

О. В. Березюк¹
В. О. Красвський¹
Л. Л. Березюк²

ДИНАМІКА ПОШИРЕНOSTІ МЕТОДІВ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В ЄС

¹Вінницький національний технічний університет;

²Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського

Визначення регресійних залежностей, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами, є актуальною науково-технічною задачею як однією зі складових для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. Метою дослідження є визначення регресійних залежностей, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами. Серед основних методів поводження з твердими побутовими відходами розглянуто такі: захоронення, спалювання, переробка, компостування. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей з вибором раціонального виду функції з 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнта кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", захищеної свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватні регресійні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами та дозволяють прогнозувати поширеність таких методів поводження з відходами як захоронення, спалювання, переробка, компостування. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами та дозволяють наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів. Встановлено, що поширеність захоронення твердих побутових відходів спадає лінійно, спалювання — зростає гіперболічно, переробка та компостування — зростає лінійно. При цьому найінтенсивніше зростає поширеність спалювання твердих побутових відходів. Спрогнозовано таку поширеність методів поводження з твердими побутовими відходами в ЄС у 2021 році: захоронення — 14,15 %, спалювання — 40,32 %, переробка — 34,19 %, компостування — 19,74 %.

Ключові слова: динаміка, поширеність, методи поводження, тверді побутові відходи, регресійний аналіз.

Вступ

Разом з проблемою твердих промислових відходів [1] важливою є проблема твердих побутових відходів (ТПВ), щорічний об'єм яких у населених пунктах України перевищує 54 млн м³, 93,9 % з яких вивозяться на полігони і сміттєзвалища [2] площею майже 7700 га, і лише 5,1 % перероблюються та утилізуються на сміттєспалювальних заводах [3]. Протягом 1999—2014 рр. в 3 рази збільшилась сумарна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні. Майже в 2 рази зросла площа перевантажених та більше ніж в 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, що порушують норми екологічної безпеки. Таким чином, ТПВ загрожують здоров'ю населення та безпеці навколишнього середовища. Лише на транспортування ТПВ 4000 сміттєвозами до місця утилізації за межі санітарної зони в 30 км в Україні щороку витрачається більше 45 тис. т пального [4]. Зношеність автопарку сміттєвозів комунальних підприємств України досягає майже 70 %. Постанова Кабінету Міністрів України № 265 [5] стала основою для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ на території України. В таких розвинутих країнах ЄС, як Швеція та Данія, поширеність спалювання ТПВ з використанням енергії досягає більше половини від загальної сукупності шляхів поводження з

ТПВ [6], [7]. Один з пунктів Угоди про асоціацію між ЄС та Україною зумовлює актуальність дослідження системи управління ТПВ [8]. Тому визначення регресійних залежностей, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами, є актуальною науково-технічною задачею як одною зі складових для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

В роботах [6], [7], [9] наводяться статистичні дані щодо поширеності шляхів поводження з ТПВ в різних країнах світу, зокрема в ЄС. В статті [10] наведені регресійні моделі поширеності таких способів поводження з ТПВ як захоронення та спалювання. Поширеність компостування як методу поводження з ТПВ досліджена в роботі [11]. В статті [12] висвітлено моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу. Результати регресійного аналізу кількості сміттєспалювальних заводів опубліковано в роботі [13]. Регресійний аналіз, поданий в роботі [14] показав, що найефективніше взаємозв'язок відходів виробництва та споживчих відходів для регіонів Далекосхідного економічного регіону Російської Федерації та для регіону в цілому описує логарифмічна модель. Динаміка питомої кількості ТПВ, які спалюються в країнах ЄС, досліджена в статті [15]. Поширеність спалювання ТПВ з утилізацією енергії досліджена в роботі [16]. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами, в результаті аналізу відомих публікацій, нами не виявлено.

Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежностей, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами, як однієї зі складових для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Результати досліджень

В табл. 1 наведено статистичні дані щодо поширеності методів поводження з ТПВ в ЄС в різні роки [9].

Таблиця 1

Статистичні дані щодо поширеності методів поводження з ТПВ в ЄС в різні роки [9]

Рік	Поширеність методів поводження з ТПВ в ЄС, %				
	захоронення	спалювання	переробка	компостування	інше
1995	64,32	14,15	10,92	6,10	4,51
2000	55,67	15,75	16,03	7,58	4,97
2005	42,85	18,85	20,58	11,43	6,29
2010	36,83	22,60	24,63	13,63	2,31
2014	27,37	26,75	27,66	16,09	2,13

На основі даних табл. 1 планувалось отримати математичні моделі у вигляді парних регресійних залежностей поширеності методів поводження з ТПВ в ЄС.

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей з вибором раціонального виду функції з 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Bitmap. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалось методом найменших квадратів [17] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір і детально описана в роботі [18].

Результати регресійного аналізу подані в табл. 2, де сірим кольором позначено комірки з максимальним значенням коефіцієнтів кореляції R .

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних табл. 1, найадекватнішими остаточно вважатимемо такі регресійні моделі:

$$P_{\text{зах.}} = 66,26 - 1,93(t - 1994), \% ; \quad (1)$$

$$P_{\text{спал.}} = \frac{1}{0,07308 - 0,001788(t-1994)}, \quad \% \quad (2)$$

$$P_{\text{пер.}} = 10,48 + 0,8783(t-1994), \quad \% \quad (3)$$

$$P_{\text{комп.}} = 5,116 + 0,5417(t-1994), \quad \% \quad (4)$$

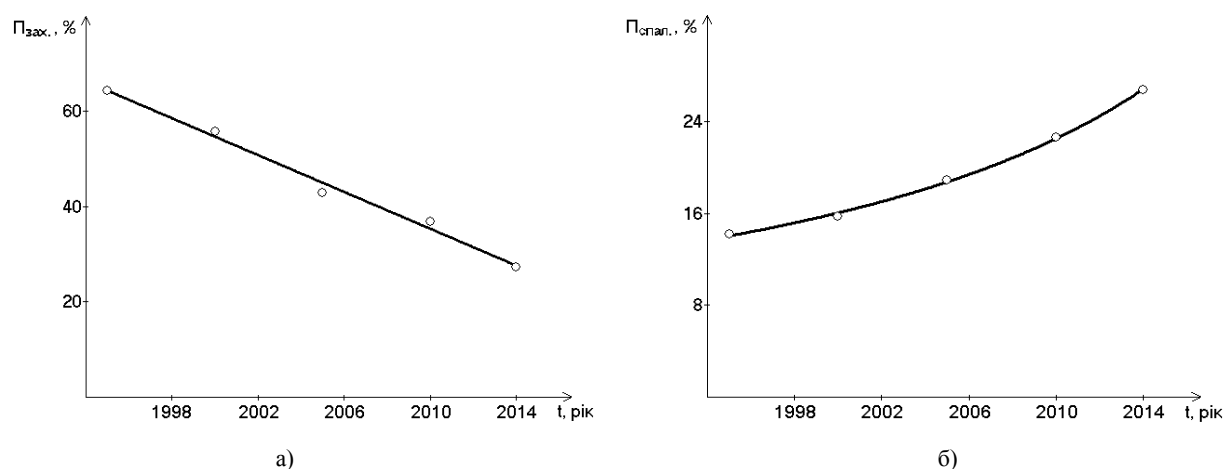
де $P_{\text{зах.}}$, $P_{\text{спал.}}$, $P_{\text{пер.}}$, $P_{\text{комп.}}$ — поширеність захоронення, спалювання, переробки, компостування ТПВ, відповідно, %; t — рік.

Таблиця 2

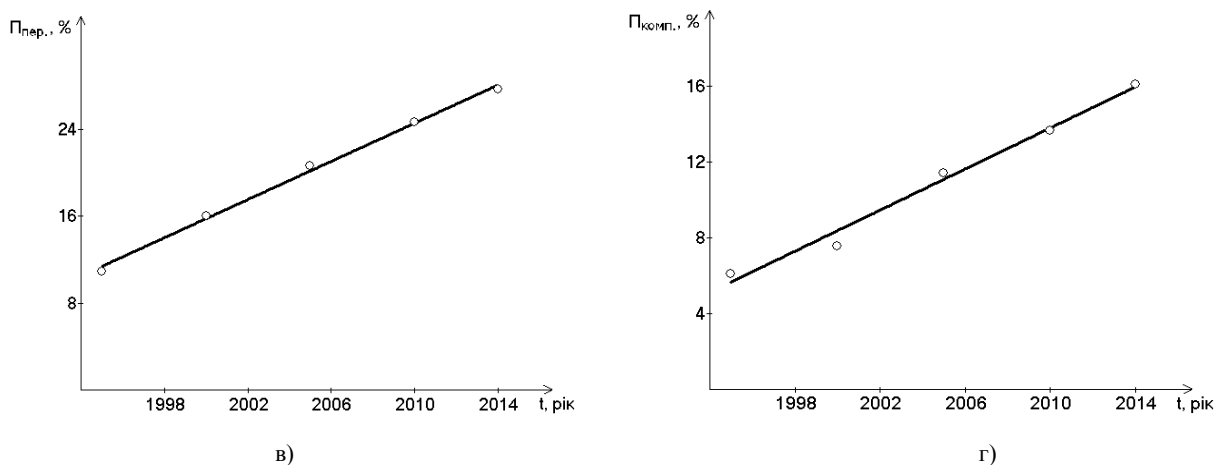
Результати регресійного аналізу динаміки поширеності методів поводження з ТПВ в ЄС

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R			
		$P_{\text{зах}} = f(t-1994)$	$P_{\text{спал}} = f(t-1994)$	$P_{\text{пер}} = f(t-1994)$	$P_{\text{комп}} = f(t-1994)$
1	$y = a + bx$	0,99543	0,98263	0,99826	0,99282
2	$y = 1/(a + bx)$	0,96550	0,99874	0,94889	0,97538
3	$y = a + b/x$	0,78741	0,67353	0,82146	0,73346
4	$y = x/(a + bx)$	0,96875	0,96409	0,97456	0,94024
5	$y = ab^x$	0,98876	0,99435	0,98166	0,98988
6	$y = ae^{bx}$	0,98876	0,99435	0,98166	0,98988
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,98876	0,99435	0,98166	0,98988
8	$y = 1/(a + be^{-x})$	0,58048	0,69860	0,89721	0,78920
9	$y = ax^b$	0,87944	0,88144	0,97991	0,93006
10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,92466	0,84445	0,94588	0,89154
11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,92466	0,84445	0,94588	0,89154
12	$y = a/(b + x)$	0,96550	0,99874	0,94889	0,97538
13	$y = ax/(b + x)$	0,65242	0,76718	0,93824	0,84913
14	$y = ae^{b/x}$	0,72353	0,72154	0,88707	0,79418
15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,72353	0,72154	0,88707	0,79418
16	$y = a + bx^n$	0,95938	0,99741	0,95124	0,97253

На рисунку показано графічні залежності, які описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ. Графіки побудовані за допомогою рівнянь регресії (1)–(4), що підтверджують визначену раніше достатню збіжність отриманих теоретичних залежностей порівняно з даними, наведеними автором роботи [9].



Залежності, що описують фактичну (○) та теоретичну (—) динаміку поширеності методів поводження з ТПВ:
а — захоронення; б — спалювання



Продовження рис. Залежності, що описують фактичну (○) та теоретичну (—) динаміку поширеності методів поводження з ТПВ: в — переробка; г — компостування

Аналіз вищенаведених графічних залежностей показав, що в ЄС протягом 1995—2014 рр. поширеність захоронення ТПВ спадає лінійно, спалювання — зростає гіперболічно, переробки та компостування — зростає лінійно. При цьому найінтенсивніше зростає поширеність спалювання ТПВ. Оскільки Україна підписала угоду про асоціацію з ЄС [14], то тенденції зміни динаміки поширеності методів поводження з ТПВ мали б відповідати європейським тенденціям в напрямку зменшення поширеності захоронення і зростання поширеності спалювання, переробки та компостування.

Використовуючи залежності (1)—(4), можна спрогнозувати таку поширеність методів поводження з ТПВ в ЄС у 2021 році: захоронення — 14,15 %, спалювання — 40,32 %, переробка — 34,19 %, компостування — 19,74 %.

