

DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-1-8-13>

УДК 628.472.3; 628.4.08

**О. В. Березюк, к. т. н., доц.; В. О. Краєвський, к. т. н., доц.; Л. Л. Березюк****СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ПРИКЛАДІ США**

*В Україні за останні роки суттєво збільшилася сумарна площа полігонів твердих побутових відходів і сміттєзвалищ, серед яких і перевантажені, що порушують норми екологічної безпеки та є об'єктами інтенсивного екологічного навантаження, що загрожує забрудненням навколишнього середовища шкідливими речовинами: важкими металами, мікроорганізмами (бактеріями кишкової палички, стрептококами, стафілококами та аскаридами), високотоксичним фільтратом, звалищним газом тощо. Визначення регресійних залежностей, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ є актуальним науково-технічним завданням. Метою дослідження є визначення регресійних залежностей, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ. Під час проведення дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із шістнадцяти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції. Регресію проводили на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювали методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватні регресійні залежності, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ і можуть бути використані під час визначення необхідної кількості сміттєвозів для збирання та транспортування твердих побутових відходів та машин для виконання технологічних операцій їхнього ущільнення на карті полігону. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ і дозволяють наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів із фактичними даними.*

**Ключові слова:** сміттєвоз, сміттєзвалище, тверді побутові відходи, динаміка, регресійний аналіз.

**Вступ**

Серйозну загрозу для охорони здоров'я та безпеки навколишнього середовища становлять тверді побутові відходи (ТПВ) [1, 2], яких щороку на території України утворюється більше 54 млн. м<sup>3</sup> ТПВ. Основну 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 високорозвинутих країн, відомих широким упровадженням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ [3]. Лише за 1999 – 2014 рр. у три рази збільшилась сумарна площа полігонів і сміттєзвалищ в Україні. Майже у два рази зросла площа перевантажених і більше, ніж у 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, які порушують норми екологічної безпеки, що загрожує забрудненням навколишнього середовища 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 довкілля та можуть становити небезпеку забруднення мікроорганізмами суміжних земельних ділянок: бактеріями кишкової палички, стрептококами, стафілококами та аскаридами [4], серед яких і сільськогосподарських угідь. Полігони ТПВ є джерелами тривалого негативного впливу на

навколишнє середовище високотоксичним фільтратом [5, 6] та звалищним газом, що містить парникові гази й токсичні речовини [7]. Для зменшення темпів зростання площ полігонів виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ під час завантаження в сміттєвоз [8]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ сприяє ефективнішому використанню площі полігону [9]. 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 щорічно комунальні служби витрачають більше 45 тис. т пального [10]. При цьому зношеність автопарку сміттєвозів комунальних підприємств України сягає майже 70 % [11], що зумовлює необхідність у виробництві нових сміттєвозів. Зараз у США для оцінки технічного стану сміттєвозів використовують інший показник – відсоток придатності (Percent Good Factor, PGF), значення якого встановлюють залежно від віку (або ефективного віку) машини за спеціальними таблицями або формулами [12].

### Постановка проблеми

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів поведінки з ТПВ в Україні є забезпечення застосування сучасних високоефективних сміттєвозів [13], тому визначення регресійних залежностей, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ і можуть бути використані під час визначення необхідної кількості сміттєвозів для збирання та транспортування твердих побутових відходів та машин для виконання технологічних операцій їхнього ущільнення на карті полігону, є актуальним науково-технічним завданням.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У статті [14] запропоновано математичні моделі для прогнозування об'ємів утворення ТПВ і площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні. У результаті чого встановлено, що загальна площа полігонів та сміттєзвалищ, а також тих площ, що не відповідають нормам екобезпеки, збільшується приблизно за експоненціальним законом, а площа перевантажених полігонів та сміттєзвалищ як таких, що відповідають, так і таких, що не відповідають нормам екобезпеки, зростає щорічно майже лінійно. У роботі [4] 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. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ від забруднення важкими металами проведено в статті [15], у результаті чого запропоновано логарифмічні регресійні залежності питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами від зменшення концентрацій кадмію, свинцю та цинку, використаних для побудови математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів від забруднення важкими металами. У роботі [16] наведено статистичні дані щодо поширеності таких шляхів поведінки з ТПВ, як захоронення, спалювання, переробки, компостування у Європейському Союзі в 1995 – 2014 рр. У статті [17] удосконалено математичну модель у вигляді логарифмічної залежності концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ. У роботі [18] 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. У роботі [19] запропоновано гіперболічну регресійну залежність коефіцієнта ущільнення ТПВ від висоти полігону. Однак конкретних математичних залежностей, що описують зменшення кількості сміттєзвалищ, у результаті аналізу відомих публікацій авторами не виявлено.

### Мета і завдання статті

**Метою цієї статті** є побудова за допомогою регресійного аналізу регресійної залежності, яка описує динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ і може бути використана під час визначення необхідної кількості сміттєвозів для збирання та транспортування твердих побутових відходів та машин для виконання технологічних операцій їхнього ущільнення на карті полігона.

### Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності, яка описує динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

### Результати досліджень

У таблиці 1 показано динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ на прикладі США [20, 21] та в Україні [22]. На основі даних таблиці 1 планували отримати парні регресійні залежності, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ на прикладі США та в Україні.

Таблиця 1

Кількість сміттєзвалищ в США та в Україні в різні роки [20 – 22]

Рік	Кількість сміттєзвалищ, од.		Рік	Кількість сміттєзвалищ, од.		Рік	Кількість сміттєзвалищ, од.	
	США			США			США      Україна	
1988	7924		1997	2514		2010	1908	
1989	7379		1998	2314		2011	1908	
1990	6326		1999	2216		2012	1908	
1991	5812		2000	1967		2013	1908      6682	
1992	5386		2001	1858		2014	1956      5978	
1993	4482		2002	1767		2015	1738      6064	
1994	3558		2005	1754		2016	1267      5470	
1995	3197		2006	1754		2017	1269      5434	
1996	3091		2007	1754		2018	6107	

Регресію проводили на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювали методом найменших квадратів [23] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір і детально описана в роботі [19].

Програма "RegAnaliz" дозволяє проводити регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів у форматі MS Excel та Bitmap.

Результати регресійного аналізу наведено в таблиці 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції *R*.

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних таблиці 1 як найбільш адекватні остаточно прийнято такі регресійні залежності

$$n_{сзв.США} = 10461(t - 1987)^{-0.5759} \text{ [од.];} \quad (1)$$

$$n_{\text{сзв.Укр.}} = \frac{t - 2012}{1,759 \cdot 10^{-4}(t - 2012) - 1,36 \cdot 10^{-5}} \text{ [од.]} \quad (2)$$

Таблиця 2

**Результати регресійного аналізу динаміки зменшення кількості сміттєзвалищ на прикладі США та в Україні**

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R		№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	
		США	Україна			США	Україна
1	$y = a + bx$	0,80970	0,58921	9	$y = ax^b$	0,95482	0,71089
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,90163	0,57235	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,95473	0,72287
3	$y = a + b / x$	0,86912	0,78985	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,95473	0,72287
4	$y = x / (a + bx)$	0,95255	0,99205	12	$y = a / (b + x)$	0,90163	0,57235
5	$y = ab^x$	0,87540	0,58094	13	$y = ax / (b + x)$	0,68458	0,75660
6	$y = ae^{bx}$	0,87540	0,58094	14	$y = ae^{b/x}$	0,78885	0,77347
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,87540	0,58094	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,78885	0,77347
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,48946	0,76999	16	$y = a + bx^n$	0,66737	0,43901

На рис. 1 показано фактичні й теоретичні графічні залежності, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ на прикладі США та в Україні.

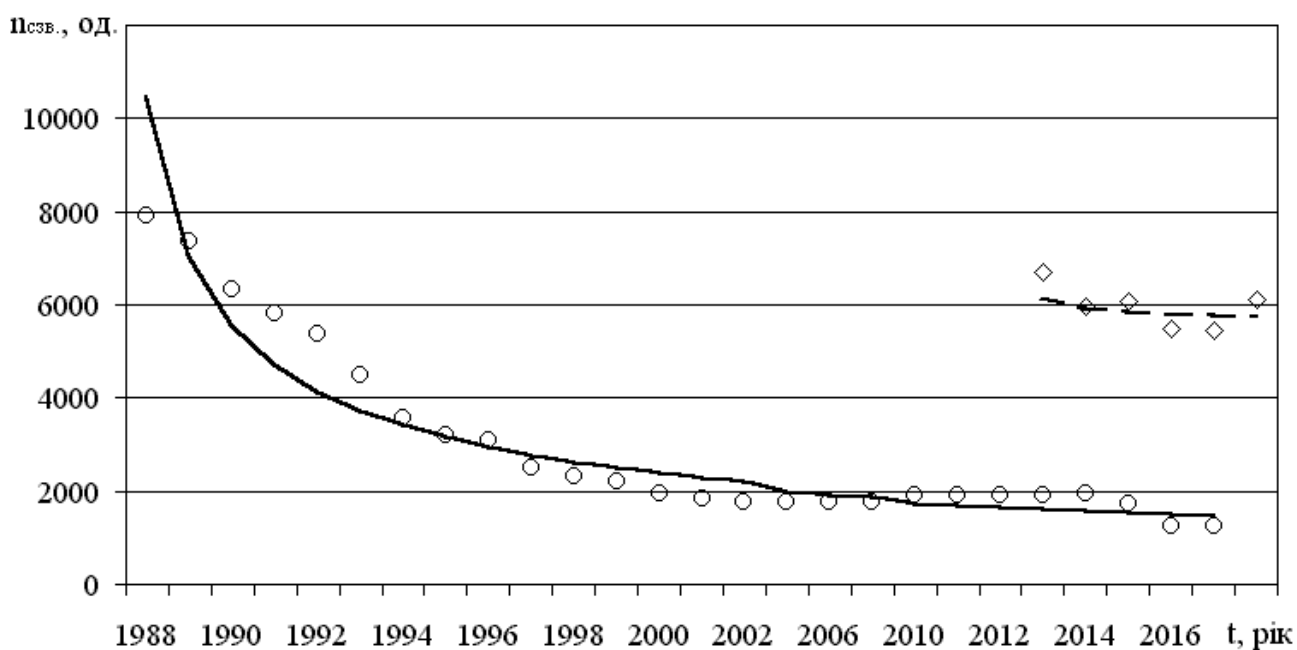


Рис. 1. Залежності, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ на прикладі США протягом 1988 - 2017 рр.: фактична о, теоретична — та в Україні протягом 2013 – 2018 рр.: фактична ◇, теоретична ---

Порівняння фактичних і теоретичних даних засвідчило, що теоретична динаміка зменшення кількості сміттєзвалищ, розрахована за допомогою рівнянь регресії (1, 2), несуттєво відрізняється від даних, наведених у роботах [20 – 22], що підтверджує визначену раніше достатню точність отриманих залежностей.

Як видно із рис. 1, кількість сміттєзвалищ у США в 1988 – 2017 роках скоротилася більше ніж у 6 разів. Таке стрімке скорочення можна пояснити широким упровадженням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ. Водночас в Україні зменшення кількості сміттєзвалищ протягом 2013 – 2018 рр. є несуттєвим. Використовуючи залежність (1), можна спрогнозувати, що кількість сміттєзвалищ у США у 2027 році скоротиться до 1250, а

у 2032 році – до 1168. Ураховуючи євроатлантичні прагнення України та провівши перерахунок цих результатів з кількості населення США на кількість населення України можна спрогнозувати, що кількість сміттєзвалищ в Україні у 2027 році не повинна перевищувати 161, а у 2032 році – 150. Це підтверджує необхідність упровадження в Україні сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ.

### Висновки

1. Визначено регресійні залежності, які описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ і можуть бути використані під час визначення необхідної кількості сміттєвозів для збирання та транспортування твердих побутових відходів та машин для виконання технологічних операцій їхнього ущільнення на карті полігону.

2. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ і дозволяють наочно проілюструвати описану динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів із фактичними.

3. Результати застосування запропонованої прогностичної моделі зменшення кількості сміттєзвалищ на прикладі США в проєкції на Україну підтверджують необхідність упровадження в нашій країні сучасних технологій переробки та утилізації твердих побутових відходів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hamer G. Solid waste treatment and disposal : effects on public health and environmental safety / G. Hamer // *Biotechnology advances*. – 2003. – Vol. 22, № 1 – 2. – P. 71 – 79. – DOI: 10.1016/j.biotechadv.2003.08.007.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Воронкова Т. В. Система управління образованием фильтрата полигонов ТБО / Т. В. Воронкова, С. Ю. Чудинов // *Твердые бытовые отходы*. – 2013. – № 8. – С. 36 – 40.
6. 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.
7. Ратушняк Г. С. Енергозбереження в системах біоконверсії : навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 83 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111 – 116.
12. Смоляк С. А. Модели для оценки стоимости полувагонов / С. А. Смоляк // *Бюллетень транспортной информации*. – 2015. – № 3. – С. 37 – 40. – DOI: 10.2139/ssrn.2763710.
13. 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>.
14. 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 Наукові праці ВНТУ*, 2020, № 1

будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 2. – С. 88 – 91.

15. Березюк О. В. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами / О. В. Березюк // Комунальне господарство міст. Серія: безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика. – 2015. – № 1 (120). – С. 240 – 242.

16. Перспективи використання ТПВ для генерації теплової енергії в Україні [Електронний ресурс] / Н. Ю. Павлюк // Матеріали XXVI міжнародної конференції «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики», 20-24 вересня 2016 р. – Одеса: Інститут промислової екології, 2016. – Режим доступу: [http://engecology.com/wp-content/uploads/2015/08/19-pavljuk\\_tpv-v-teplo\\_odesa\\_2016.pdf](http://engecology.com/wp-content/uploads/2015/08/19-pavljuk_tpv-v-teplo_odesa_2016.pdf).

17. Березюк О. В. Удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 4. – С. 28 – 31.

18. 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.

19. Березюк О. В. Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 40 – 45.

20. Municipal solid waste in the United States : 2007 facts and figures [Електронний ресурс]. – US Environmental Protection Agency, 2007. – Режим доступу : <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/pdf/msw07-rpt.pdf>.

21. Number of municipal waste landfills in the U.S. from 1990 to 2017 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/193813/number-of-municipal-solid-waste-landfills-in-the-us-since-1990/>.

22. Мінрегіон. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2018 рік [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>.

23. Хом'юк І. В. Теорія ймовірностей та математична статистика. Навчальний посібник / І. В. Хом'юк, В. В. Хом'юк, В. О. Краєвський. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 189 с.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2020 р.

Стаття пройшла рецензування 18.03.2020 р.

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

**Краєвський Володимир Олександрович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри вищої математики.

Вінницький національний технічний університет.

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

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського.