ОЦІНКА СТУПЕНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ, ЩО ФОРМУЄТЬСЯ В РЕЗУЛЬТАТІ СКЛАДУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

К. К. Ткачук, І. О. Ополінський

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
вул. Борщагівська, 115/3, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: opolinskyi@gmail.com

Оцінка ступеня екологічної небезпеки від складування органічних відходів є основою для визначення управлінських рішень з її зменшення. Наведена методика визначення рівня екологічної небезпеки, що формується в результаті складування органічних відходів за фактором атмосферного повітря на основі моделі розрахунку емісії біогазу LandfillGasEmissionsModel, методик ОНД-86 та ДСП 201-97. Визначено, що допустимий рівень екологічної безпеки перевищений у полігонів з валовими викидами більшими 173,4 т/рік. Відношення максимально приземних концентрацій до ГДК на межі та далі СЗЗ відбувається на полігонах з річною продуктивністю в 12725 т/рік. Для полігонів з більшою продуктивністю необхідним є впровадження технологій переробки органічних відходів для зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Отримані залежності можуть бути використані для прогнозування рівня екологічної небезпеки функціонування звалищ відходів.

Ключові слова: відходи, забруднювачі, сміттєзвалище, викиди, біомаса.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ, ФОРМИРУЮЩИЙСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ СКЛАДИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

К. К. Ткачук, И. О. Ополинский

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
ул. Борщаговская, 115/3, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: opolinskyi@gmail.com

Оценка степени экологической опасности от складирования органических отходов является основой для определения управленческих решений по ее уменьшению. Приведенная методика определения уровня экологической опасности, формируется в результате складирования отходов за фактором атмосферного воздуха на основе модели расчета эмиссии биогаза LandfillGasEmissionsModel, методик ОНД-86 и ГСП 201-97. Определено, что допустимый уровень экологической безопасности превышен у полигонов с валовыми выбросами в 173,4 т/год. Отношение максимально приземных концентраций до ПДК на границе и дальше СЗЗ происходит на полигонах с годовой производительностью в 12725 т/год. Для полигонов с большей производительностью необходимо технологий переработки органических отходов для уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования уровня экологической опасности функционирования свалок отходов.

Ключевые слова: отходы, загрязнители, свалка, выбросы, биомасса.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день гостро поставлене питання переробки органічних відходів. Під час складування відходів на сміттєзвалищах відходи починають виділяти метан та вуглекислий газ. Такий процес призводить до утворення парникового ефекту [1].

Ефектом від накопичення великої кількості органічних відходів є негативний вплив на навколишнє середовище. До основних факторів впливу можна віднести:

- емісія газів;
- забруднення ґрунтових вод;
- розповсюдження хвороботворних мікроорганізмів.

Проблема накопичення будь-яких відходів полягає у необхідності їх утилізації за малий термін з найменшими економічними та енергетичними затратами та найменшим екологічним впливом.

Завдяки тому, що звалища твердих побутових відходів (ТПВ) містять значну кількість органічних відходів, у товщі звалища в умовах обмеженого доступу кисню, органічні речовини під дією природних метаноутворюючих бактерій піддаються процесу анаеробної ферментації з утворенням біогазу [2].

Відповідно до стратегію державної екологічної

політики України на період до 2020 року гострою природоохоронною проблемою є поведінка з відходами [3].

Особливої уваги потребує оцінювання ступеня екологічної небезпеки (ЕН), оскільки отримані дані повинні стати основою для визначення управлінських рішень по її зменшенні. Критерієм для вибору стратегії зниження рівня негативного впливу на навколишнє середовище є ступінь ЕН. В даний час серед дослідників немає єдиних висновків щодо вибору оптимальних методів, способів та методології оцінки ступеня ЕН. Зокрема, найбільше суперечок серед дослідників викликає питання вибору підходу до оцінки ЕН [4].

Питання управління екологічною безпекою розглянуті у роботах таких науковців як Шмандій В.М., Білявський Г.О., Мальований М.С., Запольський А.К., Некос В.Ю., Сафранов Т.А. та ін. Прогнозування рівня екологічної безпеки при поведінці з відходами досліджено у [4–10].

Нерозкритими в попередніх дослідженнях залишаються питання визначення рівня екологічної небезпеки полігонів відходів за фактором атмосферного повітря з урахуванням зменшення кількості викидів забруднюючих речовин, що досягається за рахунок анаеробного зброджування органічних відходів.

Виходячи з вище викладеного можна стверджувати, що з метою розробки та реалізації ефективної системи управління екологічною безпекою необхідно визначити метод оцінювання стану екологічної безпеки. На основі методології [4], яка застосована авторами для розроблення структури соціогенного класу екологічної безпеки, нами проведено визначення оптимального методу оцінки стану ЕН для полігонів складування органічних відходів.

Таким чином, дана робота присвячена дослідженню впливу полігонів ТПВ на довкілля за фактором атмосферного повітря.

Метою роботи є оцінка ступеня екологічної небезпеки, що формується в результаті складування органічних відходів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Основним впливом на забруднення атмосферного повітря від складування відходів є емісія забруднюючих речовин.

Визначення кількості забруднюючих речовин, що утворюється в результаті складування відходів проведена, за допомогою моделі LandfillGasEmissionsModel (LandGEM) Version 3.02 [11]:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=0.1}^1 k \cdot L_0 \cdot \left(\frac{M_i}{10}\right) \cdot e^{-k \cdot t_{ij}} \quad (1)$$

де Q_{CH_4} – річне виробництво метану в рік розрахунку, $m^3/рік$; i – рік емісії; n – різниця між «рік розрахунку» та «початковий рік складування відходів»; j – приріст часу на 0,1 року; k – швидкість утворення метану, $рік^{-1}$; L_0 – потенційна потужність вироблення метану, $m^3/т$; M_i – маса відходів прийнята в i -му році; t_{ij} – вік j -го розділу маси сміття, прийнятого в i -му році (десяткові роки).

Для розрахунку прогнозованого утворення діоксиду вуглецю використовували формулу (2), відповідно до методики розрахунку LandGEM.

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \cdot \left\{ \left(\frac{1}{\left(\frac{P_{CH_4}}{100} \right)} \right) - 1 \right\} \quad (2)$$

де P_{CH_4} – вміст метану у складі всіх забруднюючих речовин, що утворюються від звалищ відходів, %.

Вихідними даними для розрахунку за допомогою моделі LandGEM використовували значення складу відходів рапсу. Для розрахунку час складування прийняли 10 років, оскільки до десяти років відбуваються найбільша емісія забруднюючих речовин при складуванні органічних відходів [11]. Кількість місяців теплового періоду з температурою більше $8^\circ C$ прийняли 5 для $0-8^\circ C$ – 3 місяців. Середня температура теплового періоду прийняли $12^\circ C$. Отримані результати розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 1–Розрахункові значення викидів від місця складування відходів

