

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕНOSTІ КОМПОСТУВАННЯ ЯК МЕТОДУ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Коледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту

Виявлено параметри, від яких залежить поширеність компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами в різних країнах. Розроблено математичну модель поширеності компостування твердих побутових відходів.

Ключові слова: математичне моделювання, планування експерименту, комплекс машин та обладнання, компостування, тверді побутові відходи.

Вступ

Щорічний об'єм твердих побутових відходів (ТПВ), що утворюються у вітчизняних населених пунктах, перевищує 46 млн м³ [1]. Постанова Кабміну України № 265 [2] стала базою для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ на території України. В таких розвинутих країнах ЄС, як Данія та Нідерланди, поширеність компостування досягає третини від загальної сукупності шляхів поводження з ТПВ [3, 4]. Компостування є технологію переробки ТПВ, яка заснована на їхньому природному біорозкладанні, кінцевим продуктом якого є компост, що застосовується в міському та сільському господарстві. В українських індивідуальних будинках та на садових ділянках часто використовується компостування за допомогою компостних ям. Поряд із тим, процес компостування можна централізувати і проводити на спеціальних майданчиках. Тому побудова математичної моделі поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами, є актуальною науково-технічною задачею.

В роботах авторів [3, 4] Т. А. Орлової та А. Ю. Масленнікова, відповідно, наводяться статистичні дані щодо шляхів поводження з ТПВ в різних країнах світу. В статті [5] визначено регресійну залежність необхідної площі під обладнання для компостування ТПВ від його продуктивності. В роботах [6—8] досліджена динаміка санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування. В статті [9] порівнюється досвід різних країн у компостуванні ТПВ. Стефеном Варро запатентовано одну із технологій компостування ТПВ, яка отримала назву Варро-Конверсія і характеризується значною інтенсифікацією процесу [10]. В статті [11] наведені математичні моделі поширеності лише таких способів поводження з ТПВ як захоронення та спалювання з використанням енергії. Однак конкретних математичних залежностей поширеності компостування як методу поводження з ТПВ, в результаті аналізу відомих публікацій, нами не виявлено.

Метою дослідження є побудова математичної моделі поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ними.

Аналіз результатів дослідження

Поміж параметрів, від яких залежить поширеність компостування як методу поводження з ТПВ у різних країнах, розглядалися такі: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу, середня географічна широта країни та частка сільського населення країни, значення яких наведено в табл. 1. Вплив густоти населення пояснюється варіюванням величини ренти за використання земельних площ під обладнання для компостування ТПВ, що за результатами досліджень [5] суттєво залежить від його продуктивності. Вплив ВВП на душу населення обумовлений розміром витрат на заробітну плату працівників, що, на нашу думку, суттєво впливає на грошові витрати, пов'язані з компостуванням

ТПВ. Від індексу розвитку людського потенціалу залежить обрання того чи іншого методу поводження з ТПВ. Розгляд фактору впливу — середня географічна широта країни враховує її усереднені кліматичні умови: температуру, відносну вологість середовища, кількість сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі, від яких також залежить процес компостування ТПВ, що підтверджено в роботах [6—8]. Частка сільського населення також суттєво впливає на поширеність компостування ТПВ, оскільки компост, в основному, використовується як добриво у сільському господарстві. На відміну від абсолютних параметрів, відносні дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки та людського потенціалу, кількістю та складом населення, площами території та кліматичними умовами.

Таблиця 1

Поширеність компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами в різних країнах

Країна	Поширеність компостування ТПВ, % [3, 4]	Фактори впливу				
		Густина населення, осіб/км ²	ВВП на душу населення, тис. \$/осіб	Індекс розвитку людського потенціалу	Середня широта, ° пн. ш.	Частка сільського населення, %
Австрія	22,9	97	36	0,951	47,69	23
Великобританія	3	247	46,432	0,942	55,38	10,9
Бельгія	16,3	318	29,814	0,948	50,83	3,1
Данія	29,6	126,4	34,7	0,951	56,18	31,5
Франція	8,9	114	45,858	0,955	46,7	23
Нідерланди	33,3	394	51,657	0,958	51,55	34
Швеція	10	21,9	55,427	0,958	62,2	16
Фінляндія	4,2	16	36,217	0,954	64,8	33
Німеччина	17,9	230	40,415	0,94	51,17	8
Іспанія	3,1	79,7	35,557	0,949	39,5	24
Італія	8,8	196	39,565	0,945	41,28	29
Ірландія	0,5	60,3	43,6	0,96	53,4	40
Норвегія	5	12	72,306	0,968	64,5	22
Японія	3	337	38,095	0,956	34,89	23
Швейцарія	2	181,4	60	0,955	46,81	32
Чехія	5	134	18,579	0,891	49,81	35
Україна	≈ 0	76	7,532	0,786	48,38	32,2

За даними табл. 1, використовуючи планування експерименту за допомогою ротатбельного центрального композиційного планування другого порядку та застосовуючи розроблене програмне забезпечення, що захищене свідоцтвом на твір [12], отримано рівняння регресії, яке описує поширеність компостування ТПВ в різних країнах від основних параметрів впливу і після відкидання незначимих факторів та ефектів взаємодії в логарифмічних координатах виглядає так:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = 10 & 2,229 + 0,5745 \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} - 2,591 \frac{\text{ВВП}}{n_n} - 0,1422 \text{Ш} - 1,074 \Pi_{\text{сн}} + 7,58 \cdot 10^{-5} \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} \frac{\text{ВВП}}{n_n} - 0,6103 \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} \text{ІРЛП} - 6,396 \cdot 10^{-5} \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} \text{Ш} + \\
 & + 7,444 \cdot 10^{-4} \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} \Pi_{\text{сн}} + 2,667 \frac{\text{ВВП}}{n_n} \text{ІРЛП} - 2,498 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ВВП}}{n_n} \text{Ш} + 3,236 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ВВП}}{n_n} \Pi_{\text{сн}} + 0,3217 \text{ІРЛП} \times \text{Ш} + 0,897 \text{ІРЛП} \cdot \Pi_{\text{сн}} - \\
 & - 2,319 \cdot 10^{-5} \left(\frac{n_n}{S_{\text{кр}}} \right)^2 - 1,488 \cdot 10^{-3} \Pi_{\text{сн}}^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

де $n_n/S_{\text{кр}}$ — густина населення країни, осіб/км²; $\text{ВВП}/n_n$ — ВВП на душу населення, тис. \$/осіб; n_n — кількість населення країни, осіб; $S_{\text{кр}}$ — площа території країни, км²; ІРЛП — індекс розвитку людського потенціалу (ІРЛП = 0...1); Ш — середня географічна широта, ° пн. ш., $\Pi_{\text{сн}}$ — частка сільського населення, %.

За критерієм Стюдента виявлено: найбільше поширеність компостування ТПВ залежить від ВВП на душу населення, найменше — від середньої географічної широти (кількості сонячної енергії), а індекс розвитку людського потенціалу впливає лише опосередковано за допомогою парних ефектів взаємодії факторів.

Встановлено, що за критерієм Фішера гіпотезу про адекватність регресійної моделі (1) можна вважати правильною з 95 %-ю достовірністю. Коефіцієнт кореляції склав 0,99704, що свідчить про достатню достовірність одержаних результатів.

Кількість сонячної енергії, яка потрапляє на поверхню Землі, тісно пов'язана з географічною широтою, що показано в табл. 2.

Таблиця 2

Річні суми питомої сонячної енергії для різної географічної широти [13]

Географічна широта, ° пн. ш.	80	60	52	45	44	41
Річна сума питомої сонячної енергії, ГДж/(м ² ·рік)	2,3	2,98	4,265	4,9	4,98	5,74

На основі даних табл. 2 за допомогою розробленої комп'ютерної програми «RegAnaliz», яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір і детально описана в роботі [14], отримано таку регресійну залежність «географічна широта — кількість сонячної енергії»

$$\text{Ш} = \frac{Q}{0,03188Q - 0,04661}, \quad (2)$$

де Q — річна сума питомої сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі, ГДж/(м²·рік).

Коефіцієнт кореляції склав 0,99576, що свідчить про достатню достовірність рівняння регресії (2).

Підставивши рівняння (2) в математичну модель (1), можна врахувати вплив кількості сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі на поширеність компостування ТПВ.

Порівняння фактичної та теоретичної поширеності компостування ТПВ, ранжованих в порядку спадання, наведено на рис. 1.

З рис. 1 видно, що теоретична поширеність компостування ТПВ, розрахована за допомогою регресійної моделі (1), несуттєво відрізняється від фактичних даних, що підтверджує визначену раніше достатню достовірність отриманої залежності, яка може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

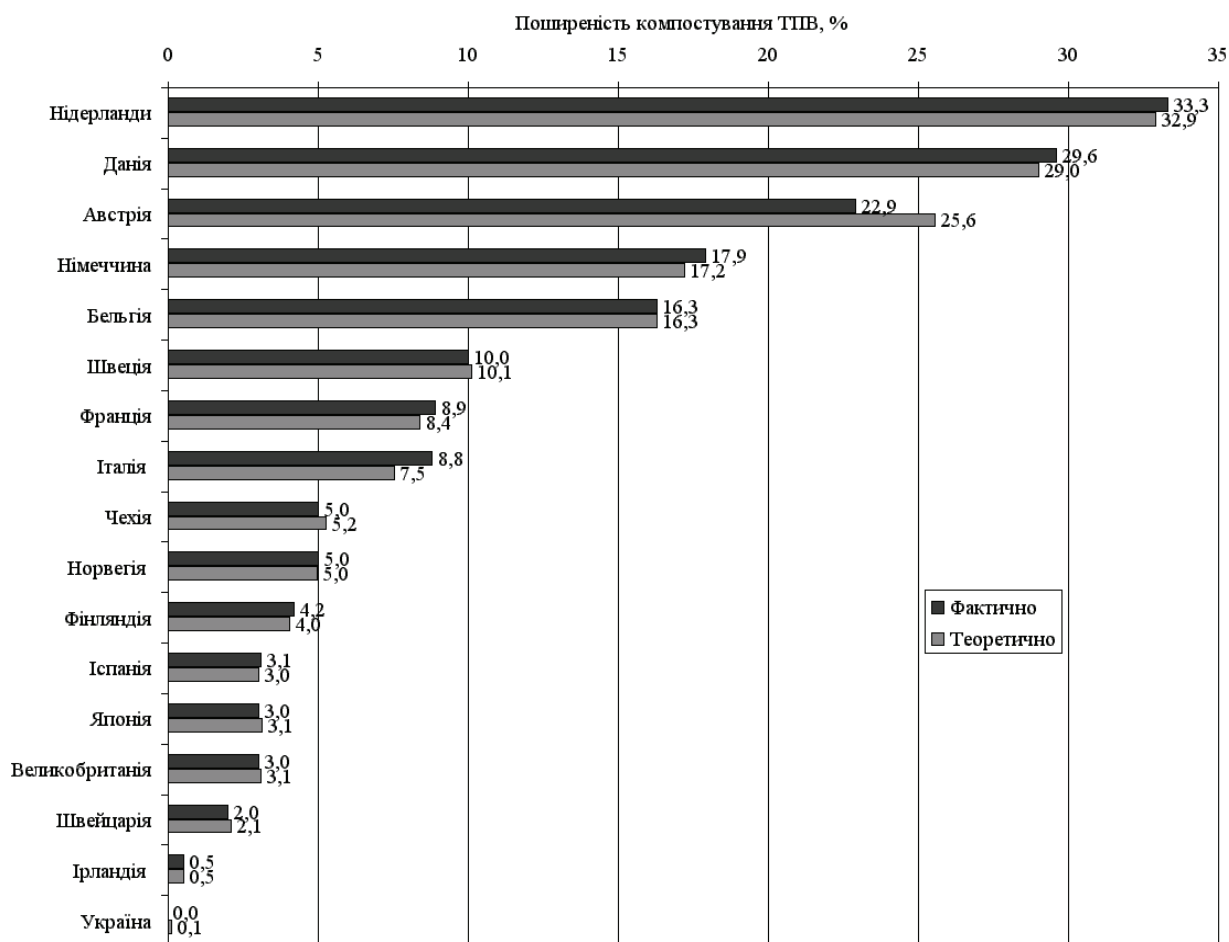


Рис. 1. Порівняння фактичної та теоретичної поширеності компостування як методу поводження з ТПВ

На рис. 2 показано поверхні відгуків цільової функції — поширеності компостування ТПВ в різних країнах та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу, які дозволяють наглядно відобразити залежність (1) та характер одночасного впливу декількох факторів на цільову функцію.

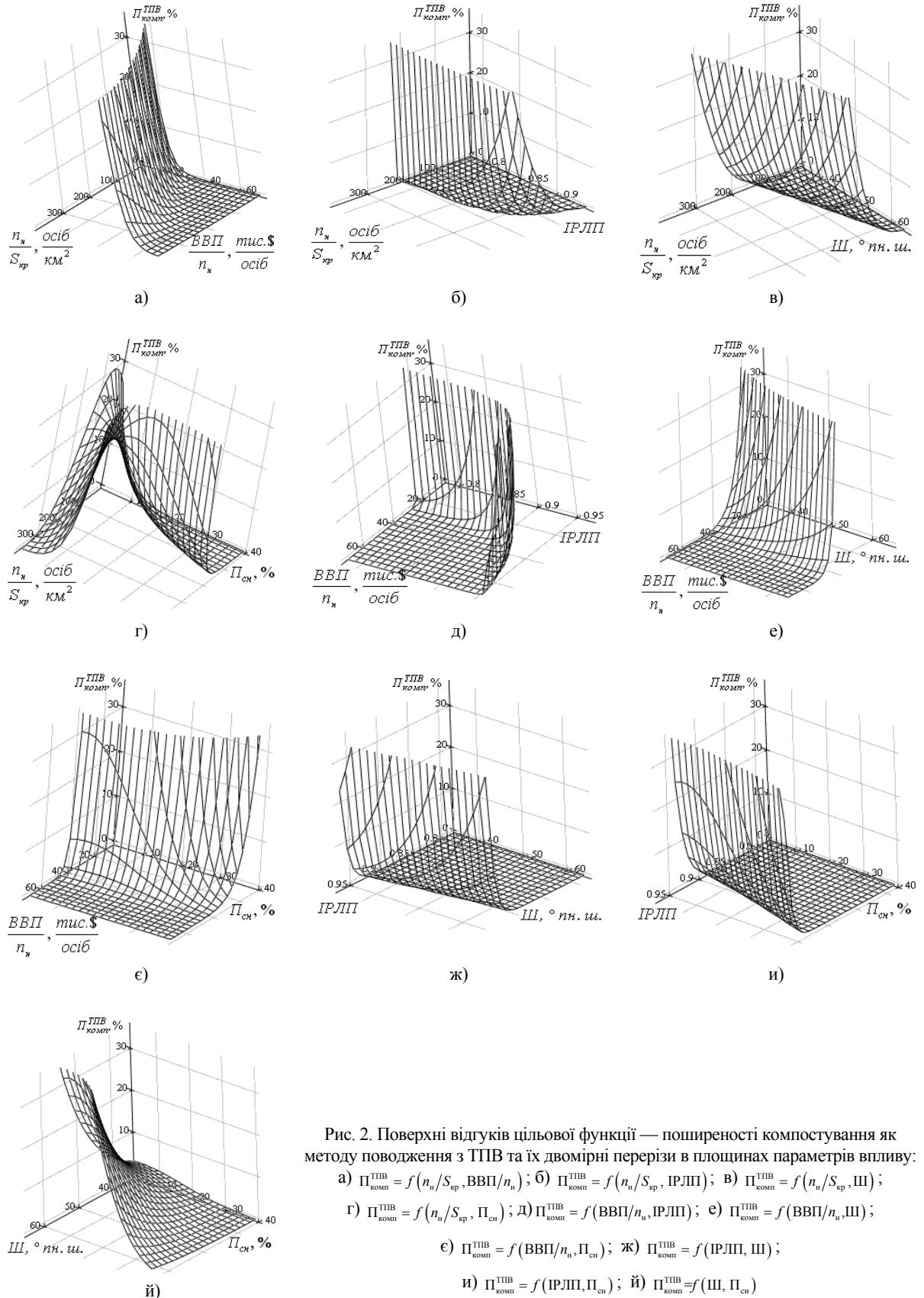


Рис. 2. Поверхні відгуків цільової функції — поширеності компостування як методу поводження з ТПВ та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу:

а) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(n_n/S_{\text{кр}}, \text{ВВП}/n_n)$; б) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(n_n/S_{\text{кр}}, \text{ІРЛП})$; в) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(n_n/S_{\text{кр}}, \text{Ш})$;

г) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(n_n/S_{\text{кр}}, \text{П}_{\text{сн}})$; д) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ВВП}/n_n, \text{ІРЛП})$; е) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ВВП}/n_n, \text{Ш})$;

є) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ВВП}/n_n, \text{П}_{\text{сн}})$; ж) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ІРЛП}, \text{Ш})$;

и) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ІРЛП}, \text{П}_{\text{сн}})$; й) $P_{\text{комп}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{Ш}, \text{П}_{\text{сн}})$

Висновки

1. Встановлено, що поширеність компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами в різних країнах залежать від таких факторів: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу, середня географічна широта країни (кількість сонячної енергії), частка сільського населення країни. При цьому, найбільше поширеність компостування ТПВ залежить від ВВП на душу населення, найменше — від середньої географічної широти (кількості сонячної енергії), а індекс розвитку людського потенціалу впливає лише опосередковано за допомогою парних ефектів взаємодії факторів.

