

ІНФОРМАЦІЙНО-АЛГОРИТМІЧНА ПІДТРИМКА КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СИСТЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Т.В. КОЗУЛЯ, Д.І. ЄМЕЛЬЯНОВА

Анотація. Обґрунтовано доцільність застосування комплексного підходу до розроблення методичного забезпечення оцінки якості і безпечності системних об'єктів з позицій сталого розвитку. Визначено необхідність застосування показників комплексного оцінювання екологічності на основі *MIPS*-аналізу і ризик-характеристик стану складних систем з метою підвищення якості прийняття об'єктивних рішень щодо зниження ступеня небезпеки в екологічному аспекті. Алгоритмічне забезпечення розроблено для практичної реалізації методики комплексної оцінки екологічності системних об'єктів з урахуванням зв'язку між їх станом і процесами внутрішньої самоорганізації і зовнішньої взаємодії з навколишнім середовищем.

Ключові слова: екологічна безпека, складна система, природно-техногенний об'єкт, *MIPS*-аналіз, ризик-аналіз, комплексне оцінювання якості.

ВСТУП

Розроблення комплексного підходу до формування інформаційно-алгоритмічного забезпечення системного аналізу та оцінки екологічності природно-техногенних об'єктів зумовлено необхідністю запровадження інформаційної підтримки рішень з управління безпечністю різнорідними структурованими системними об'єднаннями. Методика комплексного оцінювання екологічності, заснована на принципах гармонізації сталого розвитку складних систем, полягає в можливості встановлення зовнішніх і внутрішніх факторів деструктивних явищ і процесів, що призводять до зменшення рівня небезпеки і зниження негативного техногенного впливу на об'єкти навколишнього природного середовища (НПС) [1].

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Основи комплексного методичного підходу з еколого-економічної оцінки якості та безпечності складних систем подано у працях вітчизняних науковців Г.В. Лисиченка [2], М.С. Мальованого [3], зарубіжних авторів А.М. Dies [4], М.Н. Ordouea [5], V. Costantini [6].

Розглянуті методики еколого-економічного оцінювання мають економічну змістовність, що ґрунтується на вартісних показниках якості системних об'єктів, не враховують еколого-соціальних складових оцінок.

Зарубіжні розробки з використання методів *MIPS*-аналізу засновані на працях М. Ritthoff [7], I.K. Wernick [8], K. Wiesen [9], C. Liedtkea [10],

L. Mancini [11], S. Laaksoa [12]. Методика *MIPS*-аналізу в цих працях має об'єктом дослідження економічні системи і оперує до економічних характеристик, що потребує зміни її змістовності та математичної інтерпретації вхідної інформації і кінцевих результатів для отримання оцінки екологічності та небезпечного впливу господарської діяльності на об'єкти природного середовища.

Методичне забезпечення ризик-аналізу сформовано на підставі праць вітчизняних науковців А.Б. Качинського [13], Є.О. Яковлева [14], Г.О. Статюхи [15]; зарубіжних авторів D.W. Connell [16], M.H. Whittaker [17]. Під час використання методики оцінювання екологічних ризиків на основі досліджень зазначених авторів не враховуються процеси, які відбуваються при переході системи у певній ситуації у кінцевий стан. Таким чином, доцільним і необхідним стає формування комплексної моделі дослідження, поданої у вигляді аналітичної системи оцінювання «стан₁ – процес – стан₂», що дозволить відповідно до загальнодетального і детального встановлення екологічних ризиків виявити довірливі процеси дестабілізації і стабілізації стану системи, фактори регулювання безпечності системних об'єктів.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Мета роботи — визначення інформаційно-алгоритмічної основи вирішення завдань комплексного оцінювання екологічності і безпечності природно-техногенних системних об'єктів (ПТСО) відповідно до *MIPS*- і ризик-аналізу для забезпечення інформаційної підтримки прийняття управлінського рішення.

У роботі досліджено такі завдання теоретично-практичного змісту:

1) визначення складових методичного забезпечення комплексного оцінювання якості і безпечності системних об'єктів з установленням зовнішніх та внутрішніх деструктивних факторів і процесів для прийняття зваженого рішення щодо регулювання їх функціональних можливостей зі стабілізації розвитку;

2) розроблення інформаційно-алгоритмічного забезпечення комплексного оцінювання екологічності ПТСО з метою визначення рівня якості на рівні дослідження «об'єкт – навколишнє середовище» на основі *MIPS*-аналізу, загальнодетального і детального оцінювання змін у системі за результатами ризик-аналізу «стан₁ об'єкта – процес – стан₂ об'єкта»;

3) проведення апробації запропонованої методики комплексного оцінювання екологічності конкретного ПТСО для отримання об'єктивної та обґрунтованої інформаційної підтримки управлінських рішень відповідно до його стану і умов функціонування в певному навколишньому середовищі.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення відповідності стану об'єкта визначеному рівню екологічної якості пропонується запровадити аналітичну систему досліджень на рівні загальнодетального, детального аналізу стану об'єктів і факторів невідповідності. За поданим підходом дослідження складної системи застосовано

також комплексне поняття якості, яке становить екологічність — відповідність природним властивостям компонентів НПС; безпечність — відповідність вимогам збереження функціональності систем, стану екологічного благополуччя. Отже, у пропонованій методиці має враховуватись системність об'єкта, особливі властивості складових систем, характерні прояви їх взаємодії з навколишнім середовищем.

Для узагальненої оцінки стану системи «об'єкт – навколишнє середовище» пропонується застосувати MIPS-аналіз, що дозволяє встановити відповідність вимогам природної стабільності та допустимого рівня дії техногенних факторів:

$$MIPS_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n MI_i C_i x_j}{S_j} = \frac{MI_{\text{заг}}}{S_j},$$

де MI_i — матеріальна інтенсивність i -го небезпечного фактора для компонента НПС (const); C_i — концентрація i -го небезпечного фактора у j -й системі в кількості x_j , яка має продуктивність S_j (кількість кінцевого продукту тощо); $MI_{\text{заг}}$ — оцінка відповідності складу системи — наявність елементів, компонентів структури) забезпеченість певної енергії взаємодії між складовими, що надалі гарантує необхідний рівень функціональності, обмеження навантаження з боку навколишнього середовища, яке спричиняє негативні впливи на систему загалом [18].

Таким чином, MIPS-аналіз дозволяє визначити загальну оцінку стану ПТСО з урахуванням внутрішніх факторів у складному системному об'єкті та зовнішніх факторів його взаємодії з навколишнім середовищем. Проте MIPS-оцінка не надає інформації про ступінь деструкції системи і прояв дестабілізуювальних факторів та процесів для визначення регулювальних механізмів стану системного об'єкта чи необхідних заходів управління якістю.

Ступінь відповідності для факторів і процесів у загальнодетальному і детальному вигляді запропоновано визначати на основі ризик-аналізу.

Детальні дослідження з оцінювання безпечності за методикою комплексного ризик-аналізу системи «стан₁ об'єкта – процес – стан₂» дозволяють установити вагомі механізми регулювання сталого розвитку систем і надати інформаційну підтримку для прийняття управлінського рішення (рис. 1).

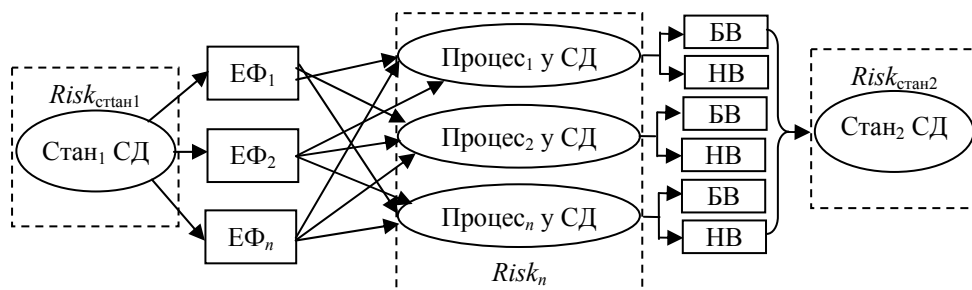


Рис. 1. Схема взаємодії складових системи оцінки екологічного ризику: СД — система дослідження; ЕФ — екологічний фактор; БВ (НВ) — безпечний (небезпечний) вплив