№, п/п	Код	Забруднююча речовина	Розрахункові викиди ЗР при відповідній річній кількості відходів, що складаються, т/рік									
			2000		10000		20000		50000		100000	
			г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік
1	12000/410	Метан	3,4183	79,9525	17,0917	399,7623	34,1835	799,5246	85,4587	1998,8114	170,9175	3997,6229
2	11041/621	Толуол	0,0467	1,0924	0,2335	5,4621	0,4671	10,9242	1,1677	27,3106	2,3353	54,6212
3	04003/303	Аміак	0,0344	0,8053	0,1722	4,0267	0,3443	8,0534	0,8608	20,1335	1,7216	40,2671
4	11030/616	Ксилол	0,0286	0,6694	0,1431	3,3468	0,2862	6,6936	0,7155	16,7339	1,4309	33,4678
5	06000/337	Оксид вуглецю	0,0163	0,3808	0,0814	1,9038	0,1628	3,8076	0,4070	9,5190	0,8140	19,0381
6	04001/301	Сполуки азоту (у перерахунку на діоксид азоту)	0,0072	0,1677	0,0359	0,8386	0,0717	1,6772	0,1793	4,1929	0,3585	8,3858
7	11049/1325	Формальдегід	0,0062	0,1451	0,0310	0,7253	0,0620	1,4505	0,1550	3,6263	0,3101	7,2526
8	11019/627	Етилбензол	0,0061	0,1435	0,0307	0,7177	0,0614	1,4354	0,1534	3,5885	0,3069	7,1771
9	05001/330	Сірки діоксид	0,0045	0,1058	0,0226	0,5288	0,0452	1,0577	0,1131	2,6442	0,2261	5,2884
10	05002/333	Сірководень [H ₂ S]	0,0017	0,0393	0,0084	0,1964	0,0168	0,3928	0,0420	0,9821	0,0840	1,9642
Разом викиди			3,5701	83,5017	17,8505	417,5085	35,7010	835,0170	89,2524	2087,5426	178,5048	4175,0851

З табл. 1 видно, що валові викиди за весь період складування відходів (10 років) мають лінійну залежність від кількості річного складування. Найбільшу частку у валових викидах ЗР займає метан та складає до 90%.

$$Q_w = 10^{-6} \cdot R \cdot (100 - W) \cdot (0,92 \cdot Z + 0,62 \cdot Y + 0,34 \cdot G), \quad (3)$$

де Q – питомий вихід біогазу за період його активної генерації, кг/кг відходів; R – вміст органічної складової у відходах, %; Z – вміст жироподібних речовин в органіці відходів, %; Y – вміст вуглеводоподібних речовин в органіці відходів, %; G – вміст білкових речовин в органіці відходів, %; W – фактична вологість відходів у %, що визначається аналізами проб відходів. Співмножник $10^{-2} \cdot (100 - W)$ враховує частку абсолютно сухих відходів у загальній кількості вологих відходів.

Використовуючи значення з табл. 1 та програмний комплекс ЕОЛ 2000 [h] згідно з методикою ОНД-86 (Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.) розраховували максимальне значення приземної концентрації кожної забруднюючої речовини C_m (в частці ГДК) при викиді газоповітряної суміші з площинного джерела на відстані X_m (м):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^{2,3} \sqrt{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (4)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери; M – маса забруднюючої речовини, що виділяється в атмосферу в одиницю часу, г/с; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує

швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі; m і n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду; H – висота джерела викиду над рівнем землі (для наземних джерел при розрахунках приймається $= 2$ м), м; η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості, в разі рівної місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км, $= 1$; ΔT – різниця між температурою, що викидається газоповітряної суміші T_r і температурою навколишнього атмосферного повітря T_b , °C; V_1 – витрата газоповітряної суміші, м³/с.

Результати розрахунку максимальних приземних концентрацій забруднюючих речовин наведені в табл. 2.

Таблиця 2–Розрахункові значення максимальних концентрацій (C_m) викидів в частках ГДК від місця складування відходів

№, п/п	Код	Забруднююча речовина	ГДК _{мр} , мг/м ³	Клас небезпечності	Розрахункові викиди ЗР при відповідній річній кількості відходів, що складуються, т/рік				
					2000	10000	20000	50000	100000
					См, частка ГДК	См, частка ГДК	См, частка ГДК	См, частка ГДК	См, частка ГДК
1	12000/410	Метан	50,0	-	0,00516	0,0258	0,07332	0,1833	0,3666
2	11041/621	Толуол	0,6	3	0,00762	0,0381	0,0826	0,2065	0,413
3	04003/303	Аміак	0,2	4	0,01586	0,0793	0,17	0,425	0,85
4	11030/616	Ксилол	0,2	3	0,01234	0,0617	0,14296	0,3574	0,7148
5	06000/337	Оксид вуглецю	5,0	-	0,00004	0,0002	0,00046	0,00115	0,0023
6	04001/301	Сполуки азоту (у перерахунку на діоксид азоту)	0,2	2	0,00266	0,0133	0,02938	0,07345	0,1469
7	11049/1325	Формальдегід	0,035	3	0,01662	0,0831	0,22846	0,57115	1,1423
8	11019/627	Етилбензол	0,02	3	0,028	0,14	0,29526	0,73815	1,4763
9	05001/330	Сірки діоксид	0,5	-	0,0008	0,004	0,00766	0,01915	0,0383
10	05002/333	Сірководень [H ₂ S]	0,008	-	0,0197	0,0985	1,96124	4,9031	9,8062
11	303, 333	Група сумарії №3	-	-	0,03	0,15	2,1212	5,303	10,606
12	303, 333, 1325	Група сумарії №4	-	-	0,05038	0,2519	2,28582	5,71455	11,4291
13	303, 1325	Група сумарії №5	-	-	0,03	0,15	0,3346	0,8365	1,673
14	330, 333	Група сумарії №30	-	-	0,02012	0,1006	1,9696	4,924	9,848
15	301, 330	Група сумарії №31	-	-	0,00386	0,0193	0,03502	0,08755	0,1751
16	333, 1325	Група сумарії №39	-	-	0,032	0,16	2,1258	5,3145	10,629

З табл. 2 видно, що найбільші приземні концентрації на межі та далі СЗЗ утворює група сумарії №4 (Аміак, Сірководень $[H_2S]$, Формальдегід). Для виконання екологічних та санітарно-епідеміологічних вимог при експлуатації звалищ органічних відходів необхідно, щоб концентрації забруднюючих речовин на відстані більшій 500 м не перевищували ГДК

(Відповідно до ДСП-173-96 «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів»).

На рис. 1 продемонстровано карту розсіювання діоксиду азоту при складуванні органічних відходів з продуктивністю 10000 т/рік, яка побудована за допомогою програмного комплексу ЕОЛ 2000 [h]. Розрахунковий майданчик 2 км², крок сітки 50 м.

Рисунок 1 – Результати розрахунку розсіювання діоксиду азоту від складування органічних відходів

З рис. 1 видно, що при заданій продуктивності значення максимальної приземної концентрації діоксиду азоту не перевищує ГДК. Частка ГДК на відстані 200 м від сміттєзвалища становить 0,188. Зі збільшенням відстані від полігону концентрація знижується та становить 0,0886 на відстані 1400 м.

Оцінку ступеня ЕН місць розміщення органічних відходів проведено відповідно до ДСП 201-97. «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)».

На основі отриманих результатів побудуємо апроксимаційну залежність рівня екологічної небезпеки (Е ПЗ) від річної кількості валових викидів забруднюючих речовин (В, т/рік) (рис.2).

Рисунок 2 – Залежність рівня екологічної небезпеки (Е ПЗ) від валових викидів забруднюючих речовин (В, т/рік)

Лінійну залежність з рис.2 можна описати рівнянням:

$$E_{ПЗ} = 0,0138 \cdot B - 1,3931, \quad (5)$$

для якого коефіцієнт детермінації (R^2) дорівнює 0,96.

Отримане рівняння(5) можна використовувати для прогнозування ступеня екологічної небезпеки від кількості забруднюючих речовин, що утворюються в результаті складування органічних відходів.

Допустимий рівень екологічної безпеки (менше 1) перевищений у полігонів з валовими викидами забруднюючих речовин в 173,4 т/рік.

Використання технології анаеробного зброджування органічних відходів для полігонів з продуктивністю 12725 т/рік та більше дозволяє забезпечити допустимий рівень екологічної безпеки звалищ органічних відходів[12].

ВИСНОВКИ. Розроблено методику розрахунку рівня екологічної небезпеки, що формується в результаті складування відходів за фактором атмосферного повітря. Отримано залежність, що дозволяє прогнозувати рівень екологічної небезпеки в залежності від валових викидів забруднюючих речовин, що утворюються в результаті складування відходів на полігонах.

Допустимий рівень екологічної безпеки перевищений у полігонів з валовими викидами забруднюючих речовин в 173,4 т/рік. Перевищення відношення максимально приземних концентрацій до ГДК на межі та далі СЗЗ відбувається на полігонах з річною продуктивністю в 12725 т/рік. Для полігонів з більшою продуктивністю необхідним є впровадження технологій переробки органічних відходів для зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення методів оцінки рівня екологічної безпеки з урахуванням складу відходів.

«Статтю присвячено пам'яті талановитого викладача, наставника, дослідника екології середовища людини – доцента Київського політехнічного інституту Володимира Сергійовича Козьякова».

ЛІТЕРАТУРА

- Белюченко И.С. Влияние сложного компоста на физические свойства почвенного покрова. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2014. №4. С. 2–14.
- Ковальчук О.В., Зінченко Г.М. Дослідження розкладу органічних відходів з одержанням біогазу та добрив. *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. 2009. № 2. 157 с.
- Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року: Закон України від 21 грудня 2010 р. № 2818-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2011. № 26. 218 с.
- Мальований М.С., Шмандій В.М., Харламова О.В., Челядин Л.І., Сакалова Г.В. Аналіз та систематизація існуючих методів оцінювання ступеня екологічної небезпеки. *Екологічна безпека*. 2013. Вип. 1/2013 (15). С. 37–44.
- Годовська Т.Б., Гуреля В.В. Екологічний аналіз та моделювання розсіювання забруднюючих речовин з полігону твердих побутових відходів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2012. Вип. 5/2012 (76). С. 115–118.
- Крилюк В.Н. Экологический аудит как эффективное средство принятия практических решений в сфере экологической безопасности. *Екологічна безпека*. 2012. Вип. 1/2012 (13). С. 31–34.
- Amin Ammar A.M. Designing sustainable landfill for Jeddah city. *Bulletin of engineering geology and the environment*. 2000. №58(4).pp. 265–273.
- Згуровский М.З., Статюха Г.А., Джигирей И.Н. Оценивание устойчивого развития окружающей среды на субнациональном уровне в Украине. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2008. № 4. С. 17–20.
- Козуля Т.В., Шаронова Н.В., Ємельянова Д.І., Козуля М.М. Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем. *Проблеми інформаційних технологій*. 2012. № 01 (011). С. 37–45.
- Wiesen K., Saurat M., Lettenmeier M. Calculating the material input per service unit using the ecoinvent database / K. Wiesen. *International journal of performativity engineering*. 2014. Vol. 10, №. 4. pp. 357–366.
- Gendebien A. Landfill gas. *Commission of the European Communities*. URL: <http://www.waste.ccacoalition.org/document/landfill-gas-emissions-model-landgem-version-302> (дата звернення 22.03.2018).
- Дичко А.О., Ополінський І.О. Еколого-економічна оцінка технологій отримання біогазу. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип.4 (99). С. 88–93.

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL RISK FORMED AS A RESULT OF ORGANIC WASTE ACCUMULATION

K. Tkachuk, I. Opolinskyi

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
vul. Borschagivska, 115/3, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: opolinskyi@gmail.com

Purpose. To study the influence of solid waste landfills on the environment by the atmospheric air factor, to assess the degree of environmental hazard generated as a result of organic waste storage. Assessment of the degree of environmental hazard from the storage of organic waste is the basis for the meaning of management decisions to reduce it. **Methodology.** The methodology used to determine the level of ecological hazard generated by the storage of organic

waste by the atmospheric air factor based on the Landfill Gas Emissions Model (biogas emission model), the OND-86 methodology (the procedure for calculating the concentrations in the air of harmful substances contained at the enterprises emissions) and state sanitary rules (Ukraine) 201-97. **Results.** It has been determined that the permissible level of environmental safety is exceeded in landfills with higher emissions of 173.4 tons per year. The ratio of maximum surface concentrations to the maximum allowable concentration at the boundary and beyond the sanitary protection zone occurs at landfills with an annual productivity of 12725 tons per year. For polygons with greater productivity, it is necessary to introduce technologies for the processing of organic waste to reduce the emission of pollutants into the atmosphere. The largest surface concentrations are forms a group of summation no. 4 (Ammonia, Hydrogen sulfide [H₂S], Formaldehyde) at the border and further the sanitary protection zone. Gross emissions for the entire storage period (10 years) have a linear dependence on the amount of annual storage. The largest part in the gross emissions is methane. A methodology for calculating the level of ecological hazard, which is formed as a result of waste compaction by the factor of atmospheric air, is developed. **Originality.** The conducted assessment of the environmental hazard by the factor of atmospheric air allows us to assess the compliance of environmental and sanitary-epidemiological requirements of waste landfills. **Practical value.** The resulting dependencies can be used to predict the level of environmental hazard of the operation of landfill waste. References 12, tables 2, figures 2.

Key words: wastes, pollutants, landfill, emissions, biomass.

REFERENCES

1. Belyuchenko, I.S. (2014), "The influence of a composite on the physical properties of the soil cover", *The Polytechnic Network Scientific Journal of the Kuban State Agricultural University*, vol. 93, no. 4, pp. 2-14.
2. Kovalchuk, O. V., Zinchenko, G. M. (2009), "Investigation of the decomposition of organic waste to produce biogas and fertilizers", *Scientific and Technical Collection "Modern Technologies, Materials and Constructions"*, no. 2, 157 p.
3. The Law of Ukraine "The basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period until 2020" (2011), *Verkhovna Rada of Ukraine*, no. 26, 118 p.
4. Mallovanuiy, M.S., Shmandiy, V.M., Kharlamova, O.V. Chelyadin, L.I., Sakalova, G.V. (2013), "Analysis and systematization of existing methods for assessing the degree of environmental hazard", *Ecological Safety*, vol. 1, no. 15, pp. 37-44.
5. Godovskaya, T. B., Gurelia, V. V. (2012), "Ecological analysis and modeling of dispersion of pollutants from solid household waste landfill", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 5, no. 76, pp. 115-118.
6. Krylyuk, V. N. (2012), "Environmental audit as an effective means of adopting practical solutions in the field of environmental safety", *Ecological Safety*, vol. 1, no. 13, pp. 31-34.
7. Amin Ammar, A.M. (2000), "Designing a sustainable landfill for Jeddah city", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, no. 58 (4), pp. 265-273.
8. Zhurovskyy, M.Z., Statyukha, G.A., Dzhigirej, I. N. (2008), "Assessment of sustainable environmental development at subnational level in Ukraine", *System Research and Informational Technologies*, no. 4, pp. 17-20.
9. Kozul, T. V., Sharonov, N. V., Emelyanov, D. I., Kazulin, M. N. (2012), "Theoretical and practical basis for environmental assessment methodology in comprehensive, and objective systems", *Problems of Information Technology*, no. 01 (011), pp. 37-45.
10. Wiesen, K., Saurat, M., Lettenmeier, M. (2014), "Calculation of material input per service unit using the ecoinvent database", *International Journal of Performability Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 357-366.
11. Gendebien, A. (1992), "Landfill gas", Commission of the European Communities, available at: <http://www.waste.ccacoalition.org/document/landfill-gas-emissions-model-landgem-version-302> (accessed March 22, 2018).
12. Dychko, A. O., Opolinskyi, I. O. (2016), "Environmental and economic assessment for biogas producing", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 4, no. 99, pp. 88-93.

Стаття надійшла 30.04.2018.