

О. В. Березюк<sup>1</sup>  
 М. С. Лемешев<sup>1</sup>  
 Л. Л. Березюк<sup>2</sup>  
 І. В. Віштак<sup>1</sup>

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ САНІТАРНО- БАКТЕРІОЛОГІЧНОГО СКЛАДУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ПІД ЧАС ВЕСНЯНОГО КОМПОСТУВАННЯ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет;

<sup>2</sup>Коледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту

*Побудовано математичну модель динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час компостування у весняний період. Досліджено динаміку санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час компостування у весняний період.*

**Ключові слова:** математичне моделювання, регресійний аналіз, санітарно-бактеріологічний склад, компостування, тверді побутові відходи.

### Вступ

Об'єм твердих побутових відходів (ТПВ), які утворюються у населених пунктах України, перевищує 46 млн м<sup>3</sup> на рік [1]. Постанова Кабміну України № 265 [2] стала базою для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ. В таких країнах ЄС, як Данія та Нідерланди, поширеність компостування як шляху управління ТПВ досягає 30 % і більше [3, 4]. Компостування є технологією переробки ТПВ, основою на їхньому природному біорозкладанні, кінцевим продуктом якого є компост, що застосовується в міському та сільському господарстві. У вітчизняних індивідуальних будинках та на садових ділянках часто використовується компостування за допомогою компостних ям. Разом з тим, процес компостування можна централізувати і проводити на спеціальних майданчиках. Проте результати санітарно-бактеріологічних досліджень [5] свідчать про значне забруднення ТПВ мікрофлорою, що є збудниками гепатиту, туберкульозу, дизентерії, аскаридозу, респіраторних, алергічних, шкірних та інших хвороб, у тому числі навесні. Таким чином, забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення, яке проживає на територіях, наближених до місць компостування ТПВ, є однією з великих невирішених санітарно-гігієнічних і соціальних проблем. Тому побудова математичної моделі динаміки санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період, є актуальною науково-технічною задачею.

Автор [5] наводить значення санітарно-бактеріологічного складу ТПВ. В роботі [6] виявлено умовно-патогенні та патогенні види мікроорганізмів у депонованих відходах, визначено якісний і кількісний склад мікроорганізмів, які розкладають органічні речовини в ТПВ на різних етапах їхнього життєвого циклу. Автори [7] наводять дані щодо змінення санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування. В роботі [8] опублікована математична модель динаміки санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування лише в літній період. Однак конкретних математичних залежностей, які б описували динаміку санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період, в результаті аналізу відомих публікацій, нами не виявлено.

*Метою дослідження є побудова математичної моделі динаміки санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.*

### Аналіз результатів дослідження

У табл. 1 показана зміна санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період [7]. На відміну від літнього компостування [8], тривалість весняного є на порядок

довшою (242 дні проти 21 дні) через відмінності природних показників цих пір року. Також ширшою є номенклатура санітарно-бактеріологічного складу ТПВ навесні завдяки наявності стафілококів та аскарид, відсутніх у ТПВ під час літнього компостування [7]. Для зручності дані стосовно бактерій наведено у вигляді усереднених значень десятичного логарифма числа колонієутворювальних одиниць (КУО) на 1 г сухої маси досліджуваного матеріалу (lg КУО/г).

Таблиця 1

Зміна санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період [7]

Тривалість компостування, днів	Концентрації бактерій, lg КУО/г					Концентрація аскарид, яєць/г
	всього за температури		кишкової палички	стрептококів	стафілококів	
	20 °С	37 °С				
0	9,74	9,38	8,96	9,39	8,96	0,05
5	8,43	8,77	6,59	6,70	8,17	0,01
13	6,92	6,35	2,24	4,29	5,51	0,02
21	7,89	7,73	< 2	5,37	7,61	0,006
27	7,52	7,70	< 2	5,52	7,87	0
43	7,90/8,17	7,53/7,15	< 2	5,70/8,87	7,96/6,95	0
57	7,29/7,91	7,37/8,39	< 2/2,18	5,45/7,01	7,65/9,19	0
91	–	6,86/8,23	< 2	5,45/5,21	–	0
174	–	–	4,78/5,34	4,82/4,79	–	0
242	–	–	2,07/4,32	3,84/4,71	7,90/8,84	0

*Примітка.* В чисельнику наведено дані для захищеного зберігання, в знаменнику — для незахищеного зберігання.

За даними табл. 1 планувалось отримати парні регресійні залежності санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час весняного компостування від його тривалості.

Визначення виду залежностей парних регресій проводилося із 16 найпоширеніших математичних залежностей за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції за допомогою розробленої комп'ютерної програми «RegAnaliz», яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [9]. Для опису динаміки деяких санітарно-бактеріологічних складових ТПВ жодна з 16 функцій не забезпечила необхідний коефіцієнт кореляції, тому для цих залежностей проведено додатковий регресійний аналіз з використанням поліномів вищих порядків. Результати регресійного аналізу наведені в табл. 2, де сірим кольором позначено комірці з максимальними значеннями коефіцієнта кореляції  $R$  для кожної із парних регресій.

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних табл. 1, як найадекватніші за критерієм максимального коефіцієнта кореляції, остаточно прийняті такі регресійні залежності:

$$\lg C_{Б.20.З} = 8,18 - 0,3965 \lg t; \quad (1)$$

$$\lg C_{Б.20.НЗ} = 8,389 - 0,4321 \lg t; \quad (2)$$

$$\lg C_{Б.37.З} = 7,988 - 0,3741 \lg t; \quad (3)$$

$$\lg C_{Б.37.НЗ} = 9,149 - 0,1458t + 3,046 \cdot 10^{-3}t^2 - 1,714 \cdot 10^{-5}t^3; \quad (4)$$

$$\lg C_{КП.З} = 4,961 - 1,298 \lg t; \quad (5)$$

$$\lg C_{КП.НЗ} = 6,861 - 0,2006t + 1,998 \cdot 10^{-3}t^2 - 5,024 \cdot 10^{-6}t^3; \quad (6)$$

$$\lg C_{СтрК.З} = 6,696 - 0,9035 \lg t; \quad (7)$$

$$\lg C_{СтрК.НЗ} = 6,828 - 0,8168 \lg t; \quad (8)$$

$$\lg C_{СтфК.З} = 7,827 - 7,823 \cdot 10^{-3}t + 3,387 \cdot 10^{-5}t^2; \quad (9)$$

$$\lg C_{СтфК.НЗ} = 8,621 - 0,1478t + 3,378 \cdot 10^{-3}t^2 - 1,142 \cdot 10^{-5}t^3; \quad (10)$$

$$C_A = 0,02032 - 9,956 \cdot 10^{-3} \lg t, \quad (11)$$

де  $C_B$ ,  $C_{КП}$ ,  $C_{СтрК}$ ,  $C_{СтфК}$  — відповідно, концентрації бактерій: загальна, кишкової палички, стрептококів та стафілококів (індекси: З — для захищеного зберігання, НЗ — для незахищеного зберігання), відповідно, КУО/г;  $C_A$  — концентрація аскарид, яєць/г;  $t$  — тривалість компостування, днів.

Коефіцієнти кореляції склали 0,87679; 0,82409; 0,75124; 0,76282; 0,80503; 0,84563; 0,91246; 0,84285; 0,82091; 0,71393; 0,94535, відповідно, що свідчить про достатню точність та адекватність отриманих рівнянь (1)—(11).

Таблиця 2

## Результати регресійного аналізу санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час весняного компостування

№	Вид регресії	коефіцієнт кореляції R для парних регресій										
		$\lg C_{Б,20} = f(t)$		$\lg C_{Б,37} = f(t)$		$\lg C_{КП} = f(t)$		$\lg C_{СтрК} = f(t)$		$\lg C_{СтфК} = f(t)$		$C_A = f(t)$
		З	НЗ	З	НЗ	З	НЗ	З	НЗ	З	НЗ	
1	$y = a + bx$	0,56782	0,35896	0,56414	0,20294	0,25410	0,00422	0,57167	0,47084	0,05817	0,33647	0,79825
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,53624	0,28920	0,51297	0,12694	0,14192	0,24259	0,67981	0,48780	0,10793	0,30908	0,76324
3	$y = a + b/x$	0,85159	0,83365	0,69268	0,65627	0,77516	0,73836	0,85797	0,82199	0,51686	0,35478	0,92944
4	$y = x / (a + bx)$	0,79868	0,79868	0,69461	0,69592	0,72124	0,68530	0,88897	0,79725	0,69969	0,59835	0,60493
5	$y = ab^x$	0,55380	0,32543	0,54105	0,16538	0,19486	0,13444	0,63222	0,48521	0,08483	0,32369	0,69545
6	$y = ae^{bx}$	0,55380	0,32543	0,54105	0,16538	0,19486	0,13444	0,63222	0,48521	0,08483	0,32369	0,69600
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,55380	0,32543	0,54105	0,16538	0,19486	0,13444	0,63222	0,48521	0,08483	0,32369	0,69545
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,79345	0,76361	0,62432	0,58267	0,60423	0,52744	0,66989	0,67382	0,39834	0,31222	0,33660
9	$y = ax^b$	0,84884	0,78818	0,71355	0,62300	0,71267	0,57765	0,85058	0,78306	0,37126	0,19877	0,33428
10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,87679	0,82409	0,75124	0,66595	0,80503	0,70968	0,91246	0,84285	0,43714	0,21413	0,94535
11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,87679	0,82409	0,75124	0,66595	0,80503	0,70968	0,91246	0,84285	0,43714	0,21413	0,94535
12	$y = a / (b + x)$	0,53624	0,28920	0,51297	0,12694	0,14192	0,24259	0,67981	0,48780	0,10793	0,30908	0,76324
13	$y = ax / (b + x)$	0,79075	0,76135	0,62081	0,57953	0,60041	0,52416	0,66737	0,67155	0,39670	0,31104	0,33459
14	$y = ae^{b/x}$	0,82255	0,79920	0,65775	0,61862	0,67937	0,62065	0,77217	0,75049	0,45426	0,33382	0,25152
15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,82255	0,79920	0,65775	0,61862	0,67937	0,62065	0,77217	0,75049	0,45426	0,33382	0,25070
16	$y = a + bx^n$	0,41429	0,17048	0,45068	0,00419	0,14600	0,12820	0,50400	0,40243	0,08205	0,33095	0,70376
17	$y = a + bx + cx^2$	—	—	—	—	—	—	—	—	0,82091	—	—
18	$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	—	—	—	0,76282	—	0,84563	—	—	—	0,71393	—

Примітка. З — для захищеного зберігання, НЗ — для незахищеного зберігання

На рис. 1 та рис. 2 графічно показано фактичну та теоретичну динаміку санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період. Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретична динаміка санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період, розрахована за допомогою регресій (1)—(11), несуттєво відрізняється від фактичних даних, що свідчить про прийнятну точність отриманих залежностей.

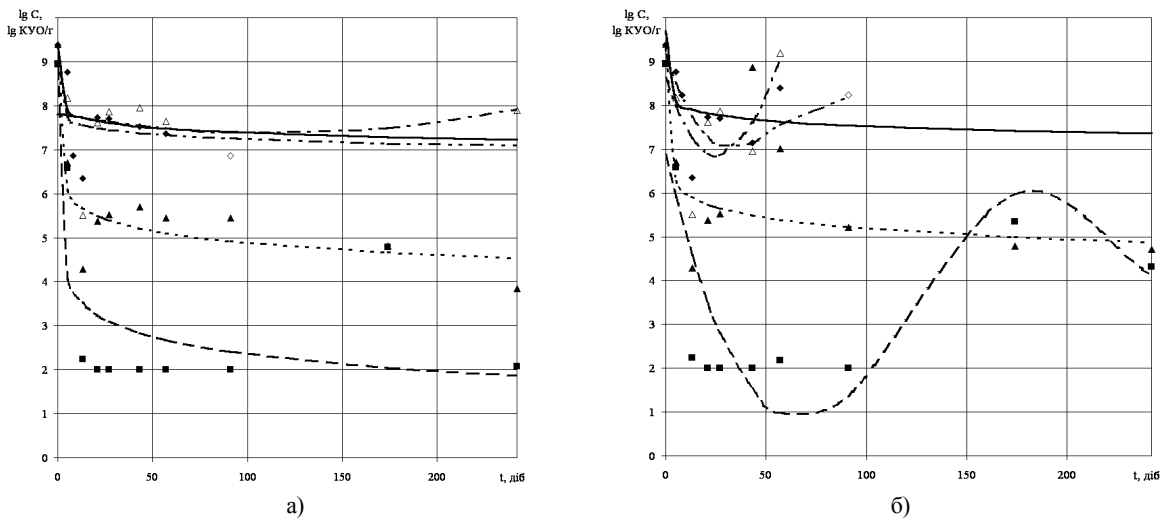


Рис. 1. Динаміка санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час весняного компостування у разі зберігання: а — захищеного б — незахищеного; фактично бактерій всього:  $\blacklozenge$  — при 20 °С;  $\diamond$  — при 37 °С;  $\blacksquare$  — кишкової палички;  $\blacktriangle$  — стрептококів,  $\triangle$  — стафілококів; теоретично бактерій всього: — — при 20 °С; - - - - при 37 °С, — · — · — кишкової палички, - · - · — стрептококів, — · — · — стафілококів

З рис. 1а випливає, що зі збільшенням тривалості компостування ТПВ у весняний період зменшення логарифму їхнього санітарно-бактеріологічного складу для захищеного зберігання описується таким чином: для загального вмісту бактерій при 20 °С та 37 °С, бактерій кишкової палички та стрептококів — за логарифмічною залежністю, а для стафілококів — за допомогою полінома 2-го порядку.

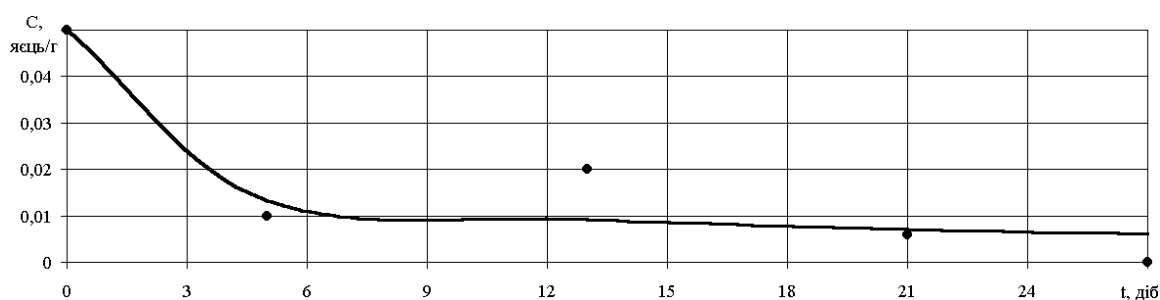


Рис. 2. Динаміка змінення концентрації аскарид в ТПВ під час процесу компостування у весняний період:  
● — фактично, — — теоретично

З рис. 1б випливає, що зі збільшенням тривалості компостування ТПВ у весняний період зменшення логарифму їхнього санітарно-бактеріологічного складу для незахищеного зберігання описується так: для загального вмісту бактерій при 20 °С та стрептококів — за логарифмічною залежністю, а для загального вмісту бактерій при 37°С, бактерій кишкової палички та стафілококів — за допомогою поліномів 3-го порядку.

З рис. 2 видно, що зі збільшенням тривалості компостування ТПВ у весняний період зменшення концентрації аскарид відбувається за логарифмічним законом.

### Висновки

1. Визначено регресійні залежності концентрацій аскарид та бактерій: всього при 20°С та 37°С, кишкової палички, стрептококів та стафілококів у ТПВ від тривалості їхнього компостування, що можуть бути використані для математичного моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування у весняний період, а також для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами.

