

МЕТОДИКА ВИБОРУ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОКАЗНИКОМ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ

Луцьова О.В.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
Oksanalunova@gmail.com

Наведено характеристику загальної ресурсоемності функціонування техноекосистеми, запропоновано методику вибору природоохоронних технологій за інтегральним показником екологічного впливу та алгоритм розрахунку інтегрального екологічного впливу. *Ключові слова:* інтегральний показник, природоохоронні технології, гірничодобувна техноекосистема, компоненти техноекосистеми.

Методика выбора природоохранных технологий по интегральному показателю экологического влияния. Луцьова О.В. Приведена характеристика общей ресурсоемности функционирования техноэкосистемы, предложены методика выбора природоохранных технологий по интегральному показателю экологического воздействия и алгоритм расчета интегрального экологического воздействия. *Ключевые слова:* интегральный показатель, природоохранные технологии, горнодобывающая техноэкосистема, компоненты техноэкосистемы.

An approach determine the environmental technology based on the integral indicator of ecological impact. Lunyova O.V. The characteristic of the total resource intensity of the functioning of the technical system is presented, the method of the choice of environmental technologies on the integral indicator of the environmental impact and the algorithm for calculating the integral ecological impact are proposed. *Key words:* integral index, environmental technologies, mining techno-ecosystem, components of techno-ecosystems.

Постановка проблеми. Одним із дієвих механізмів оптимізації техноекосистеми є регулювання техногенного впливу на її природні компоненти. Таке регулювання здійснюється за рахунок упровадження природоохоронних технологій.

Під природоохоронними технологіями захисту навколишнього природного середовища розуміють комплекс технологічних, технічних і організаційних заходів, спрямованих на зниження чи повне виключення антропогенного забруднення біосфери.

Актуальність дослідження. Запровадження технологій під час використання матеріальних, енергетичних, природних та трудових ресурсів спричиняє виникнення техногенних впливів. Можлива ситуація, коли техногенні впливи від виробництва цих ресурсів можуть перевищувати впливи, які ліквідуються за рахунок реалізації природоохоронних технологій, що потребує постійних досліджень.

Виклад основного матеріалу. *Характеристика загальної ресурсоемності функціонування техноекосистеми.* У промисловості прийнято єдине, як і для всіх галузей, групування витрат для грошового виразу собівартості. У системі натуральних ресурсних показників прийнято структуру однорідних елементів витрат. Завданням дослідження є укрупнення єдиної класифікації натуральних ресурсів для її використання під час розрахунку наскрізної ресурсоемності. Це сировина, основні й допоміжні матеріали,

паливо, енергія усіх видів, амортизація основних фондів, трудові ресурси, інші ресурси. Перші три види ресурсів відображають витрати предметів праці. Витрати ресурсів як засобів праці відображаються через амортизацію основних фондів. Основні фонди у виробничому процесі відіграють неоднакову роль. В економічній літературі здійснюється їх угруповання за ознакою участі у виробничому процесі. Основні виробничі фонди розподілені на дві групи за показником середньорічної величини зношування: будівлі і споруди; машини, устаткування, транспортні засоби та інструменти. Витрати живої праці враховуються як величини зворотної продуктивності праці в натуральних показниках і характеризують кількість людей, залучених до виробництва одиниці продукції. Інші витрати ресурсів відносно невеликі, але обов'язкові у виробничо-господарській діяльності підприємства і зазвичай фіксуються у статті «інші витрати».

Структура витрат ресурсів належить до техногенного компонента природно-техногенної системи, яким є будь-яке гірничодобувне підприємство. Витрати природних ресурсів під час функціонування цієї системи включають відчуження земель на розміщення виробничих та інших об'єктів, знищення земель вироблених кар'єрів, зони провалів шахт, використання земель за їх прямим призначенням у зонах рекреації і комунальному господарстві, зни-

щення або ушкодження підземних гідрогеологічних систем, поверхневих орогідрологічних систем, порушення цілісності літосфери та біоценозів. Ці витрати природних ресурсів мають місце під час виробництва основних і допоміжних матеріалів, палива, енергії, будівельних матеріалів на спорудження будівель, металу на створення машин тощо.

Отже, процес ресурсоспоживання під час функціонування будь-якого підприємства характеризуватиметься повною ресурсоемністю, тобто загальною кількістю ресурсів, які використовуються для виробництва промислової продукції [1–7] (рис. 1).

Повна ресурсоемність ураховує як ресурси, що використовуються безпосередньо під час виготов-

лення одиниці продукції, так і частку ресурсів, залучених до виготовлення засобів праці (устаткування, будівель, споруд, транспортних пристроїв), які амортизуються, використаних у соціальній сфері на основному виробництві та інших галузях промисловості, які обслуговують це виробництво. Проте джерелом будь-якого речового або енергетичного ресурсу є природне середовище – екотоп. Унаслідок вилучення з природного середовища будь-якого виду ресурсу різною мірою порушуються ґрунт, підземні або поверхневі води, атмосфера, біота, літосфера.

Отже, критерієм оцінки ефективності господарської діяльності людини може бути повна ресурсоемність конкретного виду діяльності з урахуванням

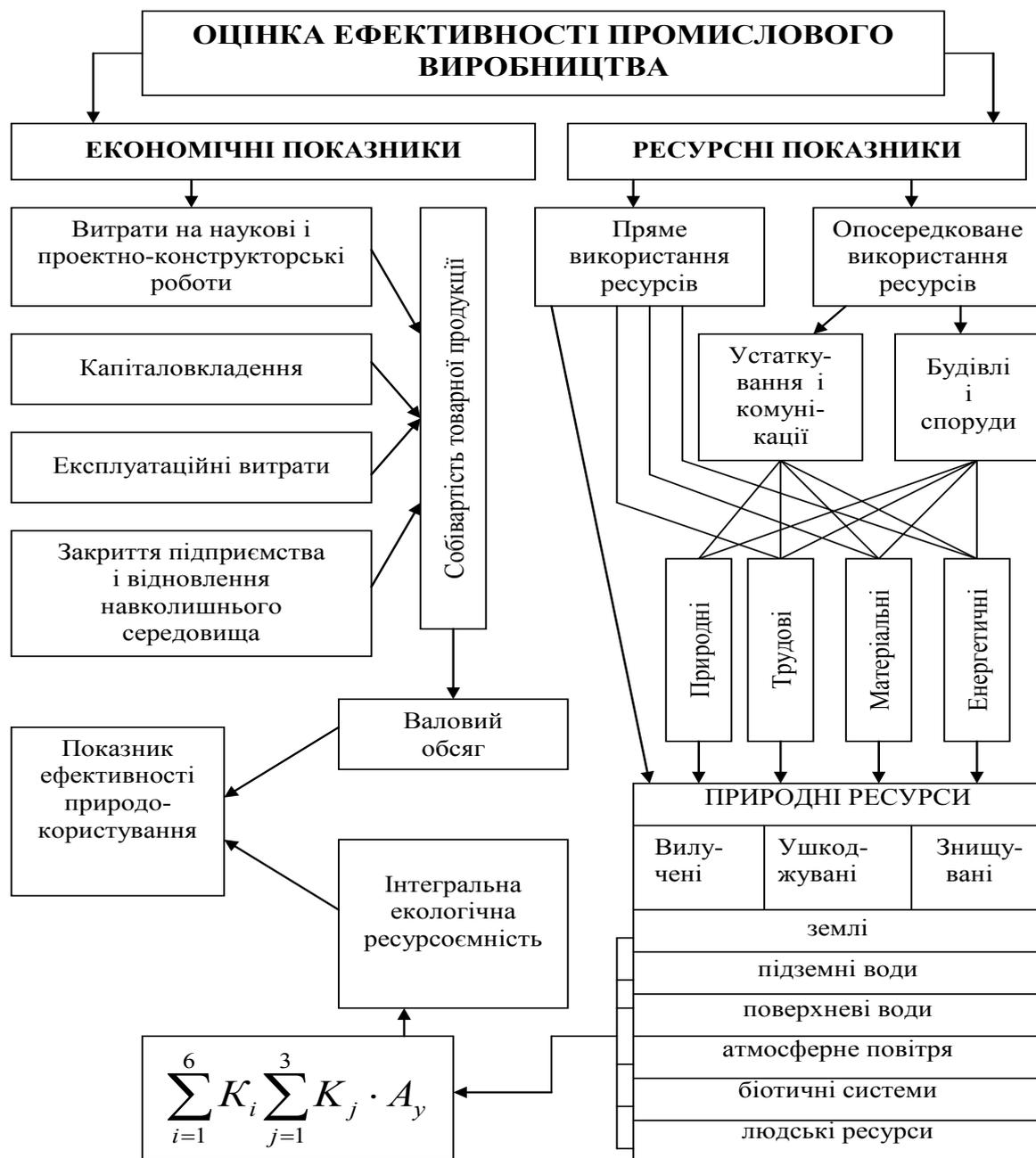


Рис. 1. Схема екологічної оцінки ефективності промислових технологій

усіх видів витрат природних ресурсів або антропо-екологічних. Скорочено цей термін може позначатися як «інтегральна екологічна ресурсоемність», що враховує витрати ресурсів, як прямі, так і опосередковані (устаткування, будівлі і споруди, соціальна інфраструктура).

Структура технологічних впливів на довкілля. Визначенню інтегральної екологічної ресурсоемності передуює перелік залучених до процесу технологічного освоєння природних ресурсів, які класифікуються за характером використання (відчувувани, ушкоджені, знищені) і за типом компонента природного середовища (землі, підземні і поверхневі води, атмосферне повітря, біотичні системи, людські ресурси). Отже, природні ресурси, що використані в процесі виробництва, можна звести у матрицю з 18 елементів. Цю матрицю зводимо до одного показника – інтегральної екологічної ресурсоемності.

Це здійснюється на основі науково обґрунтованого методологічного принципу, який базується на глибокому аналізі природного середовища території. У процесі технологічної діяльності немінуча

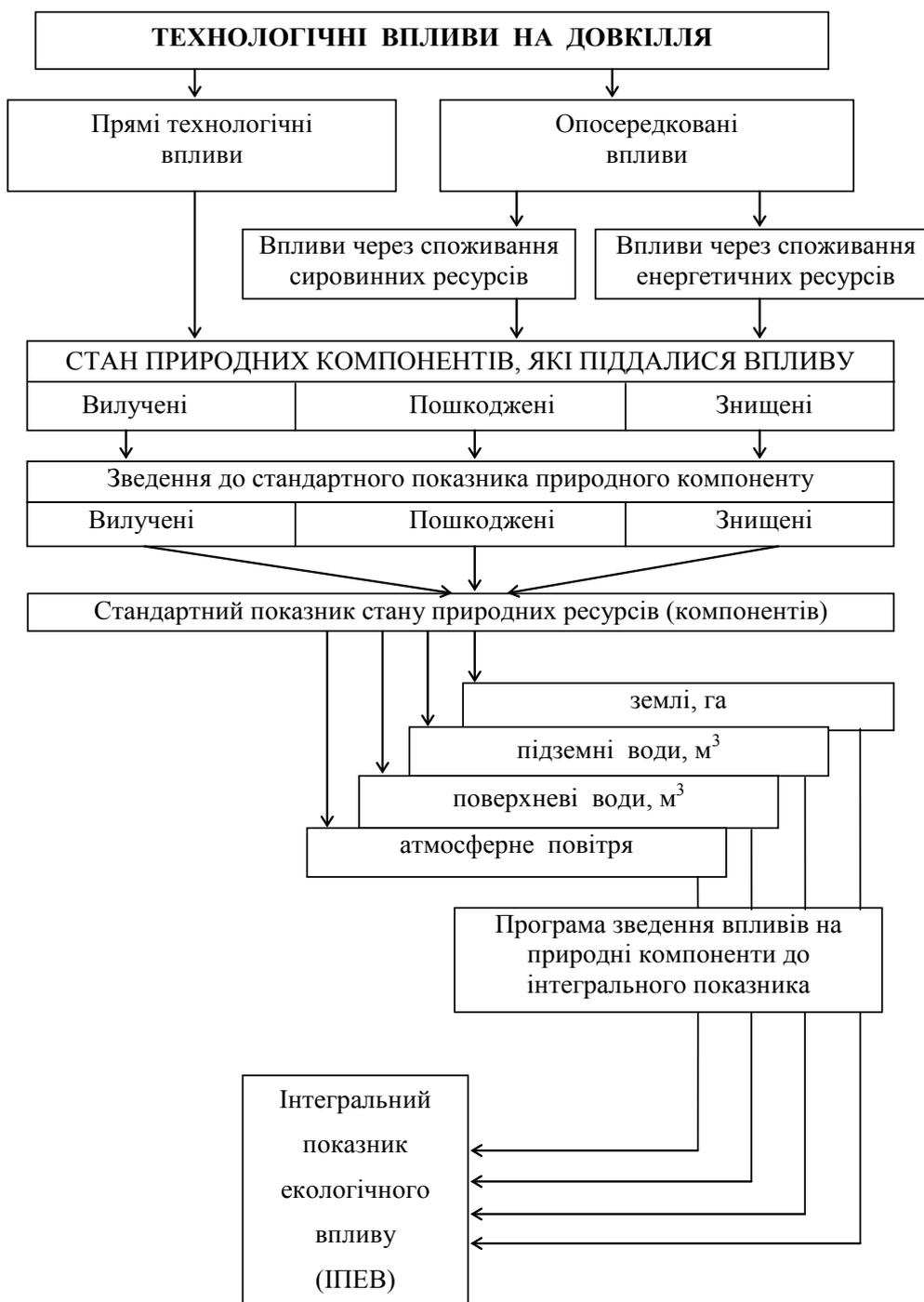


Рис. 2. Схема розрахунку інтегрального показника екологічного впливу

деформація природного регіонального середовища, змінюються способи його функціонування, перебудовуються внутрішні зв'язки. Однак ці перебудови не повинні порушувати здатність природних систем території до їхнього стійкого існування. Роль кожного з компонентів природного середовища в забезпеченні її стійкості може бути різною. Методологічною основою визначення «ваги» природних компонентів має синтезувати два способи їхньої оцінки – експертна оцінка і математичне моделювання.

Реалізація екологічної оцінки функціонування промислових підприємств передбачає перехід від урахування обсягів споживання ресурсів природного середовища до визначення розміру впливів виробництва на компоненти природного середовища, що є носіями цих ресурсів.

Визначення кількісних параметрів впливу на природні системи показано на схемі (рис. 2).

Структура технологічних впливів належить до техногенного компонента природно-техногенної системи, яким є будь-яке промислове підприємство. Технологічні впливи виявляються у використанні природних ресурсів під час функціонування системи, включають відчуження земель не за їх природним призначенням: на розміщення виробничих та інших об'єктів, знищення земель у вироблених просторах кар'єрів, зонах провалів шахт; використання земель за їх прямим призначенням у зонах рекреації і комунальному господарстві, знищення або ушкодження підземних гідрогеологічних систем, поверхневих орогідрологічних систем, порушення цілісності літосфери, порушення біоценозів. Таке використання природних ресурсів також має місце під час виробництва основних і допоміжних матеріалів, палива, енергії, а також будівельних матеріалів на спорудження будівель, металу на створення машин й устаткування тощо. Отже, можна відтворити процес технологічного впливу на природне середовище під час функціонування гірничодобувного підприємства, який у загальному вигляді характеризуватиметься інтегральним показником екологічного впливу (ШЕВ).

