

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ

¹Луньова О.В.

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ

¹Лунева О.В.

¹Государственная экологическая академия последипломного образования и управления

THE MODELING OF SCENARIOS FOR TECHNO-ECOSYSTEM DEVELOPMENT

¹Lunova O.V.

¹State ecology academy of postgraduate education and management

Анотація. На основі розробленої методології вибору технологічних рішень для забезпечення сталого функціонування техноекосистем (TES) зроблено моделювання сценаріїв розвитку TES. Ця методологія базується на п'яти принципах. Мета роботи полягає у розробці науково-методологічних основ і шляхів досягнення збалансованого функціонування складних техноекосистем. Об'єктом дослідження є процеси функціонування складних техноекосистем. Методологія наукового обґрунтування вибору технологій, які застосовуються у сучасних виробництвах в якості складової техноекосистеми, передбачає комплексний підхід до навколишнього середовища як до цілого. Вона стосується, в першу чергу, діяльності усіх великих підприємств, які чинять значний негативний вплив на навколишнє середовище і споживають у великих кількостях енергію і сировину. Збалансованість TES є передумовою їхньої стійкості. В основі стійкості TES і біосфери в цілому лежить широкий комплекс механізмів та їх структурних особливостей. Головний фактор стійкості TES – це наявність в ній живої матерії. Розроблено принципи аналізу відповідності фактичних параметрів функціонування техноекосистем параметрам сталого розвитку, що відповідає параметрам найкращих доступних технологій. Запропоновані принципи є основою для розробки управлінських рішень щодо шляхів досягнення параметрів збалансованого функціонування складних техноекосистем. Вибір оптимальної структури TES здійснюється з урахуванням умов забезпечення механізму саморегуляції природних компонентів за рахунок використання найкращих доступних технологій. На цьому етапі виконання досліджень створені структурне та динамічна імітаційна моделі гірничодобувного регіону. Обґрунтовано завдання і принципи методології моніторингу природних компонентів техноекосистем на етапі переходу до сталого розвитку та визначено пріоритети при організації моніторингу гірничодобувних TES.

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

Вступ. Методологія наукового обґрунтування вибору технологій, які застосовуються у сучасних виробництвах в якості складової техноекосистеми (TES), передбачає комплексний підхід до навколишнього середовища як до цілого. Вона стосується, в першу чергу, діяльності усіх великих підприємств, які чинять значний негативний вплив на навколишнє середовище і споживають у великих кількостях енергію і сировину.

Ця методологія базується на таких принципах [1, 2]:

а) досягнення мети сталого розвитку обумовлює необхідність якомога повнішого і раціональнішого використання споживаних природних ресурсів та сировини. Пріоритет повинен віддаватися не заходам «на кінці труби», а заходам, які запобігають виникненню відходів. Цей принцип переносить увагу з традиційних об'єктів впливу на довкілля безпосередньо на виробничі технологічні об'єкти, тому що саме там є причини втрат і забруднення, і саме в зміні технологій виробництва криються можливості більш раціонального використання природних ресурсів та зниження відходності виробництва;

б) виробничий об'єкт розглядається як єдине ціле, в якому кожна суттєва зміна в технології може змінювати рівні утворення відходів. Екологічна безпека виробництва забезпечується на усіх стадіях життєвого циклу виробничого об'єкта, включаючи етапи проектування, будівництва, нормальної експлуатації та аварійних режимів, пусків і зупинок, виведення з експлуатації, рекультивації та повної утилізації відходів;

в) визначаються класи промислових об'єктів, здійснюється ранжування (починаючи з найбільш потенційно екологічно небезпечних) з урахуванням існуючих заходів, необхідних для забезпечення високого рівня охорони усіх природних компонентів навколишнього середовища. Це дозволяє концентрувати зусилля і ресурси на найбільш значущих напрямках;

г) максимально допустимі граничні величини і параметри техногенних впливів і відповідні їм заходи технічного характеру визначаються на основі застосування найкращих доступних технологій, параметри яких визначаються з урахуванням технічних характеристик відповідного об'єкта, його географічного розташування і місцевих умов навколишнього середовища. Найкращі доступні технології визначаються як найбільш ефективна і передова стадія в розвитку видів діяльності та методів їх експлуатації, які показують практичну придатність певних технологій для принципового забезпечення рівнів утворення відходів, у тому числі викидів та скидів, для запобігання і, якщо це практично неможливо, для зниження впливу на навколишнє середовище в цілому;

д) до всіх знову створюваних об'єктів пред'являється вимога відповідності найкращим доступним технологіям, яка включає, окрім технології виробництва кінцевого продукту ще і те, як проектувалася і реалізувалася дана технологія, як вона експлуатується, і яким чином буде виводитися з експлуатації після закінчення життєвого циклу.

Виклад основного матеріалу. *Принципи збалансованого функціонування TES.* Одним з основоположних понять складних TES є ступінь їх збалансованості. Необхідність забезпечення збалансованості TES викликана деструктивною роллю техногенної компоненти в цій системі. Тому збалансованість забезпечується за такого впливу техногенної компоненти на складові природного середовища, за якого змінені людиною природні процеси забезпечують довготривале (умовно безкінечне) існування TES [3-7]. Стан збалансованості TES означає таке функціонування її техногенної компоненти, при якому забезпечуються властивості природної саморегуляції взаємозв'язків в екосистемі з досягненням чітко визначеної послідовності фізико-хімічних та біологічних явищ (процесів) обумовлених внутрішніми та зовнішніми обмеженнями, які призводять до збереження функціонально єдиного цілого (рис. 1).

Збалансованість TES є передумовою їх стійкості. В основі стійкості TES і біосфери в цілому лежить широкий комплекс механізмів та їх структурних особливостей. Головний фактор стійкості TES – це наявність в ній живої

матерії. У загальному вигляді поняття саморегуляції TES зводиться до властивості біологічних систем автоматично встановлювати і підтримувати на визначеному, відносно постійному рівні ті чи інші фізіологічні або біологічні показники. При саморегуляції чинники, які керують TES, не впливають на регульовану систему ззовні, а виникають в ній самій.

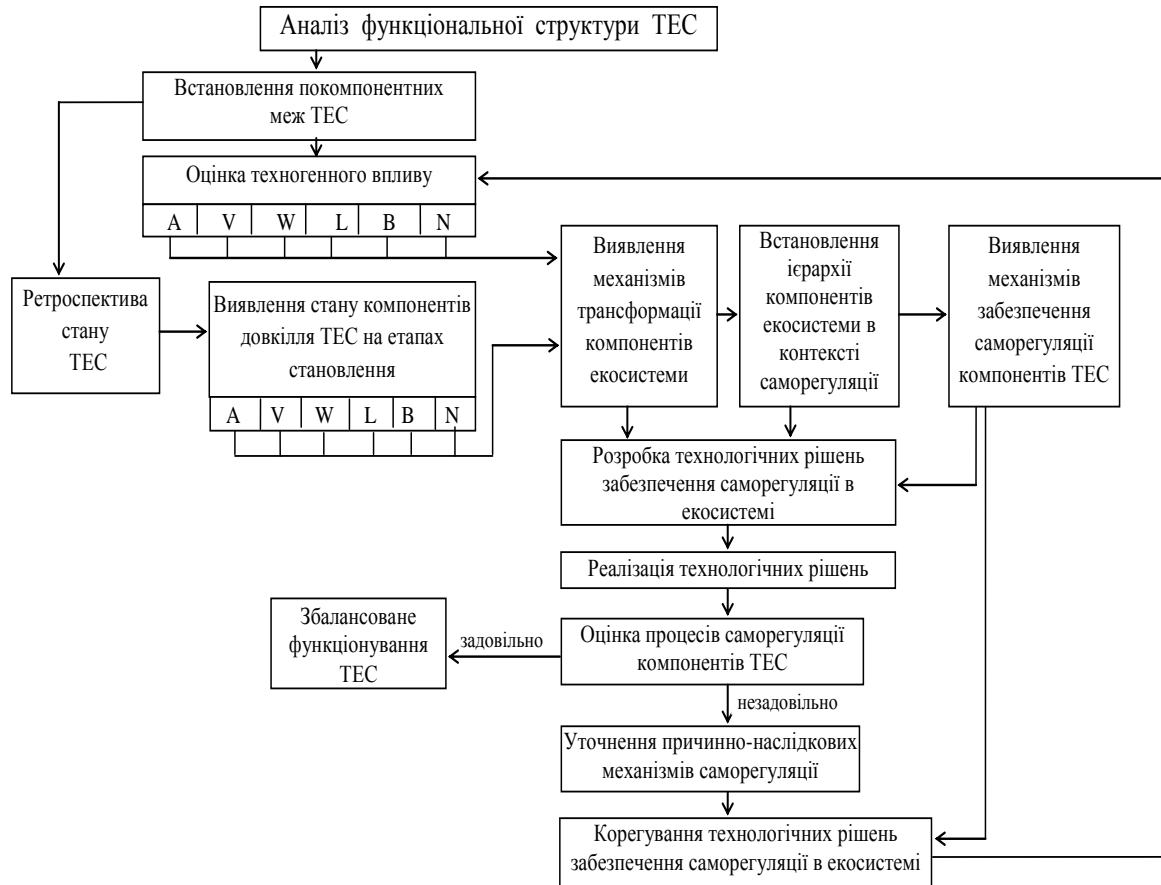


Рисунок 1 – Алгоритм досягнення збалансованого функціонування TES

Оптимізація структури TES в режимі сталого функціонування. Запропонована методологія ґрунтується на таких положеннях. При побудові оптимальної структури TES важливу роль відіграє ранжування компонентів цієї системи, тобто проводиться визначення середовищеутворюючого, як найважливішого компонента, також визначається і менш важливий для даної території компонент, оскільки різні компоненти TES мають різну значимість для забезпечення її стабільного стану.

Приведення до єдиного показника на верхньому рівні здійснюється з використанням нормуючої функції. Дана функція повинна бути безперервною і змінюватися від деякої встановленої верхньої межі (верхнього бала) до мінімального, який не обмежений знизу при досить великому номері ранжування. В цьому випадку коефіцієнт ранжування для верхнього компонента приймається таким, що дорівнює одиниці. За цим співвідношенням вибудовується ранжувальний ряд для решти компонентів TES. Розглянуті вище принципи покладено в основу методології оцінки ефективності

природокористування.

У функціональному плані виділяємо такі компоненти TES: соціальне середовище, людина і її здоров'я, біоценоз, земля і ґрунт, поверхневі води, підземні води, літосфера (надра). Компоненти TES знаходяться у визначених взаємозв'язках і взаємодії, що і являє собою структуру TES. Стійкість взаємозв'язків і взаємодії компонентів, тобто сама структура, перешкоджає постійній їх зміні, утримуючи ці зміни у визначених межах і зберігаючи TES від розпаду.

Методологія комплексної оцінки складних TES базується на основі побудови матриць оцінних структурних елементів, починаючи з матриці фактичного стану до матриці стабілізаційного, оптимального станів та інших етапів переходу до стану сталого розвитку, умовою якого є забезпечення механізму саморегуляції природних компонентів (рис. 2, 3).

		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 2 – Структура базової матриці елементів TES

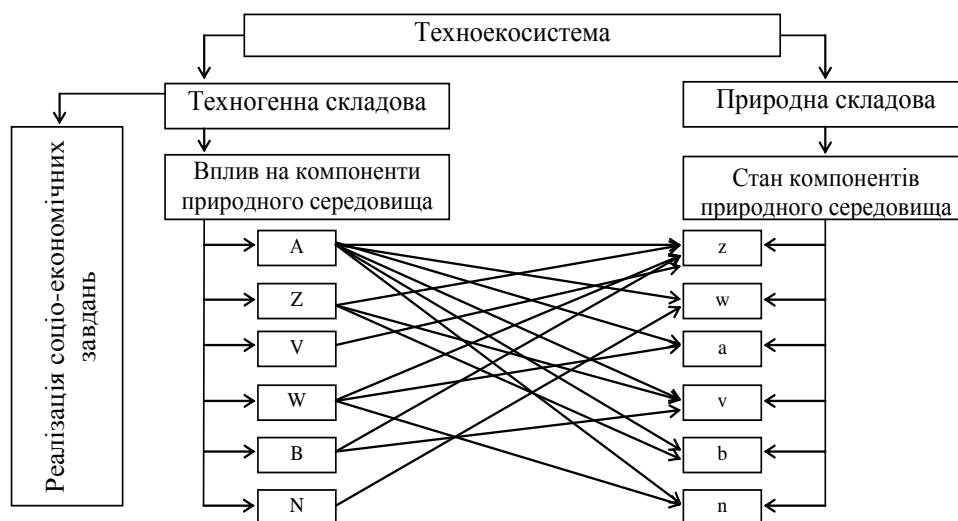


Рисунок 3 – Структура взаємозв'язків між природними і техногенними компонентами TES

Матрицю структурних елементів при оцінці TES гірничодобувного комплексу представлено на рис. 4.

		Компоненти техноекосистеми, j							
		I Здоров'я людини	II Соціальне середовище	III Біоценоз	IV Атмосфера	V Земля і ґрунт	VI Поверхневі води	VII Підземні води	VIII Літосфера
Стан компонентів техноекосистеми, i	Генетичні порушення		Порушення сельбищної території	Знищення біоценозів	Хімічне забруднення атмосферного повітря	Безповоротне порушення земель	Корінні зміни орогідрологічної системи	Знищення водоносних горизонтів питного призначення	Повнота використання основної корисної копалини
	Дитяча смертність		Переструктуризація інфраструктури	Порушення біоценозів за межами само-відновлення	Порушення структурного режиму (інверсійні особливості)	Довготривале відчуження земель	Погіршення до рівня, що не допускає відновлення	Підвищення мінералізації вод питного призначення	Покращення якості основної корисної копалини
	Захворюваність дорослого населення		Порушення структури сільсько-господарського виробництва	Порушення біоценозів у межах само-відновлення	Порушення динамічних характеристик (вітровий режим)	Відчуження земель з подальшою рекультивацією	Порушення режиму у межах відновлення	Порушення динамічного режиму підземних вод	Некомплексність вилучення
	Хронічна стомлюваність		Зниження рекреаційних можливостей	Порушення окремих елементів і зв'язків біоценозів	Порушення характеру впливу опадів	Погіршення якості сільгоспугідь (земель і ґрунтів)	Погіршення якості вод при можливості їх використання у сільському господарстві	Погіршення якості прісних вод у межах можливості їх очистки	Порушення масиву за межами зони гірничого відводу
	Виникнення дискомфортних умов		Порушення історико-культурного середовища	Зниження продуктивності біоценозів	Особливі мікрокліматичні умови	Несільсько-господарське відчуження без погіршення якості земель і ґрунтів	Погіршення санітарного стану вод в межах ГДК	Забруднення водоносних горизонтів	Вплив на стан літосфери району за межами земельного відводу

Рисунок 4 – Матриця структурних елементів при оцінці техноекосистеми гірничодобувного комплексу

Розроблено принципи аналізу відповідності фактичних параметрів функціонування TES параметрам сталого розвитку, що відповідає параметрам найкращих доступних технологій. Запропоновані принципи є основою для розробки управлінських рішень щодо шляхів досягнення параметрів збалансованого функціонування складних TES.

Вибір оптимальної структури TES здійснюється з урахуванням умов забезпечення механізму саморегуляції природних компонентів за рахунок використання найкращих доступних технологій.

Особливості моделювання складних TES. Головним інструментом оптимізації природокористування стає моделювання процесів взаємодії природної і техногенної складових. В якості системи, що повною мірою відображає процес взаємодії суспільства і природи при освоєнні природних ресурсів, вибрана територіальна TES. Під TES ми маємо на увазі взаємозв'язану, обумовлену одна з одною територіально обмежену систему, що включає природні (біоценози, атмосферу, гідросферу, ґрунти, надра) і техногенні (промислові, комунально-побутові, аграрні) підсистеми, метою яких є задоволення потреб суспільства в продукції, товарах, енергії і послугах при одночасній гарантованій якості навколишнього середовища. Математичні моделі подібної системи повинні включати значне число складних рівнянь з великим числом змінних (досягаючих декількох тисяч одиниць). Стосовно таких моделей використання аналітичних методів малоефективне і недоцільне. В результаті аналізу можливостей різних видів моделювання встановлено, що досліджуванім об'єктом найбільш відповідає динамічне імітаційне моделювання. У кожному конкретному випадку побудова імітаційної моделі ґрунтована на вивченні дійсного ходу процесів в реальних системах і представленні їх за допомогою обраної системи показників. При цьому немає необхідності підганяти модель під відому схему, що заздалегідь припускає приналежність моделі до будь-якого спеціального класу завдань математичного програмування. Це дозволяє описувати природно-техногенні процеси якомога ближче і точніше до реальності дослідженої системи показників. Таким чином, імітаційне дослідження значною мірою залишається завданням, що вимагає творчої активності і самостійності експериментатора, неординарності рішень, що приймаються.

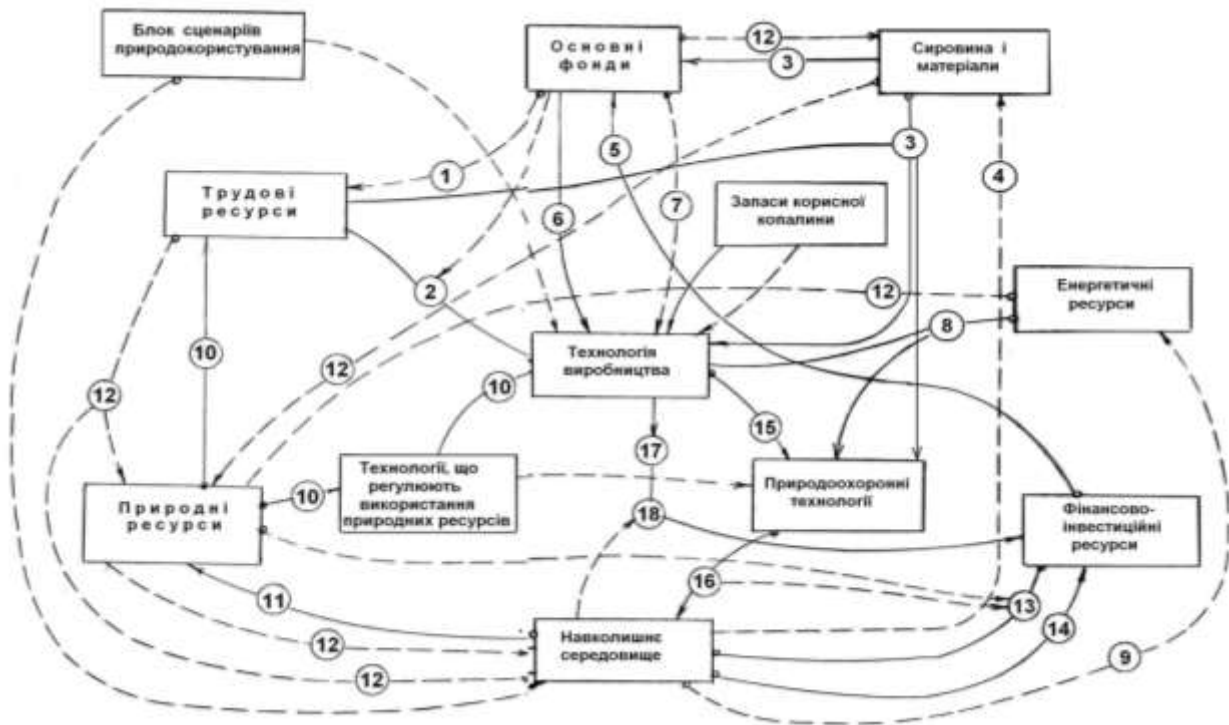
Структура моделі функціонування TES. Моделювання діяльності складних виробничих систем не може бути однозначним. Модель повинна дозволити вирішувати декілька завдань. У зв'язку з цим, модель повинна мати такі характерні риси:

- а) мати можливість відображати будь-який причинно-наслідковий зв'язок, який ми захочемо врахувати;
- б) мати просту математичну форму;
- в) використовувати термінологію, синонімічну мові екології, економіки і виробництва;
- г) охоплювати велике число змінних (тисячі), не перевищуючи проте практичних можливостей обчислювальних машин.

Вказаним вимогам задовольняє динамічна структура, що складається з:

- а) певного числа об'єктів;
- б) потоків, що переміщують вміст одного об'єкту до іншого;
- в) функції, які регулюють темпи потоку між об'єктами;
- г) канали інформації, що сполучають функції з об'єктами.

На цьому етапі виконання досліджень створена структурна схема динамічної імітаційної моделі гірничодобувного регіону. На рис. 5 представлена узагальнена модель у вигляді діаграми потоків (мереж) ресурсів з вказівкою інформаційних взаємодій між об'єктами.



□ - об'єкти моделі; —> - реальні (матеріальні і грошові) потоки; - -> - інформаційні потоки і причинні співвідношення; ○ - визначальні чинники в потоках: 1 - зв'язок показника травматизму та стану основних фондів; 2 - показник продуктивності праці; 3 - нормативи витрати матеріалів і сировини; 4 - ліміти використання матеріальних ресурсів; 5 - капітальні вкладення на модернізацію основних фондів; 6 - амортизація основних фондів; 7 - залежність ефективності виробництва від основних фондів; 8 - питомі витрати енергоносіїв; 9 - ліміти на енергоносії; 10 - питома витрата природних ресурсів; 11 - ліміти використання природних ресурсів; 12 - співвідношення інтегральної екологічної ресурсоемності; 13 - податки, плати за ресурси, штрафи; 14 - зовнішні інвестиції, дотації; 15 - питомі викиди, скидання, землевідчуженості та ін.; 16 - питомі викиди, скидання після природоохоронних технологій; 17 - об'єм і номенклатура продукції; 18 - кон'юнктура ринку і нормативи ціноутворення

Рисунок 5 – Діаграма співвідношень між об'єктами моделі

Висновки. Таким чином, процес побудови динамічної імітаційної системи промислового підприємства, що функціонує у рамках природного середовища території, включає наступні етапи:

- а) визначається конкретний природно-техногенний процес, який підлягає

аналізу методом динамічного моделювання (видобуток вугілля шахтним способом в умовах Донбасу);

б) формуються (у словесному вираженні) основні зв'язки або причинно-наслідкові залежності, що характеризують структуру системи, що вивчається;

в) будується математична модель, причому кожна частина цієї моделі створюється на основі графічної схеми, що виражає зміст попереднього етапу;

г) проектується поведінка модельованої системи або її змін в часі;

д) імітується динаміка системи на цифрових обчислювальних машинах.

Результати порівнюються з наявними даними про аналогічні реальні процеси.

На основі розроблених принципів збалансованого функціонування складних TES і оптимізації техногенної складової систем гірничодобувного комплексу обґрунтовано завдання і принципи методології моніторингу природних компонентів TES на етапі переходу до сталого розвитку та визначено пріоритети при організації моніторингу гірничодобувних TES.

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). ІПРЕ НАН України. Дніпропетровськ, 2015. 130 с.

2. Луньова О.В. Методологія вибору технологічних рішень оптимізації функціонування техноекосистем // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2018. Вип. 141. С. 42-48.

3. Шапар А.Г. Критерії та показники сталого розвитку: наукові підходи до їх обґрунтування // Зб. наукових праць "Екологія і природокористування". ІПРЕ. Вип. 3. Дніпропетровськ, 2000. С. 5-15.

4. Mäler K.G. Sustainable development and resilience in ecosystems // *Environmental and resource economics*. 2008. Vol. 39, No. 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.