Ризик-аналіз здійснюється системно з урахуванням структури внутрішніх і зовнішніх зв'язків, які визначають інформацію про вплив факторів НПС на об'єкт, перетворення на рівні процесів у системі та формування параметрів стану (стан₂ СД). Взаємодія системи з об'єктами НПС визначається рівнем прояву факторів техногенного навантаження як сукупна дія різномірної природи. Характеристики впливу змінюються відповідно до особливостей перебігу процесів, які відбуваються в системах і мають деструктивний характер, що визначає рівень безпечності для складових ПТСО.

Доцільність комплексного ризик-аналізу перебігу процесів у системах ПТСО, оцінювання їх безпечності зумовлено необхідністю визначення деструктивних змін, причин порушень відповідності вимогам екологічності для встановлення регульовальних дій зі стабілізації стану і функціональності систем (рис. 2).

Для оцінювання екологічного ризику порушення екологічної стійкості ПТСО і виявлення точок екологічної небезпеки проводиться пофакторний ризик-аналіз стану кожної системи відповідно до її стабільності та прояву процесів у ній. Згідно з послідовністю виявлення негативних змін у системі (рис.2) аналізуються процеси трансформації вхідних факторів впливу: синергетичне посилення небезпечності, поява нових «продуктів» змін.

Деталізація ризик-аналізу на рівні процесів необхідна для уточнення дестабілізуювальних механізмів, обґрунтування вагомих факторів деструктуризації системи, що призводить до реалізації незворотних явищ, які ймовірно приводять систему в новий стан.

Таким чином, ризик-характеристики змін у системному об'єкті визначаються з метою узгодження і підтвердження результатів *MIPS*-аналізу, установа процесів порушення стаціонарності системи і процесів її стабілізації. Системний аналіз процесів у системах об'єкта дослідження першочергово ідентифікує фактори порушень, які треба нейтралізувати, і дозволяє обґрунтовано виявляти механізми стабілізації, які треба активізувати.

Комплексний підхід до формування інформаційно-методичного забезпечення дозволяє узгодити результати різномірних досліджень систем ПТСО у такій послідовності:

- 1) визначення загального рівня екологічної безпечності за *MIPS*-аналізом і підтвердження цієї оцінки результатами сумарного ризик-аналізу;
- 2) виявлення точок екологічної небезпеки за пофакторним ризик-аналізом стану систем ПТСО і процесів у них за високого значення коефіцієнта кореляції між однаковими ризик-факторами;
- 3) інтерпретація результатів ризик-аналізу відповідно до загальної оцінки стану «система – навколишнє середовище» і детального оцінювання змін у системі «стан – процес – кінцевий стан» [19].

Методику комплексного оцінювання якості та безпечності системних об'єктів апробовано на прикладі визначення екологічної ефективності діяльності підприємства ПАТ «Юкрейніан кемікал продактс» (на базі ПАТ «Кримський титан»), продукцією якого є діоксид титану, мінеральні добрива, сульфат алюмінію, залізний купорос. Оцінні розрахунки виконано за даними екологічного моніторингу системи «викиди у атмосферу забруднювальних речовин – розміщення відходів – вплив на НПС».

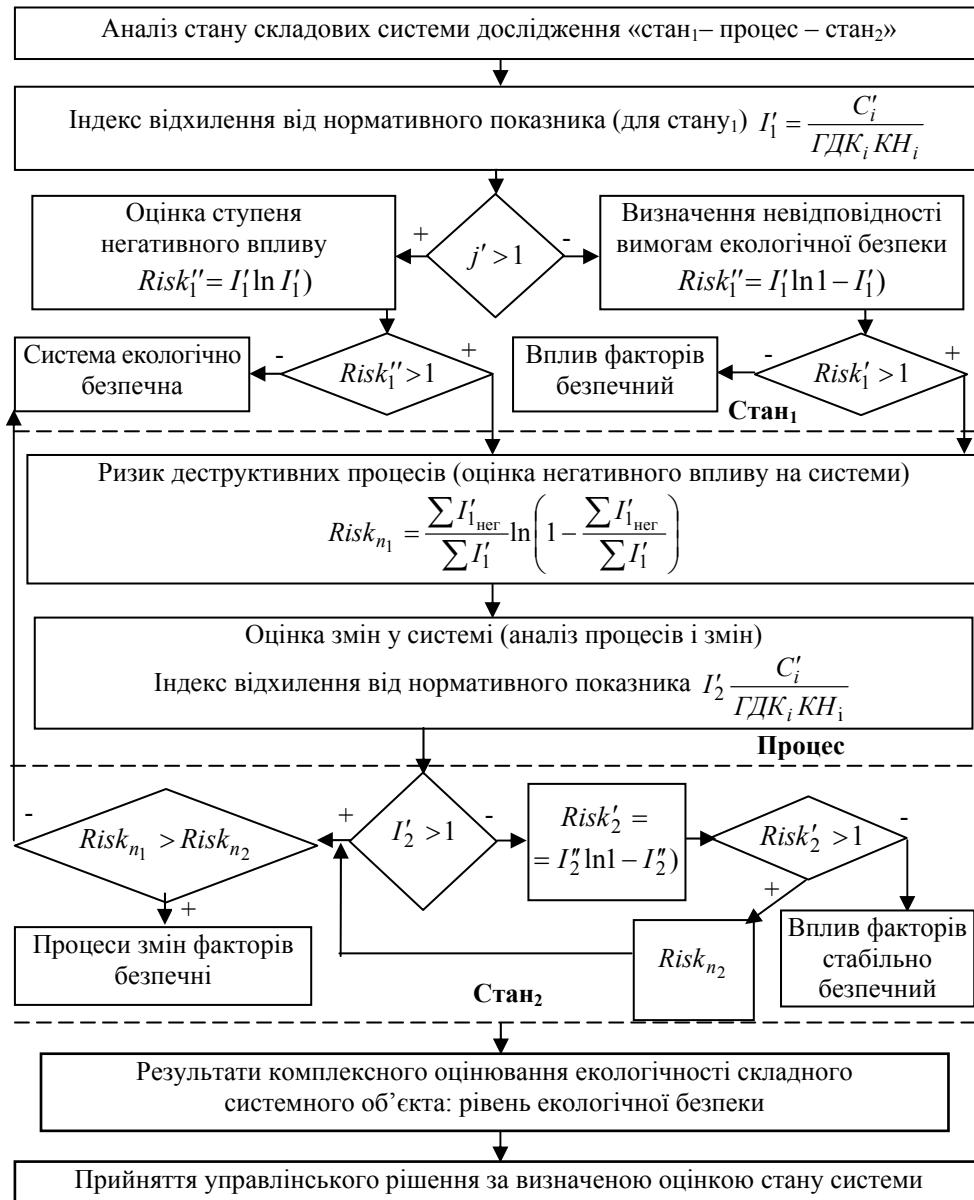


Рис. 2. Алгоритм ризик-оцінки екологічності системних об'єктів

Результати оцінювання відповідності технології виробництва діоксиду титану, мінеральних добрив, сульфату алюмінію, залізного купоросу вимогам безпеки НПС отримано за MIPS-аналізом викидів у атмосферу, розміщення відходів на полігоні за відповідним складуванням і захороненням їх у фосфогіпсосховищі та кислотонакопичувачі (табл. 1).

За всіма показниками оцінювання екологічності $MIPS_2 > MIPS_1$, отже, кінцевий стан взаємодії «об'єкт – НПС» визначається як екологічно небезпечний.

Негативний фактор впливу на НПС технології виробництва діоксиду титану, мінеральних добрив, сульфату алюмінію, залізного купоросу оціню-

ється за величиною ризику, отриманого при порівнянні вимірюваних фактичних показників з рівнями безпеки у вигляді граничнодопустимих концентрацій (ГДК). Нормативне значення ГДК допускає обмежене коливання у дестабілізації системи, прийнятну «міру» навантаження на природне середовище (розрахунки відповідно до алгоритму, показаному на рис. 2) (табл. 2).

Таблиця 1. MIPS-аналіз екологічності виробництва ПАТ «Юкрейніан кемикал продактс»

№ з/п	Забруднювальна речовина	MI-число [20]	C _i		MI _{заг}	
			2014	2015		
Викиди в атмосферу: стаціонарні джерела						
1	Азоту діоксид	1,05	207,95	251,74	218,35	39,51
2	Аміак	5,04	10,7	22,36	53,93	19,80
3	Ангідрид сірчаний	0,41	4417,88	4432,84	1824,58	5345,63
4	Оксид вуглецю	4,70	45,87	69,82	215,59	318,34
5	Вуглеводороди	2,19	1,52	1,83	3,33	6,57
6	Зважені сполуки	-	771,32	1013,4	0,00	0,00
7	Газоподібні фтористі сполуки	0,06	3,15	5,43	0,18	9,23
8	Марганець, сполуки	2,23	0,004	0,0047	0,01	0,07
9	Свинець і його сполуки	-	0,00025	0,00013	-	0,00
10	Хром і його сполуки	2,30	0,029	0,033	0,07	0,39
11	Сірчана кислота	0,70	561,63	584,24	393,14	140,41
Сумарне MIPS-число					0,38	0,98
Викиди в атмосферу: пересувні джерела						
12	Дизельне паливо	0,02	979,3	1283,47	18,61	1331,85
13	Бензин етиловий	3,20	487,72	459	1560,70	2170,35
Сумарне MIPS-число*					1,08	2,39
Розміщення відходів						
14	Гідролізна кислота	0,38	32637	6987,1	12402,06	30352,41
15	Шлам чорний	0,66	13712	11246,4	8981,36	32634,56
16	Залізний купорос	1,73	56550	15283,4	97605,30	75211,50
17	Пульпа фосфогіпсу	0,06	29820	74440	1669,92	19979,40
18	Відпрацьовані шини	1,65	5,63	8,17	9,29	32,09
19	Відходи очищення обладнання	-	774	838	-	-
20	Будівельні відходи	0,06	875	952	52,50	1452,50
21	Відходи футерування	-	570	734	-	-
22	Відпрацьовані ртутні лампи	-	211	206	-	-
23	Відпрацьовані акумулятори	0,64	0,4	0,162	0,26	1,07
24	Відпрацьований ванадієвий каталізатор	-	1,4	100	-	-
Сумарне MIPS-число					0,89	1,18

Таблиця 2. Ризик-оцінка виробництва ПАТ «Юкрейниан кемикал продактс»

№ з/п	Забруднювальна речовина	ГДК	К	I_i		Risk	
				2014	2015	Стан ₁	Стан ₂
Викиди в атмосферу: стаціонарні джерела							
1	Азоту діоксид	725,04	2	0,14	0,17	0,022	0,03
2	Аміак	75,04	4	0,04	0,07	0,001	0,01
3	Ангідрид сірчаний	5862,8	3	0,25	0,25	0,073	0,07
4	Оксид вуглецю	164,15	4	0,07	0,11	0,005	0,01
5	Вуглеводороди	1,73	3	0,29	0,35	0,101	0,15
6	Зважені сполуки	3111,6	3	0,08	0,11	0,007	0,01
7	Газоподібні фтористі сполуки	33,24	2	0,05	0,08	0,002	0,01
8	Марганець, сполуки	0,012	2	1,67	1,96	0,851	1,32
9	Свинець і його сполуки	0,0003	1	0,96	0,5	3,133	0,35
10	Хром і його сполуки	0,1164	1	0,25	0,28	0,071	0,09
11	Сірчана кислота	1561,5	2	0,18	0,19	0,036	0,04
<i>Risk_n процесів</i>						0,713	0,314
Розміщення відходів							
12	Гідролізна кислота	537,2	2	30,4	6,503	103,7	12,18
13	Шлам чорний	163327	4	0,02	0,017	0,0003	3·10 ⁻⁴
14	Залізний купорос	65802	4	0,21	0,058	0,052	0,003
15	Пульпа фосфогіпсу	277120	4	0,03	0,067	0,0007	0,005
16	Відпрацьовані шини	16	4	0,09	0,128	0,0081	0,017
17	Відходи очищення обладнання	1000	4	0,19	0,21	0,0416	0,049
18	Будівельні відходи	1000		0,88	0,952	1,8195	2,891
19	Відходи футерування	800		0,71	0,918	0,8882	2,289
20	Відпрацьовані акумулятори	1,4	2	0,14	0,058	0,022	0,003
21	Відпрацьований ванадієвий каталізатор	130	4	0	0,192	10 ⁻⁶	0,041
<i>Risk_n процесів</i>						2,477	2,321

Небезпечними факторами відповідно до отриманих результатів (табл. 2) визначено марганець та його сполуки, гідролізну кислоту, будівельні відходи і відходи футерування. Загальна ризик-оцінка відповідає ситуації $Risk_{n1} > Risk_{n2}$, що зумовлено проявом процесів самоорганізації, які нівелюють негативний вплив на об'єкти НПС. Аналіз таких процесів проводиться в межах даної методики додатково на основі термодинамічних розрахунків довільних реакцій між складовими відходів і їх взаємодії з елементами середовища [21, 22].

ВИСНОВКИ

У роботі обґрунтовано теоретико-методичні основи комплексного аналізу стану ПТСО на основі системи оцінювання екологічної відповідності за

MIPS- і ризик-аналізом з ідентифікацією негативних порушень у системі «техногенний об'єкт – НПС» і отримано таке:

1) сформовано методичне забезпечення комплексного оцінювання якості та безпечності системних об'єктів з урахуванням специфіки їх функціонування, взаємозв'язку між станом і процесами внутрішньої самоорганізації та зовнішнього зв'язку з НПС відповідно до системного гомеостазу;

2) розроблено інформаційно-алгоритмічне забезпечення комплексного оцінювання екологічності ПТСО відповідно до аналізу стану системи «об'єкт – навколишнє середовище» на основі *MIPS*-аналізу і детального оцінювання змін за послідовним ризик-аналізом «стан₁ – процес – стан₂»;

3) показано перспективність реалізації комплексного методичного забезпечення з оцінювання якості ПТСО для отримання інформаційної підтримки прийняття зважених рішень для розв'язання практичних завдань екологічної безпеки на прикладі оцінювання рівня безпеки виробництва діоксиду титану, мінеральних добрив, сульфату алюмінію, залізного купоросу відповідно до аналізу системи «викиди у атмосферу забруднювальних речовин – розміщення відходів – вплив на НПС» (табл. 1, 2).

Наукова новизна отриманих результатів у роботі полягає в удосконаленні математичного забезпечення *MIPS*-аналізу для врахування екологічної змістовності складових ПТСО. У методиці ризик-аналізу враховується узгодженість «стан₁ – процес – стан₂» для різних рівнів деталізації оцінки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровский М.З. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / М.З. Згуровский, А.Д. Гвишиани. — К.: Політехніка, 2008. — 331 с.
2. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г. В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. — К.: Наук. думка, 2008. — 543 с.
3. Харламова Е.В. Теоретические основы управления экологической безопасностью техногенно нагруженного региона / Е.В. Харламова, М.С. Малеваный, Л.Д. Пляцук // Екологічна безпека. — 2012. — № 1. — С. 9–12.
4. Dies A.M. Economic aspects of thermal treatment of solid waste in a sustainable WM system / A.M. Dies // Waste Management. — 2015. — Vol. 37. — P. 45–57.
5. Ordoueia M.H. New sustainability indices for product design employing environmental impact and risk reduction: case study on gasoline blends / M.H. Ordoueia, Ali Elkamela, Maurice B. Dusseaultb, I. Alhajric // Journal of Cleaner Production. — 2015. — Vol. 108. — Part A. — P. 312–320.
6. Costantini V. Hybrid Economic-Environmental Accounts / V. Costantini, M. Mazzanti, A. Montini. — Routledge: New York, 2012. — 264 p.
7. Риттхофф М. Вычисления MIPS: ресурсная продуктивность продукции и услуг / М. Риттхофф; под науч. ред. О.Сергиенко, Х. Рона // Основы теории эко-эффективности. — СПб, 2004. — 246 с.
8. Wernick I.K. Material Flows Accounts – A Tool for Making Environmental Policy, WRI Report / I.K. Wernick, F.H. Irwin. — World Resource Institute: Washington, DC, USA, 2005. — 246 p.
9. Wiesen K. Calculating the material input per service unit using the ecoinvent database / K. Wiesen, M. Saurat, M. Lettenmeier // International journal of performance engineering. — 2014. — Vol. 10, N. 4. — P. 357–366.