2. Отримано адекватну математичну модель поширеності компостування як методу поводження з ТПВ в різних країнах у вигляді квадратичної регресії в логарифмічних координатах із ефектами взаємодій першого порядку, яка може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами.

3. Визначено регресійну залежність «географічна широта — кількість сонячної енергії», яка дозволяє врахувати вплив кількості сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі на поширеність компостування як методу поводження з ТПВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування об'ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : наук.-техн. зб. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — № 2 (7). — С. 88—91.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. — Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
3. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами обращения с отходами / Т. А. Орлова // Местобудовання та територіальне планування: наук.-техн. зб. — К. : КНУБА. — 2006. — Вип. 25. — С. 167—181.
4. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / А. Ю. Масленников // Отраслевой портал. Вторичное сырье. — Режим доступа : <http://www.recyclers.ru>.
5. Березюк О. В. Визначення регресійної залежності необхідної площі під обладнання для компостування твердих побутових відходів від його продуктивності / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Инновационное развитие территорий: матер. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. (25—27 февраля 2014 г.) ; Отв. за вып. Е. В. Белановская. — Череповец : ЧГУ, 2014. — С. 55—58.
6. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting / I. Deportes, J.-L. Benoit-Guyod, D. Zmirou, M.-C. Bouvier // Journal of Applied Microbiology. — 1998. — № 85. — P. 238—246.
7. Березюк О. В. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літнього компостування / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 4. — С. 17—20.
8. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час весняного компостування / О. В. Березюк, М. С. Лемешев, Л. Л. Березюк, І. В. Віштак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2015. — № 1. — С. 29—33.
9. Крейндин Л. М. Опыт некоторых стран в компостировании бытовых отходов / Л. М. Крейндин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. — 1989. — № 2. — С. 51—56.
10. U.S. Patent 4050917, C 05 F 11/08. Process of conversion of solid waste into workable material with predetermined characteristics and/or into fertilizers or soil improving agents / Stephen Varro — 609697; Filed 02.09.1975. Received 27.09.1977.
11. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на шляхи поведінки з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : наук.-техн. зб. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. — № 2 (10). — С. 64—66.
12. Березюк О. В. Комп'ютерна програма «Планування експерименту» («PlanExp») / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 46876 ; власник свідоцтва О. В. Березюк. — К. : Державна служба інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації : 21.12.2012.
13. Филиппов А. Закономерности солнечной энергии [Электронный ресурс] / А. Филиппов // Энергетика будущего : сб. матер. конф. (21—22 апреля 2010 г.) — 2010. — № 24. — С. 1—3. — Режим доступа : http://www.russianscientist.org/files/Conference/2010/Philippov_Sun_Energy.pdf.
14. Березюк О. В. Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы «RegAnaliz» / О. В. Березюк // Автоматизированные технологии и производства. — 2015. — № 2 (8). — С. 43—45.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 28.08.2015

Березюк Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Березюк Людмила Леонідівна — викладач циклової комісії загальноосвітніх дисциплін.

Коледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту, Вінниця

O. V. Bereziuk¹
L. L. Bereziuk²

Modeling of Composting Prevalence as Method Dealing with Hard Domestic Wastes

¹Vinnytsia National Technical University;

²College of Economics and Law of Vinnytsia Cooperative Institute

There have been defined the parameters on which the composting prevalence as attitude method with hard domestic wastes in different countries depend. The mathematical model of composting prevalence of hard domestic wastes has been developed.

Keywords: mathematical modeling, planning experiment, complex of machines and equipment, composting, hard domestic wastes.

Bereziuk Oleg V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair Security of Life, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru;

Bereziuk Liudmyla L. — Lecturer of Cyclic Commission of General Disciplines

О. В. Березюк¹
Л. Л. Березюк²

Моделирование распространенности компостирования как метода обращения с твердыми бытовыми отходами

¹Вінницький національний технічний університет;

²Колледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту

Выявлены параметры, от которых зависит распространенность компостирования как метода обращения с твердыми бытовыми отходами в разных странах. Разработана математическая модель распространенности компостирования твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: математическое моделирование, планирование эксперимента, комплекс машин и оборудования, компостирование, твердые бытовые отходы.

Березюк Олег Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru;

Березюк Людмила Леонидовна — преподаватель цикловой комиссии общеобразовательных дисциплин