2. Встановлено, що зі збільшенням тривалості компостування ТПВ у весняний період зменшення логарифму їхнього санітарно-бактеріологічного складу для захищеного зберігання описується так: для загального вмісту бактерій при 20 °С та 37 °С, бактерій кишкової палички та стрептококів — за логарифмічною залежністю, а для стафілококів — за допомогою полінома 2-го порядку.

3. Виявлено, що зі збільшенням тривалості компостування ТПВ у весняний період зменшення логарифму їхнього санітарно-бактеріологічного складу для незахищеного зберігання описується так: для загального вмісту бактерій при 20 °С та стрептококів — за логарифмічною залежністю, а для загального вмісту бактерій при 37 °С, бактерій кишкової палички та стафілококів — за допомогою поліномів 3-го порядку.

4. Встановлено, що зі збільшенням тривалості компостування ТПВ у весняний період зменшення концентрації аскарид відбувається за логарифмічним законом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Портал України з поводження з твердими побутовими відходами [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.ukrwaste.com.ua>.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
3. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами отходов / Т. А. Орлова // Містобудування та територіальне планування. — С. 167—180.
4. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / А. Ю. Масленников // Отраслевой портал. Вторичное сырье. — Режим доступа : <http://www.recyclers.ru>.
5. Щербо А. П. Гигиенические вопросы обезвреживания бытовых отходов // Хлопинские чтения : XXIII Научная конференция : доклад, 16 января 1991 года. — Л. : Изд-е ин-та усовершенствования врачей им. С. М. Кирова, 1990. — 25 с.
6. Зомарев А. М. Санитарно-гигиенический мониторинг полигонов захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) на этапах жизненного цикла : автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра мед. наук / А. М. Зомарев. — Пермь : 2010. — 50 с.
7. 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.
8. Березюк О. В. Моделирование динамики 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.
9. Березюк О. В. Комп'ютерна програма «Регресійний аналіз» («RegAnaliz») / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486 / власник свідоцтва О. В. Березюк. — К. : Державна служба інтелектуальної власності України. — Дата реєстр. : 03.06.2013.

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

**Лемешев Михайло Степанович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності;

**Виштак Інна Вікторівна** — інженер кафедри безпеки життєдіяльності.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Березюк Людмила Леонідівна** — викладач циклової комісії загальноосвітніх дисциплін.

Коледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту, Вінниця

**O. V. Bereziuk<sup>1</sup>**

**M. S. Lemeshev<sup>1</sup>**

**L. L. Bereziuk<sup>2</sup>**

**I. V. Vishtak<sup>1</sup>**

## Modeling of dynamic sanitary-bacteriological composition of hard domestic waste during spring composting

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University;

<sup>2</sup>College of Economics and Law of Vinnitsia Cooperative Institute

*Mathematical model of dynamic sanitary-bacteriological composition of hard domestic waste during composting at spring period is built. Dynamic sanitary-bacteriological composition of hard domestic waste during composting at spring period is investigated in the paper.*

**Keywords:** mathematical modeling, regression analysis, sanitary-bacteriological composition, composting, hard domestic waste.

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

**Lemeshev Mykhailo S.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Security of Life;

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

**Vishtak Inna V.** — Engineer of the Chair of Security of Life

**О. В. Березюк<sup>1</sup>**

**М. С. Лемешев<sup>1</sup>**

**Л. Л. Березюк<sup>2</sup>**

**И. В. Виштак<sup>1</sup>**

## Моделирование динамики санитарно-бактериологического состава твердых бытовых отходов при весеннем компостировании

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет;

<sup>2</sup>Колледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту

*Построена математическая модель динамики санитарно-бактериологического состава твердых бытовых отходов во время компостирования в весенний период. Исследована динамика санитарно-бактериологического состава твердых бытовых отходов во время компостирования в весенний период.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, регрессионный анализ, санитарно-бактериологический состав, компостирование, твердые бытовые отходы.

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

**Лемешев Михаил Степанович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности;

**Березюк Людмила Леонидовна** — преподаватель цикловой комиссии общеобразовательных дисциплин;

**Виштак Инна Викторовна** — инженер кафедры безопасности жизнедеятельности.