Висновки

1. Визначено регресійні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами та дозволяють прогнозувати поширеність цих методів.
2. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами та дозволяють наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів.
3. Встановлено, що поширеність захоронення твердих побутових відходів спадає лінійно, спалювання — зростає гіперболічно, переробка та компостування — зростає лінійно. При цьому найінтенсивніше зростає поширеність спалювання твердих побутових відходів. Оскільки Україна підписала угоду про асоціацію з ЄС, то тенденції зміни динаміки поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами мали б відповідати європейським тенденціям у напрямку зменшення поширеності захоронення і зростання поширеності спалювання, переробки та компостування.
4. Спрогнозовано таку поширеність методів поводження з твердими побутовими відходами в ЄС у 2021 році: захоронення — 14,15 %, спалювання — 40,32 %, переробка — 34,19 %, компостування — 19,74 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. П. Ковальський, «Передумови активації золи-винесення відходами глиноземного виробництва,» на VIII Міжнародній науково-практичній конференції *Наука і освіта*, 2005, с. 31-32.
- [2] В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський, Н. П. Попович, і М. А. Панасюк, «Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище",» *Науковий вісник НЛТУ України*, Т. 27, № 10, с. 111-116, 2017.
- [3] О. В. Березюк, «Математичне моделювання прогнозування об'ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні,» *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, науково-технічний збірник, № 2 (7), с. 88-91, 2009.
- [4] O. Berezyuk, and V. Savulyak, "Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart," *Technical Sciences*, no. 20 (3), p. 259-273, 2017.
- [5] Кабінет Міністрів України (2004, Берез. 4). *Постанова № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами.»* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
- [6] А. Ю. Масленников, «Характеристика твердых бытовых отходов,» *Отраслевой портал. Вторичное сырье.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.recyclers.ru>.
- [7] Т. А. Орлова, «Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами обращения с отходами,» *Мисробу-*

дування та територіальне планування, наук.-техн. збірник, вип. 25, с. 167-181, 2006.

[8] Верховна Рада України. (2015, Лист. 30). *Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом та його державами-членами, з іншої сторони*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984_011/page.

[9] Н. Ю. Павлюк, «Перспективи використання ТПВ для генерації теплової енергії в Україні», на *XXVI Міжнародній конференції «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики»*, 20-24 вересня 2016 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://engecology.com/wp-content/uploads/2015/08/19-pavljuk_tpv-v-teplo_odesa_2016.pdf.

[10] О. В. Березюк, «Визначення параметрів впливу на шляхи поведінки з твердими побутовими відходами,» *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, науково-технічний збірник, № 2(10), с. 64-66, 2011.

[11] О. В. Березюк, і Л. Л. Березюк, «Моделювання поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 33-38, 2016.

[12] О. В. Березюк, «Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 65-68, 2014.

[13] О. В. Березюк, і М. С. Лемешев, «Регресія кількості сміттєспалювальних заводів,» *Сборник научных трудов SWorld*, вып. 1 (38), том 2, с. 63-66, 2015.

[14] R. N. Shpakova, "Study of the Dependency Between the Gross Regional Product and the Production and Consumer Waste Generation Levels," in *Solovev D. (eds) Smart Technologies and Innovations in Design for Control of Technological Processes and Objects: Economy and Production. FarEastCon 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 139, pp. 34-41, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18553-4_5.

[15] О. В. Березюк, «Динаміка питомої кількості твердих побутових відходів, що спалюються в країнах ЄС,» на *науковому симпозиумі «Перспективні досягнення сучасних вчених»*, 19-20 вересня 2017 р., 5 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sworld.education/index.php/ru/c217-1/29390-%D1%81217-019>.

[16] О. В. Березюк, і М. С. Лемешев, «Поширеність спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії,» *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, науково-технічний збірник, № 2 (23), с. 128-132, 2017.

[17] І. В. Хом'юк, В. В. Хом'юк, і В. О. Краєвський, *Теорія ймовірностей та математична статистика*, навчальний посібник, Вінниця: ВНТУ, 2009, 189 с.

[18] О. В. Березюк, «Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz",» *Автоматизированные технологии и производства*, № 2 (8), с. 43-45, 2015.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 19.02.2020

Березюк Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, e-mail: berezyukoleg@i.ua ;

Краєвський Володимир Олександрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри вищої математики; Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Березюк Людмила Леонідівна — старший лаборант кафедри географії; Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, Вінниця

O. V. Bereziuk¹
V. O. Kraievskiy¹
L. L. Bereziuk²

Dynamics of the Prevalence of Municipal Solid Waste Management Methods in the EU

¹Vinnitsia National Technical University;

²Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University

Determining regression dependencies that describe the dynamics of the prevalence of methods for handling municipal solid waste is an urgent scientific and technical task, as one of the components for solving the problem of creating a scientific and technical basis for designing highly efficient working bodies of machines for cleaning and primary processing of municipal solid waste. The purpose of the study is to determine the regression dependencies that describe the dynamics of the prevalence of methods for handling municipal solid waste. Among the main methods of handling municipal solid waste, the following were considered: landfill, incineration, recycling, and composting. During the study, the method of regression analysis of the results of one-factor experiments and other paired dependencies was used with the choice of the best type of function from the 16 most common options according to the criterion of the maximum correlation coefficient. The regression was performed on the basis of linearizing transformations that allow reducing the nonlinear dependence to a linear one. The

coefficients of the regression equations were determined using the least squares method using the developed computer program "Reganaliz", which is protected by a certificate of registration of the copyright to the work. Adequate regression dependencies were obtained that describe the dynamics of General methods of handling municipal solid waste and allow predicting the prevalence of such methods of waste management as landfill, incineration, recycling, and composting. Graphical dependencies describing the dynamics of the prevalence of municipal solid waste management methods are constructed and allow us to clearly illustrate this dynamics and show sufficient convergence of theoretical and actual results. It was found that the prevalence of disposal of municipal solid waste decreases linearly, incineration-increases hyperbolically, processing and composting-increases linearly. At the same time, the prevalence of municipal solid waste incineration increases most intensively. It is predicted that the prevalence of solid waste management methods will increase in the EU in 2021: landfill — 14,15 %, incineration — 40,32 %, recycling — 34,19 %, composting — 19,74 %.

Keywords: dynamics, prevalence, treatment methods, municipal solid waste, regression analysis.

Bereziuk Oleh V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Security of Life and Pedagogic of Security, e-mail: berezyukoleg@i.ua ;

Kraievskiy Volodymyr O. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Higher Mathematics;

Bereziuk Liudmyla L. — Senior Laboratory Assistant of the Chair of Geography

О. В. Березюк¹
В. А. Краевский¹
Л. Л. Березюк²

Динамика распространности методов обращения с твердыми бытовыми отходами в ЕС

¹Вінницький національний технічний університет;

²Вінницький державний педагогічний університет ім. Михайла Коцюбинського

Определение регрессионных зависимостей, описывающих динамику распространности методов обращения с твердыми бытовыми отходами, является актуальной научно-технической задачей как одной из составляющих для решения проблемы создания научно-технических основ проектирование высокоэффективных рабочих органов машин для сбора и предварительной переработки твердых бытовых отходов. Целью исследования является определение регрессионных зависимостей, описывающих динамику распространности методов обращения с твердыми бытовыми отходами. Среди основных методов обращения с твердыми бытовыми отходами рассматривались такие: захоронение, сжигание, переработка, компостирование. При исследовании использован метод регрессионного анализа результатов однофакторных экспериментов и других парных зависимостей с выбором рационального вида функции из 16 наиболее распространенных вариантов по критерию максимального коэффициента корреляции. Регрессия проводилась на основе линеаризирующих преобразований, позволяющих свести нелинейную зависимость к линейной. Определение коэффициентов уравнений регрессии осуществлялось методом наименьших квадратов с помощью разработанной компьютерной программы "RegAnaliz", защищенной свидетельством о регистрации авторского права на произведение. Получены адекватные регрессионные зависимости, описывающие динамику распространности методов обращения с твердыми бытовыми отходами и позволяющие прогнозировать распространность таких методов обращения с отходами как захоронение, сжигание, переработка, компостирование. Построены графические зависимости, описывающие динамику распространности методов обращения с твердыми бытовыми отходами и разрешающие наглядно проиллюстрировать эту динамику и показать достаточную сходимость теоретических и фактических результатов. Установлено, что распространность захоронения твердых бытовых отходов спадает линейно, сжигание — возрастает гиперболически, переработки и компостирование — возрастает линейно. При этом наиболее интенсивно возрастает распространность сжигания твердых бытовых отходов. Спрогнозировано такую распространность методов обращения с ТПВ в ЕС в 2021 году: захоронение — 14,15 %, сжигание — 40,32 %, переработка — 34,19 %, компостирование — 19,74 %.

Ключевые слова: динамика, распространность, методы обращения, твердые бытовые отходы, регрессионный анализ.

Березюк Олег Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и педагогики безопасности, e-mail: berezyukoleg@i.ua ;

Краевский Владимир Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры высшей математики;

Березюк Людмила Леонидовна — старший лаборант кафедры географии