

О. В. Березюк, к. т. н., доц.; С. М. Горбатюк, к. б. н., доц.; Л. Л. Березюк

## РЕГРЕСІЙНА ЗАЛЕЖНІСТЬ АКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДАХ ВІД СТУПЕНЯ ЇХНЬОГО УЩІЛЬНЕННЯ З ЧАСОМ

*Протягом останніх років в Україні суттєво зросла загальна площа полігонів твердих побутових відходів і сміттєзвалищ, серед яких і перевантажені, що порушують екологічні норми та є об'єктами інтенсивного екологічного навантаження, загрожуючи забрудненням навколишнього середовища шкідливими речовинами: важкими металами, мікроорганізмами (бактеріями кишкової палички, стрептококами, стафілококами та аскаридами, високотоксичним фільтратом, звалищним газом тощо. У статті наведено результати визначення регресійної залежності активності біологічних процесів у твердих побутових відходах від ступеня їхнього ущільнення з часом за допомогою планування багатофакторного експерименту методом Бокса – Уілсона. Отримано адекватну регресійну залежність активності біологічних процесів у твердих побутових відходах від ступеня їхнього ущільнення з часом у вигляді квадратичної регресії з ефектами взаємодії 1-го порядку. Адекватність регресійної моделі перевіряли за критерієм Фішера, а значущість коефіцієнтів регресії – за критерієм Стьюдента. Запропонована математична модель підтверджує необхідність ущільнення твердих побутових відходів перед їхнім захороненням з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та може бути використана під час проєктування механізмів ущільнення відходів у сміттєвозах. За критерієм Стьюдента визначено, що серед досліджених чинників впливу найбільше активність біологічних процесів у твердих побутових відходах залежить від їхньої густини, найменше – від часу. Побудовано поверхню відгуку цільової функції – дегідрогеназної активності твердих побутових відходів і їхній двомірний переріз у площині параметрів впливу, яка дозволяє наочно відобразити отриману залежність і характер одночасного впливу декількох факторів на цільову функцію.*

**Ключові слова:** сміттєвоз, сміттєзвалище, ущільнення, тверді побутові відходи, активність біологічних процесів, планування експерименту.

### Вступ

Річний об'єм твердих побутових відходів (ТПВ), що утворюються в українських населених пунктах і становлять серйозну загрозу для охорони здоров'я та безпеки навколишнього середовища [1], перевищує 54 млн. м<sup>3</sup>. Особливістю ТПВ є те, що вони є змішаними, тобто це суміш компонентів, на відміну від будівельних відходів, які, переважно, є однорідними й відносно легко піддаються переробці [2, 3]. Постанова Кабміну України № 265 [4] стала основою для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ на території України. Переважну частину вітчизняних ТПВ захоронюють на 6107 полігонах та сміттєзвалищах площею майже 7700 га та лише частково переробляють або утилізують на сміттєспалювальних заводах, на відміну від високорозвинених країн, відомих широким упровадженням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ [5]. Лише за 1999 - 2014 рр. в три рази збільшилась сумарна площа полігонів і сміттєзвалищ в Україні. Майже у два рази зросла площа перевантажених та більше ніж у 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, які порушують норми екологічної безпеки, що загрожує забрудненням довкілля шкідливими речовинами, зокрема й через забруднення ґрунтів важкими металами, які разом із фільтратом можуть потрапляти до підземних вод, забруднюючи їх, що становить загрозу для безпеки життя й діяльності людини. Сміттєзвалища також є об'єктами інтенсивного екологічного навантаження на навколишнє середовище та можуть становити небезпеку забруднення мікроорганізмами (бактеріями кишкової палички, стрептококами, стафілококами та

аскаридами) суміжних земельних ділянок [6], серед яких і сільськогосподарські угіддя. Через біологічні процеси, які відбуваються в товщі ТПВ, полігони їхнього захоронення є джерелами тривалого негативного впливу на довкілля високотоксичним фільтратом [7, 8] та звалищним газом, що містить парникові гази та токсичні речовини [9, 10], тому для зменшення темпів зростання площ полігонів та їхнього негативного впливу на навколишнє середовище виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ під час завантаження в сміттєвоз [11, 12]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ сприяє ефективнішому використанню площі полігона [13]. Перевезення ТПВ сміттєвозами до місця утилізації за мінімальної відстані 30 км, що відповідає розмірам санітарної зони, в Україні пов'язане зі значними фінансовими витратами, оскільки комунальні служби витрачають більше 45 тис. т пального в рік [14]. Зношеність автопарку сміттєвозів українських комунальних підприємств сягає майже 70 % [15], що зумовлює необхідність виробництва нових сміттєвозів.

