

МЕТОДОЛОГІЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ

¹Луньова О.В.

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ

¹Лунева О.В.

¹Государственная экологическая академия последипломного образования и управления

THE METHODOLOGY FOR CHOOSING THE TECHNOLOGICAL SOLUTION ALLOWING OPTIMIZING THE TECHNO-ECOSYSTEM FUNCTIONING

¹Lunova O.V.

¹State ecology academy of postgraduate education and management

Анотація. Одним з основних структурних елементів методології є логічна структура діяльності, що включає в себе: суб'єкт, об'єкт, предмет, форми, засоби, методи і технології вирішення завдань, а також результати діяльності, тому найважливішим початковим етапом є формалізація процесу сталого розвитку техноекосистем. Мета роботи полягає у розробці науково-методологічних основ і шляхів досягнення збалансованого функціонування складних техноекосистем. Об'єктом дослідження є процеси функціонування складних техноекосистем. В результаті виконання роботи проаналізовано та встановлено основні фактори забезпечення процесів саморегуляції природного середовища. Визначено параметри потенціалу самоочищення природних компонентів техноекосистеми. На основі біоекологічного підходу розглянуто специфіку реагування біотичних компонентів на вплив техногенних факторів при формуванні складних техноекосистем. Показано роль біорізноманіття у структурно-функціональній організації природних екосистем та у формуванні механізмів екосистемної самоорганізації. Визначено об'єкти і цілі управління в системі "техносфера – природні екосистеми", узагальнено основні принципи прийняття відповідних управлінських рішень. На основі природоохоронного імперативу обґрунтовано концептуальну схему оптимізації складних техноекосистем, застосування якої є перспективним під час вибору технологічних рішень для забезпечення їх сталого функціонування. Визначено методи оптимізації техногенної складової техноекосистем. За критерії оцінки технологічної складової техноекосистеми прийнято показники функціонування в конкретних умовах найкращих доступних технологій (НДТ). Трансформація існуючої техноекосистеми в техноекосистему з НДТ здійснюється за одним чи декількома сценаріями. Розробка сценаріїв має не суперечити планам розвитку в майбутньому періоді – це є загальною нормою, що має бути дотримана при розробці сценаріїв технічного розвитку. Розроблено методологію вибору технологічних рішень для забезпечення сталого функціонування техноекосистем.

Ключові слова: гірничодобувна техноекосистема, збалансоване функціонування, ієрархія компонентів техноекосистеми, найкраща доступна технологія.

Вступ. Україна – одна з найбільших за територією, чисельністю населення та економічним потенціалом держав Європи. На її території зосереджені величезні природні багатства, але безгосподарність призвели не тільки до порушення, а й до руйнування природних ландшафтів. Надмірна концентрація сільського господарства та промисловості зумовила катастрофічне забруднення повітря, води та ґрунту. Сучасні масштаби екологічних змін створили реальну загрозу життю та здоров'ю громадян України, її національній безпеці.

Аналіз впливу на техноекосистеми свідчить, що швидкість деградації довкілля України набула таких масштабів, що вийшла за межі швидкості біологічного пристосування живих організмів до середовища існування, тобто

втрачена стійкість екосистем. Якщо за акумулюючий показник антропогенного "тиску" на навколишнє середовище взяти здоров'я населення, то об'єктивні медичні дані свідчать про все зростаючий вплив екологічних чинників на фізичний потенціал нашого суспільства.

Мета статті. Мета роботи полягає у розробці наукових основ і шляхів досягнення збалансованого функціонування складних техноекосистем [1]. Об'єктом дослідження є процеси функціонування складних техноекосистем.

Методи досліджень. Аналіз літературних джерел, статистичний, аналітичний, графоаналітичний методи, та метод математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Для поглиблення досліджень природокористування в процесі функціонування техноекосистем згідно Порядку денного на XXI століття необхідна методологія вибору технологічних рішень, яка базується на результатах динамічного імітаційного моделювання.

Основні принципи, на яких базується ця методика, включають такі положення:

- а) здатність до самовідновлення навколишнього природного середовища (НПС) повинна бути збережена;
- б) існує ієрархія природних компонентів у процесах самовідновлення;
- в) цю ієрархію можна визначити, а її показники оцінити в балах;
- г) самовідновлення залежить від того, який компонент і наскільки пошкоджений техногенним впливом та його місце в ієрархічному ряді;
- д) стан природного середовища диктує умови для оптимізації функціонування техногенного компонента;
- е) оптимізація техногенної компоненти здійснюється шляхом включення в її структуру найкращих доступних технологій (НДТ);
- ж) базова оцінна матриця технології за компонентами впливу на елементи природної системи включає ієрархічний ряд природних компонентів (Z, W, A, V, B, N) та колонку техногенних впливів (z, w, a, v, q, n);
- і) при заповненні комірок базової матриці показники впливу визначаються за методикою розрахунку інтегрального показника екологічного впливу;
- к) робоча матриця впливів певної технології (заходу) на природне середовище розраховується як добуток значень базової матриці на відповідні коефіцієнти ієрархічного ряду природних компонентів;
- л) вибір заходу чи технологічного рішення здійснюється на базі робочої матриці за максимальною величиною приведених впливів;
- м) при виборі заходу пріоритетність надається тому заходу, який стосується найбільш пошкодженого та важливого в контексті самовідновлення. Першочерговість заходів проводиться згідно ієрархічного ряду природних компонентів.

Одним з основних структурних елементів методології є логічна структура діяльності, що включає: суб'єкт, об'єкт, предмет, форми, засоби, методи і технології рішення завдань, а також результати діяльності, тому найважливішим початковим етапом є формалізація процесу стійкого розвитку техноекосистем.

Трансформація існуючої техноекосистеми в техноекосистему з НДТ

здійснюється за одним чи декількома сценаріями.

Сценарій технічного розвитку має складатися з двох частин:

а) характеристики дій, чинників і подій, що забезпечують досягнення цілей технічного розвитку і прогнозованого стану техноекосистем;

б) опису можливих наслідків розвитку техноекосистем.

Розробка сценаріїв має не суперечити планам розвитку в майбутньому періоді – це є загальною нормою, що має бути дотримана при розробці сценаріїв технічного розвитку.

При розробці сценаріїв трансформації техноекосистем пропонується використовувати наступні загальні положення:

а) оцінка поточного стану техноекосистем;

б) визначення істотних чинників впливу на техноекосистеми;

в) підготовка спеціального прогнозу за чинниками, що впливають на трансформацію з невизначеними тенденціями;

г) розгляд можливих альтернативних стратегій подальшого розвитку;

д) оцінка вірогідних відхилень від основної ідеї при різних варіантах трансформації техноекосистем.

При формуванні стратегії трансформації на основі сценаріїв має бути дотримано наступні спеціальні правила: структуризація цілей і завдань технічного розвитку (постановка проблеми, розвиток, трансформація та характеристики проблеми тощо); визначення дій, що ведуть до досягнення цілей стратегії трансформації техноекосистем і показників можливого стану техноекосистем в майбутньому; розробка варіантів розвитку техноекосистем; інтерпретація сценаріїв технічного розвитку з врахуванням можливих обмежень і перешкод, введення в аналіз перешкоджаючих подій (факторів негативного впливу); доопрацювання відібраних сценаріїв трансформації техноекосистем, оцінка можливих еколого-економічних наслідків; внесення необхідних коригувань в сценарії трансформації техноекосистем.

Методика побудови сценаріїв трансформації техноекосистем включає етапи:

а) визначення ключових стратегічних напрямків трансформації. Збір і концентрація даних стратегічного аналізу. Визначення конкретних переліків усіх ключових напрямків трансформації і всіх ключових стратегічних питань;

б) встановлення найважливіших факторів зовнішнього середовища безпосереднього впливу. Фіксація й аналіз основних факторів зовнішнього середовища безпосереднього впливу, що визначають успіх/невдачу за кожним з напрямків трансформації техноекосистем, встановленому на кроці а), а також факторів, що визначають відповіді на кожне питання кроку а).

в) визначення головних факторів зовнішнього середовища. Виявлення й аналіз основних факторів опосередкованого впливу, що визначають дію факторів, встановлених на кроці б). Повинні бути визначені усі відповідні ключові фактори, що впливають на дану конкретну організацію саме через фактори кроку б);

г) ранжування за важливістю і ступенем невизначеності. Ранжування усіх факторів рівнів кроку в) і кроку б) за двома критеріями. Перший критерій –

важливість кожного фактору для прийняття рішень з технічного розвитку рівня кроку а); другий – ступінь невизначеності за факторами рівнів кроку в) і кроку б) для вирішення питань рівня кроку а). Встановлюються 2-3 основних фактори за першим критерієм і 2-3 фактори за другим критерієм;

д) виявлення логіки кожного сценарію. Досягнення мети: відповідно до різних «логічних стрижнів» вийти на невелику кількість сценаріїв (≥ 4), що є дійсно істотно різними за критерієм змісту рішень питань рівня кроку 1. У рамках кожного сценарію власне динамічний аспект логіки його розвитку визначається як особливий так званий «сценарний драйвер»;

е) повернення до ключових факторів рівня кроку 3 і кроку 2. Такі фактори за кожним сценарієм повинні стати предметом окремого цільового дослідження кожного напрямку трансформації техноекосистеми.

Для реалізації сценаріїв трансформації техноекосистеми із застосуванням найкращих доступних технологій виконується розробка та наповнення бази даних найкращих доступних технологій. Прототипом структури бази даних прийнято структуру міжнародної класифікації [2].

Розроблено методику розрахунку інтегрального показника екологічного впливу технологій на природну складову техноекосистеми.

Таким чином, розроблена методологія вибору технологічних рішень для забезпечення сталого функціонування техноекосистем включає:

а) визначення ієрархії компонентів природного середовища за принципом забезпечення процесів самовідновлення;

б) оцінку впливів техногенної складової техноекосистеми на компоненти природного середовища та побудову матриці стану техноекосистеми;

в) вибір технологічних рішень здійснюється на базі встановлених числових значень оцінної матриці.

Для вибору альтернатив технологічних рішень, що забезпечують стійкий розвиток техноекосистем, можливим є використання практично усього спектру методів теорії ухвалення рішень: від класичних статистичних до сучасних.

Виходячи з проведеного аналізу, найбільш перспективним в цьому дослідженні є метод імітаційного моделювання, який дозволяє об'єднати кількісні і якісні дані, а також відносно просто проводити серії активних обчислювальних експериментів, які моделюють розвиток техноекосистеми в динаміці.

Принципи побудови матриці взаємозв'язків між компонентами техноекосистеми. Попередніми дослідженнями встановлено пріоритет критеріїв стану природних компонентів над критеріями стану техногенних об'єктів та технологічних процесів [1, 3-7].

Забезпечення процесів сталого функціонування (самовідновлення) природних складових техноекосистеми здійснюється шляхом впровадження найкращих доступних технологій (НДТ).

За критерій оцінки технологічної складової техноекосистеми прийнято показники функціонування природних компонентів в умовах впливу на них

найкращих доступних технологій.

Трансформація існуючої техноекосистеми в техноекосистему з НДТ здійснюється за одним чи декількома сценаріями.

В дотехногенному стані природи усі компоненти є однаково важливими. Ми виходимо з існуючого (дестабілізованого) стану, в якому перебувають компоненти, які порушені різною мірою. Тому для запуску процесу самовідновлення, в якості інструменту досягнення мети застосовується ієрархічний ряд природних компонентів.

Оцінку впливу технологій на компоненти довкілля представляємо у вигляді матриці, яка враховує основні компоненти техноекосистеми і складається з 36 комірок.

Базова матриця відтворює впливи техногенної складової на компоненти природного середовища на початковому етапі.

По вертикалі (j) наведено вплив техногенної складової техноекосистеми на компоненти природного середовища і розміщено показники техногенного впливу: викиди в атмосферне повітря - a_j , забруднення земель - z_j , скиди у поверхневі водні об'єкти - v_j , скиди у підземні водоносні шари - w_j , порушення надр і розміщення відходів гірничо-добувних технологій - n_j , пошкодження біоти - b_j .

По горизонталі наведено показники компонентів природного середовища, які розміщені по ієрархії за фактором важливості участі цих компонентів у процесах самовідновлення природного середовища: землі - Z_i , підземні води - W_i , атмосферне повітря - A_i , поверхневі води - V_i , біота - B_i , надра - N_i .

Для урахування фактора важливості для процесів самовідновлення вводимо коефіцієнт ієрархії компоненту природного середовища k_j , значення якого знаходяться в діапазоні від 1 до 10, тобто $k_j = 1 \div 10$.

В комірці – бал оцінки стану компонентів природної системи.