Методика розрахунку інтегрального показника екологічного впливу технологій на довкілля. Інтегральний показник екологічного впливу враховує як прямі екологічні впливи, які виявляються безпосередньо під час виготовлення одиниці продукції, так і опосередковані впливи, які існують у процесі виготовлення засобів праці (устаткування, будівель, споруд, транспортних пристроїв), що амортизуються, а також задіяних у соціальній сфері на основному виробництві та інших галузях промисловості, обслуговуючих це виробництво.

Об'єктом впливу під час отримання будь-якого речовинного або енергетичного ресурсу є природне середовище. У результаті вилучення з природного середовища будь-якого ресурсу порушуються різною мірою ґрунт, підземні або поверхневі води, атмосфера, біота, літосфера. У зв'язку із цим критерієм

ефективності природоохоронного заходу є показник інтегрального впливу на довкілля, що враховує як прямі, так і опосередковані впливи (рис. 2).

Під час визначення інтегрального екологічного впливу у процесі технологічного освоєння природних ресурсів їх необхідно класифікувати за характером використання: відчужувані, ушкоджені, знищені.

Принципи визначення коефіцієнтів приведення.

За показник негативного впливу на компоненти навколишнього середовища приймаємо:

- для земельних ресурсів – техногенний вплив, за якого природний ресурс повністю вилучається з використання;

- для водних ресурсів – скиди вод високої мінералізації;

- для атмосферного повітря – викиди з високою концентрацією газоподібних забруднюючих речовин.

За початковий показник відліку прийнято стан природного компоненту, який відповідає повній втраті його екоприродних функцій, тобто його знищенню.

Показником діаметрально протилежного впливу є вилучення природного компоненту із системи традиційного природокористування без зміни (втрати) якісного стану.

Проміжний стан природного компоненту класифікується як пошкоджений.

Для скидів основним чинником, який характеризує ступінь негативного впливу, є мінералізація. Тому граничними станами для скидів є:

- 1,0–25,0 мг/л – I стан (вилучення);

- 25,9–50,0 мг/л – II стан (забруднення);

- >50,0 мг/л – III стан (знищення).

Для викидів основним показником є ГДК:

- 0,1–1,0 ГДК – I стан;

- 1,1–10,0 ГДК – II стан;

- >10,0 ГДК – III стан.

Землі розглядаються як територія життєдіяльності та як ресурс, тому їхній стан буде визначатися так:

- нетрадиційне використання без погіршення якості земель – I стан;

- пошкодження з можливістю відновлення для традиційного землекористування – II стан;

- повна неможливість традиційного використання та відновлення – III стан.

Методологія комплексної оцінки вимагає застосування єдиного підходу до зведення компонентів із різним станом порушення природного компонента.

Аналіз науково-інформаційних джерел щодо формулювання різними авторами законів природокористування, статистичних матеріалів стосовно різних видів природокористування дав змогу встановити такі коефіцієнти приведення (табл. 1).

Алгоритм виконання розрахунку інтегрального екологічного впливу. Виконання екологічної оцінки природоохоронних заходів здійснюється приведенням показників впливу на основні компоненти природного середовища до єдиного інтегрального показника екологічного впливу (ШЕВ).

Процедура виконання інтегральної природоохоронної оцінки заходу:

1. Аналіз заходу.

1.2. Задекларований природоохоронний ефект природоохоронного заходу (зменшення викидів, використання відходів).

2. Комплексна оцінка прямих впливів на компоненти довкілля.