10. *Lukasa M.* The nutritional footprint – integrated methodology using environmental and health indicators to indicate potential for absolute reduction of natural resource use in the field of food and nutrition / M. Lukasa, H. Rohna, M. Lettenmeierd etc. // *Journal of Cleaner Production*. — 2015. — Vol. 110. — P. 322–330.
11. *Mancini L.* Application of the MIPS method for assessing the sustainability of production-consumption systems of food / L. Mancini, H. Rohn, C. Liedtke // *Journal of Economic Behavior & Organization*. — 2012. — Vol. 81(3). — P. 779–793.
12. *Laaksoa S.* Household-level transition methodology towards sustainable material footprints / S. Laaksoa, M. Lettenmeierb // *Journal of Cleaner Production*. — 2016. — Vol. 125. — P. 267–278.
13. *Качинский А.Б.* Структурный анализ системы обеспечения экологической и природно-техногенной безопасности Украины / А.Б. Качинский, Н.В. Агаркова // *Системні дослідження та інформаційні технології*. — 2013. — № 1. — С. 7–15.
14. *Биченок М.М.* Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі: моногр. / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев. — К.: РНБО, 2009. — 160 с.
15. *Статюха Г.О.* Системний підхід до оцінювання ризиків при проектуванні промислових об'єктів / Г.О. Статюха, Т.В. Бойко, А.О. Абрамова // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. — 2013. — Т. 2, 14 (56). — С. 8–12.
16. *Cao Q.* Health risk characterisation for environmental pollutants with a new concept of overall risk probability / Q. Cao, Q. Yu, D.W. Connell // *Journal of Hazardous Materials*. — 2013. — Vol. 187. — P. 480–487.
17. *Whittaker M.H.* Risk Assessment and Alternatives Assessment: Comparing Two Methodologies / M.H. Whittaker // *Risk Analysis*. — 2015. — Vol. 35. — N 12 — P. 2129–2136.
18. *Козуля Т.В.* Використання МІ-чисел при формуванні комплексної оцінки екологічності виробництва і ПТК / Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова // *Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 15 Міжнар. науково-техн. конф. SAIT*. — К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ». — 2013. — С. 115–116.
19. *Козуля Т.В.* Екологічний ризик на різних рівнях дослідження природно-техногенних систем, інформаційне забезпечення його оцінки / Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова // *Проблеми інформаційних технологій*. — 2015. — № 17. — С. 138–144.
20. *Ritthoff M.* Calculating MIPS – Resource Productivity of Products and Services / M. Ritthoff, H. Rohn, C. Liedtke. — Wuppertal, 2003. — Access mode: www.mips.online.info
21. *Касимов А.М.* Применение методики термодинамической оценки воздействия известняковой технологии мокрой сероочистки на объекты окружающей среды / А.М. Касимов, Т.В. Козуля, Д.И. Емельянова, М.М. Козуля // *Экология и промышленность*. — 2016. — № 1. — С. 94–98.
22. *Касимов А.М.* Методическое обеспечение оценки воздействия техногенных объектов на окружающую среду / А.М. Касимов, Т.В. Козуля, Д.И. Емельянова, М.М. Козуля // *Экологический вестник Северного Кавказа*. — 2016. — № 1. — С. 48–54.

Надійшла 09.11.2016