### **Постановка проблеми**

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів поводження з ТПВ в Україні є забезпечення застосування сучасних високоефективних сміттєвозів [4], тому визначення регресійної залежності активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього ущільнення з часом, яка може бути використана під час проєктування механізмів ущільнення відходів у сміттєвозах, є актуальним науково-технічним завданням.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У статті [6] виявлено ширшу номенклатуру санітарно-бактеріологічного складу ТПВ навесні (бактерії кишкової палички, стрептококи, стафілококи та аскариди) завдяки наявності стафілококів та аскарид, відсутніх у ТПВ під час літнього компостування. Порівняння динаміки санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування в різні пори року наведено в роботі [16]. У статті [17] встановлено, що в неущільненій неутілізованій частині ТПВ після сортування спостерігають високу дегідрогеназну активність, яка свідчить про інтенсивні біологічні процеси, що відбуваються в ТПВ; також наведено експериментальні дані щодо дегідрогеназної активності неутілізованої частини ТПВ для різних значень їхньої густини після пресування з часом, а також встановлено, що глибоке пресування ТПВ суттєво зменшує активність біологічних процесів, які в них відбуваються за рахунок зменшення доступу кисню в процесі окислення органічних речовин, здатних до біодеструкції, та зниження показників вологості. У роботі [18] наведено: результати експериментального дослідження процесів зневоднення ТПВ шнековим пресом, регресійні моделі показників зневоднення від основних параметрів впливу, параметричну оптимізацію цільової функції – енергоємності зневоднення ТПВ, яка дозволила отримати оптимальні значення параметрів технологічного процесу зневоднення. У статті [19] побудовано математичні моделі залежності концентрацій сапрофітних бактерій у ґрунті від відстані до полігону захоронення ТПВ, які дозволили встановити, що з наближенням полігону суттєво знижується концентрація сапрофітних аеробних бактерій, необхідних для біохімічних реакцій розкладання органічної фракції ТПВ у місцях їхнього захоронення та самоочищення ґрунту від чужорідних органічних речовин. Однак конкретних математичних залежностей активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього ущільнення з часом авторами не виявлено.

### **Мета і завдання статті**

**Метою цієї статті** є побудова за допомогою планування багатofакторного експерименту регресійної залежності активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього

ущільнення з часом, яка може бути використана під час проектування механізмів ущільнення відходів у сміттєвозах.

### Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього ущільнення з часом використано такі методи: планування багатofакторного експерименту Бокса – Уїлсона, комп'ютерного моделювання.

### Результати досліджень

У таблиці 1 експериментальні дані щодо дегідрогеназної активності неутілізованої частини ТПВ для різних значень їхньої густини після пресування з часом [17].

Таблиця 1

Дегідрогеназна активність неутілізованої частини ТПВ для різних значень їхньої густини після пресування з часом [17]

Густина ТПВ, кг/м <sup>3</sup>	Дегідрогеназна активність, од. опт. щільн. з часом, діб			
	1	30	60	90
350	5,19	4,09	3,18	1,89
1000	2,97	2,8	1,96	1,48
1300	2,49	2,18	1,77	1,17

За даними табл. 1, використовуючи планування експерименту за допомогою ротатабельного центрального композиційного планування другого порядку, застосовуючи розроблене програмне забезпечення, захищене свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [20] і детально описане в роботі [21], отримано рівняння регресії активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього ущільнення з часом

$$ДГА = 6,138 - 0,003277\rho - 0,03598t + 2,183 \cdot 10^{-5} \rho t + 3,286 \cdot 10^{-7} \rho^2 - 6,682 \cdot 10^{-5} t^2, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина ТПВ, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – час, діб.

На рис. 1 показано поверхню відгуку цільової функції – дегідрогеназної активності ТПВ та їхній двомірний переріз у площині параметрів впливу, яка дозволяє наочно відобразити залежність (1) і характер одночасного впливу декількох чинників на цільову функцію.

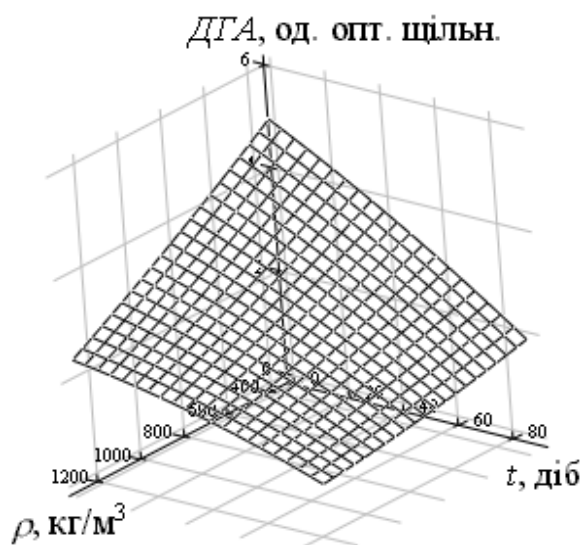


Рис. 1. Поверхня відгуку цільової функції – дегідрогеназної активності ТПВ та їхній двомірний переріз у площині параметрів впливу

Характер графічної залежності, зображеної на рис. 1, підтверджує необхідність ущільнення ТПВ перед їхнім захороненням із метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище, а залежність (1) може бути використана під час проектування механізмів ущільнення відходів у сміттєвозах.

За критерієм Стюдента виявлено, що найбільше активність біологічних процесів у ТПВ залежить від їхньої густини, найменше – від часу.

Установлено, що, за критерієм Фішера, гіпотезу про адекватність регресійної моделі (1) можна вважати правильною з 95%-ю достовірністю. Коефіцієнт кореляції склав 0,99561, що свідчить про достатню достовірність одержаних результатів.

### Висновки

1. Запропоновано адекватну математичну залежність активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього ущільнення з часом у вигляді квадратичної регресії із ефектами взаємодії 1-го порядку, яка підтверджує необхідність ущільнення твердих побутових відходів перед їхнім захороненням із метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище й може бути використана під час проектування механізмів ущільнення відходів у сміттєвозах.

2. Установлено, що найбільше активність біологічних процесів у ТПВ залежить від їхньої густини, найменше – від часу.

3. Побудовано поверхню відгуку цільової функції – дегідрогеназної активності ТПВ та їхній двомірний переріз у площині параметрів впливу, яка дозволяє наочно відобразити отриману залежність і характер одночасного впливу декількох чинників на цільову функцію.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Qdais Abu H. Kinetics of solid waste biodegradation in laboratory lysimeters / H. Abu Qdais, A. Alsheraideh // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2008. – Vol. 2, № 1. – P. 45 – 52.
2. Ковальський В. П. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – № 1 (16). – С. 35 – 40.
3. Лемешев М. С. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенних відходів / М. С. Лемешев, О. В. Христинич, С. Ю. Зузяк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: науково-технічний збірник. – 2018. – № 1. – С. 18 – 23.
4. Кабінет Міністрів України. Постанова № 265 “Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами” [Електронний ресурс] 4 березня 2004. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>
5. Мороз О. В. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів : монографія / О. В. Мороз, А. О. Свентух, О. Т. Свентух. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 110 с.
6. 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.
7. Воронкова Т. В. Система управління образованием фильтрата полигонов ТБО / Т. В. Воронкова, С. Ю. Чудинов // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 8. – С. 36 – 40.
8. Попович В. В. Екологічна небезпека фільтрату сміттєзвалищ / В. В. Попович // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи», 4-6 листопада 2015 р. – Львів, 2015. – С. 165 – 166.
9. Ратушняк Г. С. Енергозбереження в системах біоконверсії : навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 83 с.
10. Управління та поводження з відходами. Ч. 2. Тверді побутові відходи : навчальний посібник / [В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 100 с.
11. Berezyuk O. V. Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities / O. V. Berezyuk, V. I. Savulyak // TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies. – Suceava, Romania, 2015. – № 22. – P. 345 – 351.
12. Березюк О. В. Системи приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Промислова гідравліка і пневматика. – 2017. – № 3 (57). – С. 65 – 72.

13. Berezyuk O. Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart / O. Berezyuk, V. Savulyak // Technical Sciences. – 2017. – № 20 (3). – P. 259 – 273.
14. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с.
15. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттевозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111 – 116.
16. Березюк О. В. Порівняння динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час компостування / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку", м. Ірпінь, 10-20 листопада 2015 р. – Ірпінь : НУДПСУ, 2015. – С. 218 – 220.
17. Тетеньова І. О. Гігієнічна оцінка сучасних технологій поводження з твердими побутовими відходами та можливість впровадження їх в Україні / І. О. Тетеньова // Довкілля та здоров'я. – 2017. – №. 3 (83). – С. 49 – 54.
18. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 5. – С. 18 – 24. – <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-140-5-18-24>.
19. Березюк О. В. Побудова моделей залежності концентрацій сапрофітних бактерій у ґрунті від відстані до полігону захоронення твердих побутових відходів / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 1. – С. 36 – 39.
20. 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.
21. Березюк О. В. Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттевозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp" / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 6. – С. 23 – 28.

Стаття надійшла до редакції 16.06.2020 р.

Стаття пройшла рецензування 22.06.2020 р.

**Березюк Олег Володимирович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки.

Вінницький національний технічний університет.

**Горбатюк Світлана Михайлівна** – к. б. н., доцент, доцент кафедри медичної біології.

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова.

**Березюк Людмила Леонідівна** – старший лаборант кафедри географії.

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського.