовольняють (3); отже, (2)–(3) є задача оптимізації для Керуючого (за умови обов'язкового обмеження (1)). Відповідно, співвідношення (4)–(5) утворюють оптимізаційну задачу для Керованого; щодо зовнішніх чинників  $\xi(t)$  у загальному випадку відомо, що вони задовольняють умові (6). Співвідношення (7)–(8) описують динаміку керованої системи в умовах впливу з боку Керованого та зовнішніх чинників за відомих початкових умов.

З математичної точки зору співвідношення (1)–(8) задають багатокрокову ієрархічну взаємодію двох осіб (Керуючого і Керованого) з врахуванням впливу зовнішніх чинників  $\xi(t)$ . Специфічний характер теоретико-практичної моделі (1)–(8) обумовлює доцільність розгляду для неї спеціальних принципів оптимальності. Зазначимо:

$$x = (x(1), \dots, x(T)), \xi = (\xi(1), \dots, \xi(T)), \quad (9)$$

$$u = (u(1), \dots, u(T)), v = (v(1), \dots, v(T)), \quad (10)$$

$X, \Xi, U, V$  – відповідні області значень.

За умови наявності фіксованих значень  $\xi$ ,  $\in, \Xi$  маємо:

$$J_u = J_u(x, u, v), J_v = J_v(v). \quad (11)$$

Розв'язанням задачі оптимізації (1)–(8) є пара керуючих траєкторій  $u, v$ ,  $u \in U(x, v)$ ,  $u \in V$ . За умови фіксованого значення  $\xi$  траєкторія КДС однозначно визначається вибором  $u$ :  $x = x(u)$ .

Вважаємо за необхідне для оптимізації моделі ввести такі позначення:

$$U_\Omega = \{u \in U : x(u) \in \Omega\}; \quad (12)$$

$$U_J(v) = \text{Arg max}(u \in U(x, v)) J_u(x, u, v); \quad (13)$$

$$V_J = \text{Arg max}(v \in V) J_v(v); \quad (14)$$

$$V_{\max} = \text{Arg max}(v \in V) J_v(x, u, v); \quad (15)$$

$$V_{\min} = \text{Arg max}(v \in V) J_v(x, u, v). \quad (16)$$

Оскільки умова (1) відображає фундаментальні вимоги до стану КДС, то серед можливих принципів оптимальності рішення співвідношень (1)–(8) потрібно розглядати тільки ті, які є підмножинами множини:

$$C_{\Omega} = U_{\Omega} \times V. \quad (17)$$

Серед таких підмножин доцільно виділяти наступні:

$$C_{\Omega J}^u = (U_{\Omega} \cap U_J(v)) \times V; \quad (18)$$

$$C_{\Omega J}^v = U_{\Omega} \times V_J; \quad (19)$$

$$C_{\Omega J}^{uv} = C_{\Omega J}^u \cap C_{\Omega J}^v; \quad (20)$$

$$C_{\Omega J \max}^{uv} = (U_{\Omega} \cap U_J(v)) \times V_{\max}; \quad (21)$$

$$C_{\Omega J \max}^{uv} = C_{\Omega J \max}^{uv} \cap C_{\Omega J \max}^u. \quad (22)$$

Належність задачі оптимізації (1)–(8) кожній з цих множин породжує відповідні принципи оптимальності, змістовний сенс яких стосовно ІКЕС розглянуто нижче.

Щодо ІКЕС модель (1)–(8) доцільно інтерпретувати таким чином.

Вимогу (1) можна розуміти як умову «екологічного імперативу» [15], тобто область  $\Omega$  – це сукупність діапазонів значень основних показників стану екосистеми, у яких гарантується її нормальний розвиток. Доцільно задавати її як паралелепіпед вигляду:

$$\Omega = [x_1^H, x_1^B] \times [x_2^H, x_2^B] \times \dots \times [x_n^H, x_n^B] \quad (23)$$

де  $[x_i^H, x_i^B]$  – діапазон допустимих значень  $i$ -го показника стану екосистеми.

Керований розглядається як джерело впливу на екосистему, а двома пріоритетними видами впливу є споживання природних ресурсів та забруднення навколишнього природного середовища. Стосовно дорожньої галузі України:

– до джерел першого типу належать підприємства з видобування будівельних матеріалів (піщані, гранітні кар'єри тощо), інфраструктурні об'єкти на етапі життєвого циклу «будівництво»;

– до джерел другого типу – підприємства з виготовлення будівельних матеріалів (асфальто- та цементобетонні заводи), інфраструктурні об'єкти на етапі життєвого циклу «експлуатація» (мости, естакади, автомобільні дороги тощо).

Отже, вплив  $u(t)$  – це або кількість споживаних у році  $t$  природних ресурсів (видобуто будівельної сировини, спожито води, знищено біомаси), або розмір забруднення навколишнього природного середовища в році  $t$  (кількість забруднювальних речовин, що потрапляють у довкілля внаслідок функціонування складових дорожньої галузі).

Розглянемо механізм застосування такого підходу на абстрактному прикладі підприємства з видобування будівельних матеріалів – гранітного кар'єру, для якого  $u(t)$  – кількість видобутого граніту за рік. Тоді область допустимих керувань Керованого визначається трьома видами обмежень:

1) фізичні обмеження:

$$0 \leq u(t) \leq x(t), \quad (23)$$

де  $x(t)$  – наявна кількість балансових запасів граніту в кар'єрі на початок року  $t$ ;

2) техніко-економічні обмеження:

$$a(t)u(t) \leq b(t), \quad (24)$$

де величини  $a(t)$ ,  $b(t)$  визначають технологічні можливості підприємства з видобутку та подрібненню граніту. Однак можливий і більш загальний вигляд техніко-економічних обмежень:

$$a(t, v(t))u(t) \leq b(t, v(t)), \quad (25)$$

що відповідає припущенню щодо можливості Керуючого впливати на технологічні па-

раметри Керованого в бік їхнього збільшення (дотації) або зменшення (заборони на видобуток);

3) адміністративно-правові обмеження:

$$u(t) \leq u^B(t), \quad (26)$$

де  $u^B(t)$  – ліміт видобутку, що встановлюється Керованим або визначається згідно із законодавством та контролюється Керуючим.

Цільову функцію  $J_u$  доцільно трактувати як сумарний прибуток підприємства за період  $[0, T]$ , а функцію  $g_u(t, x(t-1), u(t), v(t))$  – як прибуток у  $t$ -му році.

Розрахунок очікуваного прибутку  $J_u$  за період  $[0, T]$  вимагає врівноваження різночасових значень прибутку (дисконтування). Це означає, що функція  $g_u$  матиме вигляд:

$$g_u(t, x(t-1), u(t), v(t)) = \alpha^t h_u(x(t-1), u(t), v(t)), \quad (27)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт дисконтування.

Зазвичай вважається, що  $\alpha < 1$ , тобто цінність прибутку у віддалені моменти менша, ніж у найближчі. Однак можна розглядати й випадок  $\alpha > 1$ , що відповідає припущенню щодо збільшення цінності природних ресурсів у майбутньому.

Наявність змінної  $v(t)$  у переліку аргументів функції  $g_u$  означає, що Керуючий може вимірювати розмір річного прибутку Керованого. Позитивне прирощення відповідає премії (заохоченню), а негативне – штрафу (покаранню). Отже, вектор керуючих впливів Керуючого містить змінні, що відповідають як економічним параметрам (премії, штрафи, дотації), так і адміністративно-правовим (квоти, граничнодопустимі концентрації, граничнодопустимі впливи тощо). Роль Керуючого в ІЕКС виконує державний природоохоронний орган (Міністерство енергетики та захисту довкілля України, Департаменти екології та природних ресурсів облдержадміністрацій, Державна екологічна інспекція України тощо).

Цільова функція  $J_v$  є не обов'язковою, але може зустрітися в практичних ситуаціях, наприклад, Керуючий може бути зацікавлений у максимізації величини штрафів або в

мінімізації витрат на природоохоронну діяльність.