2.1. Встановлення величини зменшення викидів в атмосферу за інгредієнтами через коефіцієнт приведення для конкретних обсягів викидів:

- пил;
- оксид вуглецю – CO;
- оксиди азоту – NO_x;
- діоксид сірки – SO₂.

2.1.1. Переведення прямих викидів (NO_x, SO₂ та пилу) до СО-еквіваленту через коефіцієнт:

$$A_{CO-екв.} = A_{NO_x} \times K_{np.}^{NO_x} + A_{SO_2} \times K_{np.}^{SO_2} + A_{пил} \times K_{np.}^{пил} + A^{CO} \times 1, (1)$$

$$K_{np.}^{NO_x} = \left(\frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO_x}} \right); K_{np.}^{SO_2} = \left(\frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{SO_2}} \right); K_{np.}^{пил} = \left(\frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{пил}} \right). (2)$$

2.1.2. Розрахунок загального викиду в СО-еквіваленті.

2.2. Розрахунок величини впливів на підземні водоносні горизонти та їх приведення до стандартної величини.

2.3. Розрахунок величини впливів на поверхневі водні об'єкти.

2.4. Розрахунок впливів на землі промислового відведення та їх приведення до стандартної величини.

3. Визначення опосередкованих впливів за рахунок залучення чи економії (у результаті реалізації заходу) сировинних та енергетичних ресурсів:

- метали чорні;
- метали кольорові;
- будівельні матеріали;
- електроенергія;
- вугілля, газ, мазут.

4. Розрахунок параметрів опосередкованого впливу за компонентами:

- площа порушених земель;
- скиди у відкриті водотоки;
- фільтрація в підземні водоносні горизонти;
- викиди в атмосферне повітря.

5. Приведення параметрів прямого впливу до інтегрального показника екологічного впливу (ШПЕВ).

5.1. Визначення значень коефіцієнтів приведення (за компонентами довкілля) до інтегрального прямого впливу на навколишнє середовище.

5.2. Розрахунок ШПЕВ в одиницях СО-еквівалента.

6. Приведення параметрів опосередкованого впливу до інтегрального показника екологічного впливу (ШПЕВ).

Виконання розрахунків за запропонованою методикою дає змогу визначити та звести впливи на окремі компоненти до єдиного показника впливу на навколишнє середовище. Чисельні значення інтегральних показників екологічного впливу (ШПЕВ) корелюють зі ступенем їх важливості чи іншого заходу для стабілізації довкілля.

Для висвітлення фізичної суті Методології з використанням інтегрального показника екологічного впливу (ШПЕВ) необхідно зробити деякі пояснення та припущення.

Припустимо, що деяке гіпотетичне підприємство функціонує в гармонії з природним середовищем. Це означає, що його викиди ніяк не псують атмосферне повітря, його скиди знаходяться в межах рибогосподарських нормативів, землі в межах його земельного відводу перебувають у стані, який відповідає дотехногенним параметрам, а його діяльність дає робочі місця та наповнює бюджети різних рівнів. У цьому разі таке підприємство можна вважати екологічно чистим. Під час оцінки будь-якого іншого конкретного підприємства необхідно визначити умовну «відстань», яка його відділяє від зразкового. За міру такої «відстані» приймемо величину вартісних витрат, які необхідно було б понести цьому підприємству на природоохоронні заходи для досягнення такого ж екобезпечного стану. З урахуванням величини цих витрат на основі аналізу статистичних даних, виходячи з величини вартісних витрат, які необхідно понести під час здійснення повної реабілітації, обґрунтовано коефіцієнти приведення компонентів довкілля до ШПЕВ. Так, для реабілітації одного гектара знищених і непридатних до використання земель необхідно витратити близько 62,5 тис. умовних вартісних одиниць ($B_z = 62,5 \text{ \$}/га$).

Аналогічні витрати для повної очистки скидів та їх доведення до рибогосподарської якості становлять 250 \$/тис. м³ ($B_w = 250 \text{ \$}/м^3$).

Такі ж витрати для повної очистки викидів від пилу та газових забруднень становлять 13,1 \$/т ($B_a = 13,1 \text{ \$}/т$).

Ураховуючи, що одним з основних завдань упровадження природоохоронних заходів є збереження клімату, за базовий показник для визначення коефіцієнтів приведення (K^A , K^Z , K^W) прийнято вар-

Таблиця 1

Коефіцієнти приведення за ступенем пошкодження природного компонента

Вплив на довкілля	Стан приведених компонентів	Коефіцієнт приведення
Вилучення	I стан	0,01
Пошкодження	II стан	0,1
Знищення	III стан	1,0

тісний показник очищення атмосферного повітря (СО-еквівалент забруднення):

$$K^A = \frac{B_A}{B_A}, K^Z = \frac{B_Z}{B_A}, K^W = \frac{B_W}{B_A}. \quad (3)$$

Результати розрахунку коефіцієнтів приведення до ШЕВ наведено в табл. 2.

Результати виконання чисельної екологічної оцінки ефективності заходів зводяться в таблицю, форму якої наведено в табл. 3.

На завершальному етапі оцінки з використанням коефіцієнтів приведення (табл. 2) підсумовуються дані, результати яких зводяться в окрему табл. 4.

Як приклад у табл. 4 наведено фактичні результати комплексної оцінки природоохоронних заходів одного з промислових виробництв. З аналізу цієї таблиці можна отримати інформацію про розмір прямих та опосередкованих техногенних впливів, визначених у натуральному вимірі та приведених до СО-еквіваленту.

Результуючу оцінку заходів і-го підприємства наведено в табл. 4. За даними табл. 4 наведено розрахунок відсотку виконання завдань з охорони компонентів довкілля:

– виконання завдань з охорони атмосферного повітря:

$$A'_{CO} = \frac{\Sigma A_{CO} \times 100}{\Sigma A_{CO}^{\max}} = \frac{3369 \times 100}{8156,1} = 41,3\%; \quad (4)$$

– виконання завдань з охорони гідросфери:

$$W'_{CO} = \frac{\Sigma W_{CO} \times 100}{\Sigma W_{CO}^{\max}} = \frac{429 \times 100}{1996,6} = 21,5\%; \quad (5)$$

– виконання завдань з охорони земель:

$$Z'_{CO} = \frac{\Sigma Z_{CO} \times 100}{\Sigma Z_{CO}^{\max}} = \frac{121 \times 100}{2916} = 4,15\%. \quad (6)$$

У наведених формулах результуючої оцінки прийнято таке:

- A'_{CO} , W'_{CO} , Z'_{CO} – результати оцінки заходів в одиницях показника СО-еквівалента відповідно для атмосферного повітря, гідросфери та земель;

- A_{CO}^{\max} , W_{CO}^{\max} , Z_{CO}^{\max} – завдання, які встановлені конкретному підприємству державними органами.

Сумарна оцінка виконання завдань підприємства в одиницях інтегрального показника впливу:

$$I_{ШЕВ} = \frac{\Sigma \Sigma I_{ШЕВ} \times 100}{\Sigma \Sigma I_{ШЕВ}^{\max}} = \frac{12186 \times 100}{60468} = 20,15\%. \quad (7)$$

Головні висновки. У разі виконання підприємством спланованих ним завдань проблема гармоніза-

Таблиця 2

Коефіцієнти приведення до базового показника ШЕВ

Вплив на довкілля	Витрати на реабілітацію та очищення, $B_{(Z,W,A)}$	$K^{(Z,W,A)}$
Порушення земель	62,5 \$/га	4,8 т _{СО-екв} /га
Скиди у водні об'єкти	250,0 \$/тис. м ³	19,2 т _{СО-екв} /тис. м ³
Викиди в атмосферне повітря	13,1 \$/т	1,0 т _{СО-екв} /т