У спрощеному вигляді загальна структура базової і розрахункової матриць має такий вигляд, який представлено на рис. 1.

	Z_i	W_i	A_i	V_i	B_i	N_i
a_j						
z_j						
v_j						
w_j						
n_j						
b_j						

Рисунок 1 – Структура базової матриці

Побудову базової і розрахункової матриць покажемо на прикладі гірничо-добувних технологій для умов Центрального гірничо-збагачувального комбінату. На рис. 1 наведено базова матриця, яка побудована за методом експертних оцінок. Виходячи з цього методу основою для аналізу використано статистичний матеріал функціонування підприємства Центрального ГЗК

(Збірники техніко-економічних показників гірничодобувних підприємств України, ДП «НІГРІ») [8].

Діапазон бальних оцінок коливається від 1 до 10. Для кожного з вибраних компонентів природного середовища присвоєне своє числове значення.

Базова матриця взаємозв'язку техногенних впливів на компоненти природного середовища представлена на рис. 2.

	Z_i	W_i	A_i	V_i	B_i	N_i
a_j	6	3	7	4	5	1
z_j	1	2	4	3	7	1
v_j	6	7	2	4	6	4
w_j	4	4	1	6	7	5
n_j	8	5	6	5	5	1
b_j	3	1	2	3	1	1

Рисунок 2 – Базова матриця техногенних впливів на компоненти довкілля

На рис. 3 наведена розрахункова матриця, яка впливає з базової матриці і враховує коефіцієнти ієрархії по важливості конкретного компоненту природного середовища, які задіяні у процесах самовідновлення k_j :

$$k_Z = 8, k_W = 5, k_A = 5, k_V = 4, k_B = 4, k_N = 1.$$

	Z_i	W_i	A_i	V_i	B_i	N_i
a_j	48	15	35	16	20	1
z_j	8	10	20	12	28	1
v_j	48	35	10	16	24	4
w_j	32	20	5	24	28	5
n_j	64	25	30	20	20	1
b_j	24	5	10	12	4	1

Рисунок 3 – Розрахункова матриця

Сумарне значення техногенних впливів на компоненти природного середовища техноекосистеми дає можливість оцінити та вибрати направленість розробки природоохоронних заходів, які слід першочергово впроваджувати на даному підприємстві за умови застосування тих чи інших технологій на підприємствах гірничодобувної галузі (таблиця 1). За результатами наших розрахунків показник з найбільшим числовим значенням (в нашому випадку вплив на надра) являється тим компонентом щодо якого в першу чергу має здійснюватися впровадження природоохоронних заходів.

Таблиця 1 – Сумарний техногенний вплив на природне середовище

Техногенний вплив	a_j	z_j	v_j	w_j	n_j	b_j
Сумарне значення впливу	135	79	137	114	160	56

Для глибшого обґрунтування величини бала техногенного впливу на природне середовище (іj) необхідно ускладнити спосіб визначення числового значення комірки матриці.

Для цього було використано метод, який наведено в монографії А.Б. Качинського [9].

В основу методу покладено термодинамічний підхід для опису систем, які перебувають у стані динамічної рівноваги. Граничні умови, які прийняті для теоретичного аналізу, полягають в наступному:

а) з точки зору термодинаміки незворотних процесів, що викликають спонтанні зміни є нерівноважними й описуються нелінійними рівняннями;

б) екосистеми пов'язані з навколишнім середовищем і становлять з ним одне ціле. Тому ентропія, що утворюється всередині системи, компенсується притоком негентропії, завдяки чому зберігається стаціонарний нерівноважний стан екосистем;

в) численні інформаційні процеси, що відбуваються всередині екосистеми, забезпечують її оптимальну адаптацію до умов довкілля, що змінюються (самоадаптація). Важлива роль тут відводиться процесам передачі й накопичення нової інформації.

Методика є спрощеною для потреб практичного застосування в умовах діючого промислового підприємства.

Висновки:

В результаті виконання роботи проаналізовано та встановлено основні фактори забезпечення процесів саморегуляції природного середовища. Визначено параметри потенціалу самоочищення природних компонентів техноекосистеми.

