

УДК 69.03

**ТЕХНОГЕННІ РИЗИКИ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГОНОСІЇВ  
З ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ**

С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов

**ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ  
С ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

С. И. Ткаченко, Д. В. Степанов

**TECHNOGENIC RISKS OF SYSTEM OF POWER MEDIUMS PRODUCTION  
FROM ORGANIC WASTES**

S. Tkachenko, D. Stepanov

*Вказано, що будь-яка система, в тому числі система переробки органічних відходів, в результаті своєї роботи спричиняє шкідливий вплив на навколишнє середовище. Проаналізовано фактори негативного впливу систем утилізації відходів на навколишнє середовище. Розглянуто наявну термінологію щодо техногенних ризиків, виявлено недостатність понятійної бази, відсутність методу оцінювання техногенних ризиків. Розроблено інтегральний індикатор екологічного оцінювання систем виробництва енергоносіїв з органічних відходів з врахуванням техногенних ризиків. В основу техногенного ризику покладено не вірогідність порушення надійності роботи системи, а техногенне навантаження, яке спричиняє система на навколишнє середовище. Для оцінювання техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу системи використано метод Eco-indicator, реалізований у програмному продукті Sima Pro 8.0.*

**Ключові слова:** система переробки органічних відходів, система утилізації відходів, техногенні ризики, техногенне навантаження, системи виробництва енергоносіїв.

*Указано, что любая система, в том числе система переработки органических отходов, в результате своей работы оказывает вредное влияние на окружающую среду. Проанализированы факторы негативного влияния систем утилизации отходов на окружающую среду. Рассмотрена имеющаяся терминология относительно техногенных рисков, обнаружена недостаточность понятийной базы, отсутствие метода оценки техногенных рисков. Разработан интегральный индикатор экологической оценки систем производства энергоносителей из органических отходов с учетом техногенных рисков. В основу техногенного риска положена не достоверность нарушения надежности работы системы, а техногенная нагрузка, которую оказывает система на окружающую среду. Для оценки техногенной нагрузки на окружающую среду в течение жизненного цикла системы использован метод Eco-indicator, реализованный в программном продукте Sima Pro 8.0.*

**Ключевые слова:** система переработки органических отходов, система утилизации отходов, техногенные риски, техногенная нагрузка, системы производства энергоносителей.

*It is indicated that any system, in a that number the system of organic wastes processing as a result of the work draws harmful influence on an environment. The factors of negative influence of the wastes utilization systems on an environment are analyzed. Present terminology in relation to technogenic risks is considered, insufficiency of concept base, absence of method of estimation of technogenic risks found out. The integral indicator of ecological estimation of the systems of power mediums production from organic wastes taking into account technogenic risks is developed. Not authenticity of violation of system work reliability, but technogenic loading which draws system on an environment, in basis of technogenic risk is fixed. The method "Eco-indicator" for the estimation of the technogenic loading on an environment during the system life cycle, realized in the software product of Sima Pro 8.0., is used.*

**Key words:** organic waste, waste disposal system, technological risks, human impacts, of energy production.

### Вступ, постановка задачі

Існують різні технології утилізації органічних відходів. Найбільш розповсюджені технології без виробництва енергоносіїв – захоронення на полігонах, компостування, з виробництвом енергоносіїв – анаеробна біоконверсія, спалювання, газогенерація, піроліз відходів.

Використання таких систем дозволяє зменшити негативний вплив відходів на навколишнє середовище. Але переробка відходів без виробництва енергоносіїв не є достатньо ефективною.

Системи утилізації відходів, що дозволяють отримувати товарні енергоносії особливо актуальні зараз для України, оскільки комплексно вирішується низка регіональних проблем: зменшення використання імпортованих енергоносіїв; зменшення шкідливих викидів; вирішення проблеми поводження з відходами, покращення санітарно-епідеміологічної ситуації, зайнятість населення тощо [1, 2].

Вважається, що системи переробки органічних відходів із виробництвом енергоносіїв є апріорі екологічно чистими. Але будь-яка система під час її створення, експлуатації та утилізації має створює відходи, викиди та скиди в навколишнє середовище [3] і спричиняє, таким чином, техногенні ризики.

**Метою даної роботи** є розробка методу визначення техногенних ризиків системи виробництва енергоносіїв з органічних відходів.

### Аналіз факторів екологічної небезпеки систем виробництва енергоносіїв з органічних відходів

Під час спалювання рослинницьких або тваринницьких відходів, або біогазу з таких відходів утворюється стільки  $\text{CO}_2$ , скільки потім буде спожито природою для росту рослин. Тому можна вважати що ці технології, на відміну від традиційних енергоресурсів є  $\text{CO}_2$ -збалансованими [4]. Таким чином, спалювання біогенного вуглецю дозволяє зменшити витрати неоновлюваних ресурсів і відповідно зекономити на викидах  $\text{CO}_2$ .

Технології утилізації органічних відходів без виробництва енергоносіїв мають ряд екологічних недоліків [1, 4]:

- компост нагрівається до  $70\text{ }^\circ\text{C}$ , виділеної теплоти достатньо аби нагріти і випарувати 6,6 л води;
- при компостуванні на відкритих майданчиках утворюються стічні води в кількості 330 л води з тонни відходів, більшість цієї води випаровується і викидається в повітря, частина води може попадати з дощами і просочуватись з ґрунту;
- для вентиляції, подрібнення, транспортування компосту закриті системи компостування потребують біля 100 кВт·год електроенергії на тонну відходів, відкриті – 11,8 кВт·год/т;
- метан з полігонів значної висоти є дуже агресивним, за парниковою дією він агресивніший, ніж  $\text{CO}_2$ , за перші 20 років в 62 рази, після 100 років – в 24,5 рази, після 500 років – в 7,5 рази;
- використання полігонів захоронення відходів призводить до попадання в ґрунт та ґрунтові води небезпечних речовин (важких металів, стійких органічних забруднювачів тощо), використання земель.

При анаеробному зброджуванні теплота не виділяється, оскільки вона зв'язана у метані, водяної пари в біогазі залишається дуже мало (2...3 % для термофільного процесу), тому субстрат є високовологим. Очищення відпресованої води, яка багата органічними речовинами і бактеріями, до якості каналізаційної занадто дороге, оскільки її багато. Є технології використання її в сільському господарстві, або такі технології, коли з цієї води отримують інші продукти. Частина вуглецю, яка важко перетворюється в реакторі, попадає в ґрунт і там стає структурним матеріалом. На початку XXI ст. значний розвиток отримав метод спалювання твердих відходів. Останнім часом є велика кількість публікацій із дослідженнями екологічних проблем такого процесу переробки. Два основних потоки шкідливих речовин при спалюванні відходів – залишки спалювання, які необхідно захоронювати, і викиди в атмосферу.

В Україні відсутні дані про питомі викиди забруднюючих речовин при спалюванні побутових і муніципальних відходів. Рекомендується використовувати дані про коефіцієнти викидів, наведені в CORINAIR. Ці дані отримані для спалювання відходів, що складаються з паперу, пластмас, харчових відходів, скла, непридатного побутового устаткування і інших безпечних матеріалів. На величину викидів при спалюванні відходів впливають, головним чином,

пропускна спроможність печей, технологія спалювання і ефективність установок для зменшення кількості викидів.

При спалюванні побутових відходів виділяються токсичні органічні мікробруднювачі (наприклад, діоксини), деякі важкі метали (Pb, Cu, Cd, Cr, Ni, Hg), вільні частинки оксидів сірки та азоту, легкі органічні сполуки (неметанові ЛОС і метан), оксид вуглецю, діоксид вуглецю, закис азоту і аміак, хлорбензол, поліхлоровані біфеніли (ПХБ), хлорфеноли, поліароматичні вуглеводні (ПАВ) і діоксини. Органічні сполуки в димових газах можуть знаходитися в паровій фазі, конденсуватися або абсорбуватися на найдрібніших частинках. Для зниження шкідливих викидів використовується відповідне устаткування: електрофільтри; тканинні фільтри, скрубери та сушильні башти з вапняною водою; інжекція вугілля з вапном; шари активованого вугілля або коксу.

Авторами [5] наведена детальна довідкова інформація про питомі викиди забруднюючих речовин при спалюванні відходів. При цьому дані наведені як для сучасних установок, так і для тих, що знаходяться в експлуатації вже багато років. Аналіз показав, що за рахунок впровадження ефективного очисного обладнання можна зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу в 2...10 разів.

Варто відмітити, що будь-яке обладнання або система спричиняє негативний вплив на навколишнє середовище як під час її експлуатації, так і на інших етапах життєвого циклу, тому під час оцінювання екологічної ефективності систем виробництва енергоносіїв з органічних відходів повинно бути зіставлено зменшення техногенного впливу, що пов'язане із утилізацією відходів і зменшенням витрат первинних енергоносіїв та додаткове техногенне навантаження, що спричиняє система протягом свого життєвого циклу.

#### **Наявна термінологія щодо техногенних ризиків та їх зменшення**

Аналіз наявної інформації показав, що понятійна база щодо техногенного ризику неусталена. За [6] ризик – негативна подія чи зміна у стані об'єкта у майбутньому або імовірність настання негативної події. Авторами [7] розглядаються «інженерні ризики». Це негативні процеси в природно-технічних системах, які визначають несприятливі для людини та довкілля умови. В роботі [6] вказано, що перспективним є розгляд екологічних ризиків на основі фізико-хімічних, термодинамічних та інших досліджень.

Найбільшу небезпеку для живих організмів, у тому числі людини, становить екологічний ризик, спричинений техногенною дією на природне середовище – техногенний ризик. В екологічному словнику «ризик техногенний» – узагальнена характеристика можливості реалізації небезпеки в техногенній сфері, визначувана через вірогідність виникнення техногенної аварії або катастрофи і математичне очікування негативних наслідків від них. Автори [8] вважають, що «техногенний ризик» – комплексний показник надійності елементів техносфери. Він виражає вірогідність аварії або катастрофи при експлуатації машин, механізмів, реалізації технологічних процесів будівництві і експлуатації будівель і споруд. Джерела техногенного ризику: низький рівень науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт; дослідне виробництво нової техніки; серійний випуск небезпечної техніки; порушення правил безпечної експлуатації технічних систем.

Авторами [8] розроблена схема оцінювання техногенного ризику. Суттєвим недоліком даного підходу, на нашу думку, є відсутність врахування впливу техногенного ризику на навколишнє середовище. Авторами [9] виділено такий різновид техногенного ризику як «повільний техногенний вплив», тобто техногенні дії зовсім не обов'язково пов'язані з аваріями і катастрофами. Вони можуть бути обумовлені дозволеною господарською діяльністю або прорахунками і помилками при розробці стратегії розвитку окремих регіонів такими як:

- значне перевищення гранично допустимого техногенного навантаження на територію;
- сукупність екологічно несумісних галузей, господарських об'єктів, розміщуваних в природному комплексі;
- некоректна оцінка екологічних наслідків розміщення продуктивних сил і антропогенного перетворення природних ландшафтів.

Техногенний ризик зростає з наближенням ступеня антропогенного тиску в геосистемі до критичного рівня гранично допустимого антропогенного навантаження, що визначає межу стійкості навколишнього середовища, при перевищенні якої починається незворотне руйнування геосистем. У зв'язку з цим величину ризику доцільно визначати за формулою, запропонованою в [10]

$$E = T/C + H, \quad (1)$$

де  $T$  – величина техногенного навантаження на природне середовище;  
 $C$  – потенціал стійкості природного середовища до техногенного навантаження;  
 $H$  – ступінь ураженості території несприятливими природно-антропогенними процесами.

Оцінка ризику – це комплексний аналіз техногенного навантаження на природне середовище, потенціал стійкості і ступінь ураженості території несприятливими природно-антропогенними процесами.

Можливі дві концепції зменшення екологічного ризику [11]. Згідно з першою (нині переважаючою) зниження ризику необхідно виконати шляхом зменшення найнебезпечнішого явища, в тому числі і техногенним навантаженням на природне середовище, використовуючи при цьому різні технічні і виробничі засоби та заходи щодо охорони природи. Ними можна зменшити феномен небезпечного явища. Друга концепція виходить з того, що екологічний ризик можна зменшити шляхом оптимізації соціально-економічних умов і, таким чином, підвищити стійкість населення до цього ризику.

В даній роботі увага, в основному, приділяється першій концепції.

Для реалізації залежності (1) потрібні надійні методи і відповідна інформація щодо потенціалу стійкості природного середовища до техногенного навантаження, ступеня ураженості території несприятливими природно-антропогенними процесами. А правильніше, потрібна державна автоматизована система збору і обробки інформації зі всього спектра стану і впливів на навколишнє середовище. При цьому має місце недетерміноване завдання інформації. На сьогодні така система в державі не створена.

З врахуванням вищевказаного нами пропонується заздалегідь спрощена система (методичні положення), яка розрахована на відносно ізольовані рішення задач стосовно окремих об'єктів.

При оптимізаційних розрахунках з метою вибору системи виробництва енергоносіїв з органічних відходів з позицій еколого-економічної ефективності до уваги беремо критерій мінімаксного ризику (аналогія критерія Севіджа [8] економічного аналізу)

$$- \text{мінімаксний техногенний ризик} \quad RT_d = TH_d - TH_{d \min}, \quad (2)$$

$$- \text{мінімаксний економічний ризик} \quad RE_d = Z_d - Z_{d \min}. \quad (3)$$

Щоб скористатись техногенним ризиком, треба перетворити матрицю техногенного навантаження  $TH_d$  в матрицю ризиків  $RT_d$  згідно з (2); економічним (затратним) ризиком в матрицю економічних (затратних) ризиків  $RE_d$  згідно з (3).

За результатами розрахунків таких критеріїв щодо техногенних та економічних ризиків складаємо матрицю і обираємо 50 % варіантів з мінімальними значеннями критерію щодо техногенного ризику і 50 % варіантів з мінімальним критерієм щодо економічного ризику.

Із запропонованих варіантів вибираємо такі, у яких збігаються мінімальні критерії техногенних та економічних ризиків.

Авторами [12] проведені розрахунки техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу біогазової установки в залежності від кількості біогазових реакторів. Для оцінювання техногенного навантаження використаний програмний продукт Sima Pro. Виявлено, що установка з одним реактором спричиняє навантаження 775 kPt, з двома реакторами – 550 kPt, з трьома – 510 kPt, з чотирма – 485 kPt. Для такого дослідження  $TH_{\min} = 485$  kPt. Для подальшого економічного дослідження можна вибрати варіанти з трьома та чотирма біореакторами.

### **Розробка інтегрального екологічного індикатора системи виробництва енергоносіїв з органічних відходів**

Як інтегральний екологічний індикатор 1 рівня (рис. 1) запропоновано використовувати техногенний ризик системи виробництва енергоносіїв з органічних відходів.

Техногенний ризик може бути визначений за формулою автора [10]. Бази даних із стійкості природного середовища та із ступеня ураженості території несприятливими природно-антропогенними процесами розроблені у відповідних картах [13, 14].

Для оцінювання техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу системи використовується метод оцінювання життєвого циклу системи, що широко впроваджується в Європі і Україні – Eco-indicator. Автори [3] провели зіставлення оцінок

ефективності виробництва енергоносіїв з органічних відходів з використанням різних методів оцінювання життєвого циклу і виявили, що найбільш достовірні результати показав метод Eco-indicator.

Техногенне навантаження на навколишнє середовище розподілене в часі та просторі, нами запропоновано розглядати його як багатовимірний параметр. Для аналізу техногенного навантаження протягом життєвого циклу систем виробництва енергоносіїв з органічних відходів використаний метод Eco-indicator-99, реалізований у програмному продукті Sima Pro.



Рис. 1. Індикатори екологічного оцінювання системи виробництва енергоносіїв з органічних відходів

Техногенне навантаження на навколишнє середовище, яке є інтегральним індикатором другого рівня, подано як функція базових індикаторів, основними з яких, на нашу думку, є матеріаломісткість системи та її енергоефективність.

Таким чином, техногенний ризик, прийнятий нами за основу при аналізі систем, являє собою орієнтир на європейські стандарти збереження навколишнього середовища.

### Висновки

- В Україні використовуються переважно малоефективні системи захоронення відходів. Застосування систем виробництва енергоносіїв дозволяє зменшити негативний вплив відходів на навколишнє середовище, скорочує використання імпортованих енергоносіїв тощо. Системи захоронення відходів, їх спалювання та компостування мають суттєві екологічні недоліки. Крім того всі системи спричиняють негативний вплив на навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу.
- Проаналізована термінологія щодо техногенних ризиків, що дозволило виявити неусталеність понятійної бази. Встановлено, що техногенні ризики можуть бути викликані не тільки імовірною негативною подією, але мають постійний характер, обумовлений функціонуванням системи.
- Для оцінювання екологічної ефективності системи виробництва енергоносіїв з органічних відходів розроблено інтегральний індикатор – техногенний ризик, що визначається з використанням баз даних з стійкості природного середовища, ураженості територій природно-антропогенними процесами та техногенного навантаження, яке визначається з використанням методу оцінювання життєвого циклу Eco-indicator, реалізованого в програмному продукті Sima Pro.
- Для оптимізаційних розрахунків з метою вибору системи виробництва енергоносіїв з органічних відходів з позицій еколого-економічної ефективності для відносно ізольованих систем запропоновано використання комплексного мінімаксного техногенного та економічного ризику.

## Список літератури

1. W. Edelmann, K. Schleiss. Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe // BUWAL, 2001. Режим доступу: <http://www.naturemade.ch/Dokumente/oekobilanzen/%C3%96kobilanz%20Feststoffverg%C3%A4rung.pdf>.
2. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник / За ред. В. К. Хільчевського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.
3. Zah R., Böni H., Gauch M., Hischer R., Lehmann M., Wäger P. Ökobilanz von energieprodukten: ökologische bewertung von biotreibstoffen // EMPA, 2007. Режим доступу: <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/8514.pdf>.
4. Hogg D. A Changing Climate for Energy from Waste? Final Report for Friends of the Earth, 2006. Режим доступу: [http://www.foe.co.uk/resource/reports/changing\\_climate.pdf](http://www.foe.co.uk/resource/reports/changing_climate.pdf).
5. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Т III. – Донецьк: 2004. – 118 с.
6. Устименко В. М. Методологічні аспекти щодо визначення екологічних ризиків / В. М. Устименко // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Система управління екологічними ризиками: наука і практика». – 2007. – С.14-21.
7. Гошовський С. Екологічна безпека техногенних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів / С. Гошовський, Г. Рудько, Б. Преснер. – Львів-Київ: НАН Україна, 2002. – 354 с.
8. Ветошкин А. Г. Техногенный риск и безопасность / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 170 с.
9. Анализ риска аварий техногенных систем. Энциклопедия "Pandia.ru". Режим доступу: <http://www.pandia.ru/94521>.
10. Барановський А. А. Концептуальні основи розрахунку та оцінки екологічного ризику / А. А. Барановський // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Система управління екологічними ризиками: наука і практика». – 2007. – С. 31 – 36.
11. Григорьев А. А. Природные и антропогенные экологические катастрофы: Проблемы риска / А. А. Григорьев, К. Я. Кондратьев // Изв. РГО. – Т.130. – Вып.4. – 1998. – С.1-9.
12. Ткаченко С. Й. Аналіз техногенного навантаження біогазової установки на навколишнє середовище / С. Й. Ткаченко, Т. Ю. Румянцева // Вісник ВПІ. – 2012. – №4. – С. 131 – 135.
13. Барановський В. А. Україна. Техногенна небезпека, масштаб 1:3000000 / В. А. Барановський, П. Г. Шищенко, О.Ю.Дмитрук. – К., 2004. – 35 с.
14. Барановський В. А. Стійкість природного середовища, масштаб 1:3000000 / В. А. Барановський, П. Г. Шищенко – К., 2002. – 35 с.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Степанов Дмитро Вікторович** – к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету.

**Ткаченко Станіслав Йосифович** – д.т.н., професор, заведуючий кафедрою теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

**Степанов Дмитрій Вікторович** – к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету.

**Tkachenko Stanislav** – Doctor of technical Sciences, Professor, Ukraine, Vinnitsa, Vinnitsa State Technical University, Department of power engineering.

**Stepanov Dmytro** – Ph.D., docent of department of Thermal power Vinnytsia National Technical University.