Розглянемо з еколого-економічної точки зору принципи оптимальності, описані вище. Стратегії, що належать множині  $C_{\Omega}^u$  (18), забезпечують виконання умови екологічного імперативу (1) та максимізацію цільової функції Керованого  $J_u$  по змінній  $u$ . Так,  $C_{\Omega}^u$  реалізує принцип оптимальності за умови наявності безкорисливого Керуючого, нейтрального щодо Керованого. Аналогічно множина  $C_{\Omega/\max}^{uv}$  (21) реалізує принцип оптимальності за умови безкорисливого Керуючого, який схильний до Керованого (цільова функція Керованого додатково максимізується змінною  $v$ ). Таким чином, реалізація умов (18) та (21) означає, що одночасно виконуються екологічні (екологічний імператив) та економічні (максимум прибутку для Керованого) вимоги. Отже, виходячи з цього множини  $C_{\Omega}^u$  (18) та  $C_{\Omega/\max}^{uv}$  (21) можна інтерпретувати як множини стратегії сталого розвитку ІЕКС, що у випадку застосування відповідного підходу в дорожній галузі України надасть можливість забезпечити її екологічну безпеку та відповідний рівень економічної успішності.

Множини  $C_{\Omega}^{uv}$  (20) та  $C_{\Omega/\max}^{uv}$  (22) можна трактувати як множини стратегій ієрархічного стійкого розвитку еколого-економічної системи. На додаток до властивостей множин  $C_{\Omega}^u$  та  $C_{\Omega/\max}^{uv}$  тут максимізується цільова функція Керуючого, що знаходиться на верхньому рівні ієрархії.

Щодо множини  $C_{\Omega}^v$  (19), то її можна інтерпретувати як «екологічну диктатуру», за якої забезпечення екологічного імперативу та інтересів Керуючого виконується за рахунок вимог економічного розвитку. Застосування такої стратегії в процесі розвитку дорожньої галузі доцільно у випадку збільшення антропогенного впливу на особливо цінні та охоронювані території, до яких насамперед належать території та об'єкти природно-заповідного фонду.

Стратегії ієрархічного керування, що не належать до множини  $C_{\Omega}$ , є екологічно не допустимими та суперечать змісту концепції ІКДС: їхня реалізація означає, що Керуючий не в змозі забезпечити виконання екологічного імперативу [9].

### Висновки

Отже, у статті проаналізовано й обґрунтовано необхідність та доцільність застосування ієрархічно керованої динамічної системи для забезпечення екологічної безпеки в процесі функціонування складових дорожньої галузі України. Установлено, що для екологічно збалансованого (за умови забезпечення вимоги щодо екологічної безпеки) розвитку дорожньої галузі України доцільно застосувати стратегію ієрархічно стійкого розвитку еколого-економічної системи з урахуванням вимоги екологічного імперативу.

### Література

1. Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки: Постанова ВРУ від 05.03.1998 № 188/98-ВР. Київ. Відомості Верховної Ради України, 1998. 47 с.
2. Консультативні послуги для розробки тендерної документації на виконання робіт із капітального ремонту і реконструкції автомобільної дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський на ділянках км 4+144 автомобільної дороги М-22 – км 340+961 автомобільної дороги М-03 (ЛОТ 3.1), км 333+250 – км 336+873 та км 340+961 – км 356+200 (ЛОТ 3.2), км 356+200 – км 385+100 (ЛОТ 3.3) та км 395+064 – км 420+050 (ЛОТ 3.5). Болгарія. Софія. 2017. 209 с.
3. Тематичний план науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт державного агентства автомобільних доріг України на 2018 рік. Україна. Київ. 2018. 36 с.
4. Желновач Г. М., Коверсун С. О. Оцінка рівня екологічного впливу на якість атмосферного повітря урбанізованих територій при здійсненні пасажирських перевезень. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 87. С. 102–108.
5. Condurat M., Nicuța M. A., Radu A. Environmental Impact of Road Transport Traffic. A Case Study for County of Iași Road Network. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 181. P. 123–130.
6. Талах Л. О., Коваль М. І. Екологічні засади при будівництві та реконструкції автомобільних доріг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2017. Вип. 6. С. 245–251.
7. Желновач Г. М. Оцінка ступеня техногенного навантаження на придорожній простір (на прикладі обходу м. Лубни). *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2013. Вип. 5 (82). С. 156–159.
8. Внукова Н. В. Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу «автомобіль-дорога-середовище». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2011. Вип. 3 (53). С. 43–46.
9. Угольницький Г. А. Управление эколого-экономическими системами. Москва, 2007. 132 с.
10. Малкин И. Г. Теория устойчивости. Москва, 1952. 432 с.
11. Моисеев Н. Н., Александров В. В., Тарко А. М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. Москва, 1985. 272 с.
12. Сукачев В. Н., Дылис Н. В. Основы лесной биоценологии. Москва, 1964. 574 с.
13. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 41/91-ВР. Київ: Паливода, 2019. 56 с.
14. Fischer T. B., Jha-Thakur U., Hayes S. Environmental impact assessment and strategic environmental assessment research in the UK. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. 2015. Vol. 17 (01). P. 1–12.
15. Моисеев Н. Н. Расставание с простотой. Москва, 1998. 480 с.

### References

1. Pro Osnovni naprijamy derzhavnoi' polityky Ukrainy u galuzi ohorony dovkillja, vykorystannja pryrodnyh resursiv ta zabezpechennja ekologichnoi' bezpeky: Postanova VRU № 188/98-VR [On the Main directions of state policy of Ukraine in the field of environmental protection, the use of natural resources and environmental safety: Resolution of the VRU № 188/98-VR]. Kyi'v, Vidomosti Verhovnoi' Rady Ukrainy, 1998, 47 p.
2. Konsul'tatyvni poslugy dlja rozrobky tendernoi' dokumentacii' na vykonannja robot iz kapital'nogo remontu i rekonstrukcii' avtomobil'noi' dorogy M-03 Kyi'v – Harkiv – Dovzhans'kyj na diljankah km 4+144 avtomobil'noi' dorogy M-22 – km 340+961 avtomobil'noi' dorogy M-03 (LOT 3.1), km 333+250 – km 336+873 ta km 340+961 – km 356+200 (LOT 3.2), km 356+200 – km 385+100 (LOT 3.3) ta km 395+064 – km 420+050 (LOT 3.5) [Advisory services for the development of tender documents for the overhaul and reconstruction of the M-03 Kiev-Kharkov-Dovzhansky highway in km 4 144 of the M-22 highway – 340 + 961 km 356+200 (LOT 3.2), km 356+200 – km 385+100 (LOT 3.3) and km 395+064 – km 420+050 (LOT 3.5)]. Sofija, 2017, 209 p.
3. Tematichnij plan naukovo-doslidnih ta doslidno-konstruktors'kih robot derzhavnogo agentstva avtomobil'nih dorig Ukraini na 2018 rik [hematic plan of research and development works of the State Agency of Motor Roads of Ukraine for 2018]. Ukraine. Kyiv, 2018, 36 p.
4. Zhelnovach G. M., Koversun S. O. Evaluation of the Level of Environmental Impact of Passenger Transportation on Air Quality of Urbanized Areas. *Visnik KhNAHU*, 2019, no. 87, pp. 102–108.
5. Condurat M., Nicuța M. A., Radu A. Environmental Impact of Road Transport Traffic.

- A Case Study for County of Iași Road Network. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 181, pp. 123–130.
6. Talah L. O., Koval M. I. Principles of environmental construction and reconstruction of public roads. *Suchasni tehnologii ta metodi rozrahunkiv u budivnictvi*, 2017, no. 6, pp. 245–251.
  7. Zhelnovach G. M. Assessment of technogenic loading on roadside area (the case of Lubny bypass road). *Visnik KrNU imeni Mihajla Ostrograds'kogo*, 2013, no. 5 (82), pp. 156–159.
  8. Vnukova N. V. The impact of highways on the environmental safety of the complex "car-road-environment". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2011, no. 3 (53), pp. 43–46.
  9. Ugol'nickij G. A. Upravlenie jekologo-ekonomicheskimi sistemami [Management of environmental and economic systems]. Moscow: Vuzovskaja kniga, 2007, 132 p.
  10. Malkin I. G. Teorija ustojchivosti [Sustainability theory]. Moscow: GITTL, 1952, 432 p.
  11. Moiseev N. N., Aleksandrov V. V., Tarko A. M. Chelovek i biosfera. Opyt sistemnogo analiza i jeksperimenty s modeljami [Human and the biosphere. System analysis experience and model experiments]. Moscow: Nauka, 1985, 272 p.
  12. Sukachev V. N., Dylis N. V. Osnovy lesnoj biocenologii [Fundamentals of Forest Biocenology]. Moscow: Nauka, 1964, 574 p.
  13. Pro ohoronu navkolyshn'ogo pryrodnogo seredovyshha: Zakon Ukraïny № 41/91-VR [On Environmental Protection: Law of Ukraine № 41/91-VR]. Kyiv: Palyvoda, 2019, 56 p.
  14. Fischer T. B., Jha-Thakur U., Hayes S. Environmental impact assessment and strategic environmental assessment research in the UK. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 2015, vol. 17 (01), pp. 1–12.
  15. Moiseev N. N. Rasstavanye s prostotoj [Parting with simplicity]. Moscow, 1998, 480 p.

**Желновач Ганна Миколаївна**, к.т.н., доц. каф. екології, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна, zhelnovach.ganna@gmail.com.

#### **Иерархически управляемая динамическая система обеспечения экологической безопасности дорожной отрасли Украины**

**Аннотация.** Проведен анализ путей построения концепции иерархически управляемой динамической системы. Проведено исследование структуры управления природно-хозяйственными системами как залога обеспечения экологической безопасности дорожной отрасли. Разработаны принципы иерархического управления экологическими системами, находящимися в зоне влияния составляющих дорожной отрасли Украины.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, дорожная отрасль, иерархически управляемая динамическая система, иерархически управляемая экологическая система, системный анализ.

**Желновач Анна Николаевна**, к.т.н., доц. каф. экологии, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61002, Украина, zhelnovach.ganna@gmail.com.

#### **Hierarchically managed dynamic system for ensuring environmental safety of the road industry in Ukraine**

**Abstract. Problem.** Ensuring environmental safety in the functioning of the road industry in Ukraine is an important aspect of its full and internationally-oriented development. In turn, the implementation of environmentally oriented development of multifunctional technogenic and infrastructural facilities is impossible only through the implementation of relevant standards, since it requires the development of the application of the principles of system analysis to improve the quality of the environment, provided that the requirements of economic development are met. **Goal.** The aim of this work is to analyze and justify the need and feasibility of adopting a hierarchically controlled dynamic system to ensure environmental safety during the functioning of the components of the road industry in Ukraine. **Methodology.** In the work, a hierarchically controlled dynamic system for ensuring environmental safety of the road industry of Ukraine was developed analytically and proposed in the context of a model of hierarchical management of dynamic systems. **Results.** The necessity and feasibility of using a hierarchically controlled dynamic system to ensure environmental safety during functioning of the components of the road industry in Ukraine were analyzed and substantiated. It has been established that for environmentally balanced (provided that the requirements for environmental safety are ensured) development of the road industry in Ukraine, it is advisable to apply a strategy of hierarchically sustainable development of the ecological and economic system taking into account the requirements of the environmental imperative. **Originality.** The article further developed the problem of integrated environmental safety of the road industry in Ukraine. Hierarchically controlled dynamic system for ensuring the environmental safety of the road industry of Ukraine was proposed for the first time. **Practical value.** The developed and proposed hierarchically controlled dynamic system, which makes it possible to balance economic interests and the environmental imperative, can lead to an increase in the level of environmental safety during the functioning of the road industry of Ukraine in the future.

**Zhelnovach Ganna**, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Ecology, Kharkiv National Automobile and Highway University, zhelnovach.ganna@gmail.com.