На основі біоекологічного підходу розглянуто специфіку реагування біотичних компонентів на вплив техногенних факторів при формуванні складних техноекосистем. Показано роль біорізноманіття у структурно-функціональній організації природних екосистем та у формуванні механізмів екосистемної самоорганізації. Визначено об'єкти і цілі управління в системі "техносфера – природні екосистеми", узагальнено основні принципи прийняття відповідних управлінських рішень. На основі природоохоронного імперативу обґрунтовано концептуальну схему оптимізації складних техноекосистем, застосування якої є перспективним під час вибору технологічних рішень для забезпечення їх сталого функціонування.

Визначено методи оптимізації техногенної складової техноекосистем. За критерії оцінки технологічної складової техноекосистеми прийнято показники функціонування в конкретних умовах найкращих доступних технологій (НДТ).

Розроблено методологію вибору технологічних рішень для забезпечення сталого функціонування техноекосистем. Одним з основних структурних елементів методології є логічна структура діяльності, що включає в себе: суб'єкт, об'єкт, предмет, форми, засоби, методи і технології вирішення завдань, а також результати діяльності, тому найважливішим початковим етапом є формалізація процесу сталого розвитку техноекосистем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шапар А.Г., Скрипник О.О., Копач П.І., Луньова О.В. [та ін.] 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)/ ІППЕ НАН України. Дніпропетровськ, 2015 . 130 с.
2. Директива від 24.11.2010 № 2010/75/ЄС Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення) http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68049
3. Шапар А.Г. Критерії та показники сталого розвитку: наукові підходи до їх обґрунтування // 36. наукових праць "Екологія і природокористування". ІППЕ. Випуск 3. Дніпропетровськ, 2000. с. 5-15.
4. Mäler K.G. Sustainable development and resilience in ecosystems // *Environmental and resource economics*. 2008. Vol. 39, № 1. Pp. 17-24.
5. Mori A.S. Ecosystem management based on natural disturbances: hierarchical context and non-equilibrium paradigm // *Journal of Applied Ecology*. 2011. Vol. 48, № 2. Pp. 280-292.
6. Loreau M., Naeem S., Inchausti P. *Biodiversity and ecosystem functioning. Synthesis and Perspectives*. Oxford: University Press, 2002. 294 p.
7. Balvanera P., Pfisterer A.B., Buchmann N. [et al.] Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services // *Ecology Letters*. 2006. Vol. 9, № 10. Pp. 1146-1156.
8. Збірник техніко-економічних показників гірничодобувних підприємств України. Кривий Ріг: ДП «НІГРІ», 2011. 318 с.
9. Качинський А. К. Сучасні проблеми екологічної безпеки України. 2001. 250с.

REFERENCES

1. Shapar A.G., Skrypnuk O.O., Kopach P.I. and Lunova O.V.(2015), Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Rozrobka naukovy`x osnov zbalansovanogo funkcionuvannya skladny`x tehnоекosy`stem ta shlyaxy` jogo dosyagnennya» [Report about research work «Development of scientific bases of the balanced functioning of difficult technoecosystems and ways of his achievement»], IPPE NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk, UA.
2. Dyrektyva № 2010/75/ ES (2010), *Pro promyslovi vykydy (integrovane zapobigannya ta kontrol zabrudnennya)* [About the industrial troop landings (integrated prevention and control of contamination)], available at: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68049
3. Shapar A.G. (2000), « Criteria and indexes of steady development: scientific approaches to their validation», *Ekologiya i pryrodokorystuvannya*, no. 3, pp. 5-15.
4. Mäler K.G. (2008), «Sustainable development and resilience in ecosystems», *Environmental and resource economics*, Vol. 39, no. 1, pp. 17-24.
5. Mori A.S. (2011), «Ecosystem management based on natural disturbances: hierarchical context and non-equilibrium paradigm», *Journal of Applied Ecology*, Vol. 48, no. 2, pp. 280-292.
6. Loreau M., Naeem S. and Inchausti P. (2002), *Biodiversity and ecosystem functioning. Synthesis and Perspectives*, Oxford: University Press, UK.
7. Balvanera P., Pfisterer A.B., Buchmann N. [et al.] (2006), «Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services», *Ecology Letters*. Vol. 9, no. 10, pp. 1146-1156.
8. *Zbirnyk tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv girmychodobuvnykh pidpryyemstv Ukrainy* [Collection of technic-economical indexes of mining enterprises of Ukraine] (2011), DP «NIGRI», Kryvyi Rih, UA.
9. Kachynskiy A. (2001) *Suchasni problemy ekologichnoi bezpeky` Ukrainy* [Modern problems of ecological safety of Ukraine], Kyiv, UA.