REFERENCES

1. Shapar A.G., Skrypnyk O.O., Kopach P.I., Lunova O.V. [et al.] (2015), Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Rozrobka naukovykh osnov zbalansovanogo funktsionuvannya skladnykh texnoekosystem ta shlyakhy yoho dosyagnennya» [Report about research work is «Development of scientific bases of the balanced functioning of difficult technoecosystems and ways of his achievement»], SR 0107U011874, IPPE NAN of Ukraine, Dnipropetrovsk, UA.

2. Lunova O.V. (2018), «Methodology of choice of technological decisions of optimization functioning of technoecosystems», *Geo-Technical Mechanics*, no. 141, pp. 42-48.

3. Shapar A.G. (2000), «Criteria and indexes of steady development: scientific approaches to their substantiation», *Ekologiya i pryrodokorystuvannya*, IPPE, 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*, University Press, Oxford, 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.

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. На основе разработанной методологии выбора технологических решений для обеспечения устойчивого функционирования техноекосистем (TES) произведено моделирование сценариев развития TES. Эта методология базируется на пяти принципах. Цель работы заключается в разработке научно-методологических основ и путей достижения сбалансированного функционирования сложных TES. Объектом исследования являются процессы функционирования сложных TES. Методология научного обоснования выбора технологий, применяемых в современных производствах в качестве составной TES, предусматривает комплексный подход к окружающей среде как к целому. Она касается, в первую очередь, деятельности всех крупных предприятий, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду и потребляющих в больших количествах энергию и сырье. Сбалансированность TES является предпосылкой их устойчивости. В основе устойчивости TES и биосферы в целом лежит широкий комплекс механизмов и их структурных особенностей. Главный фактор устойчивости TES - это наличие в ней живой материи. Разработаны принципы анализа соответствия фактических параметров функционирования TES параметрам устойчивого развития, отвечает параметрам лучших доступных технологий. Предложенные принципы являются основой для разработки управленческих решений относительно путей достижения параметров сбалансированного функционирования сложных TES. Выбор оптимальной структуры TES осуществляется с учетом условий обеспечения механизма саморегуляции природных компонентов за счет использования наилучших доступных технологий. На этом этапе выполнения исследований создана структурная схема динамической имитационной модели горнодобывающего региона. Обоснованы задачи и принципы методологии мониторинга природных компонентов TES на этапе перехода к устойчивому развитию и определены приоритеты при организации мониторинга горнодобывающих TES.

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

Annotation. The research studies the scenarios modelling enabling to develop the techno-ecosystem (TES). It was designed based on the developed methodology allowing choosing the technological decisions to ensure the sustainable functioning of TES. The aim of the work is to develop scientific-methodological basics and approaches ensuring the balanced functioning of complex TES. The case study of the research is functioning processes of complex TES. A scientific based methodology allowing choosing the technology, which can be applied in a contemporary production as a part of TES, implies a comprehensive and holistic approach the environment. First of all, it refers to the activity of all giant enterprises having a negative impact on environment and consuming a huge amount of energy and raw material. Here the well-balanced TES is envisioned as a sustainable system. A broad set of mechanisms and their structural features shape the foundation for sustainability of TES and biosphere. The living matter as a principal factor ensures the techno-ecosystem sustainability. In the research the authors developed the rules enabling to analyze the conformity of the actual functioning parameters with the parameters allowing a sustainable development, which corresponds to best available technology. The proposed set of principles is considered as a basic to make management decisions regarding the ways on how to define the required parameters ensuring the balanced functioning of complicated TES. The choice of optimal TES structure is made taking into account the conditions which ensure the self-sustaining of natural components. It can be done based on best available technology utilizing. In order to achieve this the authors created a scheme of dynamic imitation model of mining region; proved tasks and methodology principles to monitor the natural TES components at the transition stage aiming the sustainable development; determined the priorities enabling monitoring if mining techno-ecosystem.

Keywords: mining TES, balanced functioning, hierarchy of TES, best available technology.

Стаття надійшла до редакції 26.10. 2018

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