Таблиця 3

Результати виконання чисельної екологічної оцінки ефективності заходів, приведених до СО-екв. показника

№ п/п	Найменування заходу	Показники впливу на компоненти довкілля			
		Компоненти довкілля	Прямі в натуральному виразі	Приведені	Опосередковані
1		A			
		W			
		Z			

Таблиця 4

Результуюча оцінка заходів і-го підприємства

Впливи	Показники оцінки заходів	Сумація показників в СО-еквіваленті	Інтегральний показник оцінки заходів	Усього (ШЕВ)
Прямі в натуральному вимірі	$\Sigma A_n - 361$ т	$\Sigma A_{CO} - 1799 + 1570 = 3369$ СО-екв. $\Sigma W_{CO} - 183,2 + 246 = 429$ СО-екв. $\Sigma Z_{CO} - 112,3 + 8,95 = 121$ СО-екв.	$\Sigma A_{CO} - 3369$ ШЕВ $\Sigma W_{CO} - 8236$ ШЕВ $\Sigma Z_{CO} - 581$ ШЕВ	12186
	$\Sigma W_n - 183,2$ тис. м ³			
	$\Sigma Z_n - 112,3$ га			
Прямі приведені	$\Sigma A_{CO} - 1799$ т СО-екв.			
	$\Sigma W_{CO} - 183,2$ тис. м ³			
	$\Sigma Z_{CO} - 112,3$ га			
Опосередковані приведені	$\Sigma A_{CO}^o - 1570,5$ т СО-екв.			
	$\Sigma W_{CO}^o - 246$ тис. м ³			
	$\Sigma Z_{CO}^o - 8,95$ га			

ції природокористування в рамках його діяльності буде виконана лише на 20%, тому цей варіант природоохоронних заходів слід визнати недостатнім. Необхідно або запланувати нові, більш дієві природоохоронні заходи, або визнати рівень вимог із боку державних органів нереально завищеним.

Перспективи використання результатів дослідження. Реалізація наведеної методології дає змогу

вирішувати проблеми регіонального природокористування. З її допомогою можна розробити рейтинговий ряд підприємств із позиції доцільності їх функціонування виходячи з регіональних інтересів. Для цього потрібно за схемою, наведеною на рис. 1, урахувати розмір відрахувань підприємств у регіональний бюджет та величину техногенного збитку в одиницях інтегрального показника впливу.

Література

1. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка наукових основ збалансованого функціонування складних техноекосистем та шляхи його досягнення» № ДР 0107U011874 (протокол № 24 від 23.12.2015 р) / А.Г. Шапар та ін. ; ІППЕ НАН України. Дніпро, 2015. 130 с.
2. Луньова О.В. Методологія вибору технологічних рішень оптимізації функціонування техноекосистем. *Геотехнічна механіка*. 2018. Вип. 141.
3. Єрмаков В.Н., Луньова О.В., Аверин Д.Г. Основні ознаки складних техноекосистем та їх збалансованість. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2019. № 2(39).
4. Луньова О.В. Моделювання сценаріїв розвитку техноекосистем. *Геотехнічна механіка*. 2019. Вип. 141.
5. Mäler K.G. Sustainable development and resilience in ecosystems. *Environmental and resource economics*. 2008. Vol. 39. № 1. P. 17–24.
6. Mori A.S. Ecosystem management based on natural disturbances: hierarchical context and non-equilibrium paradigm. *Journal of Applied Ecology*. 2011. Vol. 48. № 2. P. 280–292.
7. Loreau M., Naeem S., Inchausti P. Biodiversity and ecosystem functioning. *Synthesis and Perspectives*. Oxford : University Press, 2002. 294 p.
8. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services / P. Balvanera et al. *Ecology Letters*. 2006. Vol. 9. № 10. P. 1146–1156.