Про автора

Луньова Оксана Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, науковий співробітник Центру еколого-ресурсного відновлення Донбасу Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України, Київ, Україна, lunovaov@ukr.net

About the author

Lunova Oksana Volodymyrivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Researcher of the Environmental and Resource Rehabilitation Center of the Donbas State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, Ukraine, : lunovaov@ukr.net

Аннотация. Одним из основных структурных элементов методологии является логическая структура деятельности, включающая в себя: субъект, объект, предмет, формы, средства, методы и технологии решения задач, а также результаты деятельности. Поэтому важнейшим начальным этапом является формализация процесса устойчивого развития техноэкосистем. Цель работы заключается в разработке научно-методологических основ и путей достижения сбалансированного функционирования сложных техноэкосистем. Объектом исследования являются процессы функционирования сложных техноэкосистем. В результате выполнения работы проанализированы и установлены основные факторы обеспечения процессов саморегуляции природной среды. Определены параметры потенциала самоочищения природных компонентов техноэкосистемы. На основе

биоэкологических подходов рассмотрена специфика реагирования биотических компонентов на воздействие техногенных факторов при формировании сложных техноэкосистем. Показана роль биоразнообразия в структурно-функциональной организации природных экосистем и в формировании механизмов экосистемной самоорганизации. Определены объекты и цели управления в системе "техносфера - природные экосистемы", обобщены основные принципы принятия соответствующих управленческих решений. На основе природоохранного императива обосновано концептуальную схему оптимизации сложных техноэкосистем, применение которой является перспективным при выборе технологических решений для обеспечения их устойчивого функционирования. Определены методы оптимизации техногенной составляющей техноэкосистем. В качестве критериев оценки технологической составляющей техноэкосистемы принято показатели функционирования в конкретных условиях лучших доступных технологий (ЛДТ). Трансформация существующей техноэкосистемы в техноэкосистему с ЛДТ осуществляется по одному или нескольким сценариям. Разработка сценариев не должна противоречить будущим планам развития - это является общей нормой, которая должна быть соблюдена при разработке сценариев технического развития.

Разработана методология выбора технологических решений для обеспечения устойчивого функционирования техноэкосистем.

Ключевые слова: горнодобывающая техноэкосистема, сбалансированное функционирование, иерархия компонентов техноэкосистемы, лучшая доступная технология.

Abstract. Logical structure of activity is considered as a principal element of the methodology, which includes subject, object, forms, methods and technologies enabling to solve the problems, and results of activity. Therefore, the most important starting stage is formalization of sustainable development of techno-ecosystem. Objective of the study was to establish scientific basis and approaches for achieving balanced functioning of the complex techno-ecosystems. Object of this research were processes of the techno-ecosystem operation.

Within the frame of the research, the authors: a) analyzed and established principal factors, which ensured processes of the environment self-regulation; b) defined parameters of natural component potential for self-purification; c) bearing in mind the bioecological approaches, investigated the feature of how biotic components were affected by man-made factors during formation of the complex techno-ecosystem; d) explained the importance of bio-variety within the functional hierarchy of natural ecosystem and formation of mechanisms of environment self-regulation; e) defined the objects and goals for controlling the "techno-sphere & environment ecosystem" system, and summarized main principles enabling to make the required management decisions; f) with taking into account the nature protection principle, confirmed a concept of optimizing of the complex techno-ecosystem, application of which can serve as a promising tool for choosing technological decisions and providing their sustainable operation.

Methods are determined for optimization of man-made component in the techno-ecosystem, in which indicators of man-made component functioning in conditions of the Best Available Technology (BAT) are considered as criterion of the techno-ecosystem evaluation. Transformation of existing techno-ecosystem into techno-ecosystem with the BAT is performed by one or several scenarios. The scenario design should be in line with the future development plans - it is a common principle, which should be taken into account.

Within the framework of the current investigation, the author developed a methodology enabling to choose technological decisions allowing sustainable operating of techno-ecosystem.

Keywords: mining techno-ecosystem, balanced functioning, hierarchy of techno-ecosystem components, best available technology.

Стаття надійшла до редакції 11.07. 2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Т.В. Бунько