

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 628.472.3; 628.4.08

DOI 10.31649/2311-1429-2024-1-34-40

О. В. Березюк  
М. С. Лемешев  
П. С. Боднар

## ДИНАМІКА ПОШИРЕНOSTІ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ В КРАЇНАХ ЄС

Вінницький національний технічний університет

Внаслідок своєї однорідності будівельні відходи можуть бути повторно використані у будівельній галузі під час одержання таких цінних будівельних матеріалів: наповнювач та в'язуче для виробництва бетонів, сухих будівельних сумішей та інших будівельних матеріалів, для виробництва будівельних матеріалів із захисними властивостями від електромагнітних випромінювань та статичної електрики, для виготовлення анодних заземлювачів тощо. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що описує динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором більш раціонального виду функції із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнту кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії здійснювалось методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватну регресійну залежність, що описує динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС та дозволяє наглядно проілюструвати дану динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів. Встановлено, що у країнах ЄС протягом 2004-2020 рр. поширеність повторного використання будівельних відходів зростала за степеневою залежністю. Спрогнозовано, що за існуючих темпів зростання поширеність повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС в 2030 році складатиме 13,9 %.

**Ключові слова:** динаміка, поширеність, повторне використання, будівельні відходи, тверді промислові відходи, регресійний аналіз.

### Вступ

Поряд із проблемою твердих побутових відходів [1-11] важливою є проблема твердих промислових відходів, обсяг яких в Україні за даними Міністерства охорони навколишнього середовища складає 175 млн. м<sup>3</sup> в рік. Твердими промисловими відходами вважаються непридатні для виробництва певної продукції види сировини, її залишки, які не вживаються, або речовини, що виникають в результаті технологічних процесів, які не підлягають утилізації у даному виробництві. Вказана група складає 90% об'єму твердих промислових відходів, тому вони є одним із основних джерел антропогенного забруднення навколишнього природного середовища в глобальному масштабі. Тверді промислові відходи виникають як невідворотний результат споживчого відношення і неприйнятно низького коефіцієнта використання ресурсів. Наприклад, у колишньому СРСР кольорова металургія видобувала близько 2 млрд. т гірських порід на рік, а товарна продукція із них складала лише близько 1 %. В Україні у відходи потрапляють майже 80-85 % або 20-30 млрд. т переробленої сировини із щорічним її приростом в межах до 2 млрд. т у гірничодобувній, металургійній, хімічній та паливно-енергетичній галузях. З цього обсягу понад 200 млн. т складають токсичні та інші небезпечні відходи. Приріст площ, зайнятих відходами, складає 50 тис. га [12] в рік. Поруч із тим тверді промислові відходи можуть бути широко застосовані у будівництві [13-19] для одержання таких цінних матеріалів: як наповнювач [20] та в'язуче [21-23] для виробництва бетонів, сухих будівельних сумішей та інших будівельних матеріалів [24, 25], для виробництва будівельних матеріалів із захисними властивостями від електромагнітних випромінювань [26, 27] та статичної електрики [28], для виготовлення анодних заземлювачів [29]. Таку можливість використання можна пояснити тим, що багато мінеральних та органічних відходів за своїм хімічним складом та технічними властивостями близькі до природної сировини. Перспективним є також використання дрібнодисперсних відходів металообробки для мінімізації об'ємів іммобілізованих рідких радіоактивних відходів [30]. Світова практика свідчить, що взагалі близько 90 % відходів будівництва і знесення підлягають переробці та повторному використанню. Тому повторне використання та переробка відходів будівництва та знесення для України займає чільне місце поміж пріоритетних задач Національної стратегії поводження з відходами [31], а визначення регресійної залежності, що описує динаміку поширеності повторного використання

будівельних відходів в країнах ЄС для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами є актуальною науково-технічною задачею.

*Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що описує динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами.*

### **Актуальність та аналіз останніх досліджень і публікацій**

Шламосолокарбонатний прес-бетон, який складається з відходів каменерізання карбонатних порід, золи-виносу Ладижинської ТЕС, червоного шламу Миколаївського глиноземного заводу з добавкою портландцементу запропоновано у роботі [20], а в статті [32] досліджено вплив параметрів підприємств теплоенергетики на частку в продукованих золошлакових відходах  $Al_2O_3$  як добавки при виробництві будматеріалів. Встановлено, що серед досліджуваних факторів, найбільше частка  $Al_2O_3$  в продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики залежить від нижчої теплоти згоряння палива, а найменше – від потужності підприємства теплоенергетики. Отримано адекватну багатofакторну квадратичну математичну модель прогнозування частки  $Al_2O_3$  в продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики, яка може бути використана під час розробки стратегії повторного використання промислових відходів при виробництві будматеріалів.

У роботі [21] показано, що отримання фосфогіпсозолоцементних та металофосфатних в'язучих на основі відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв дозволяють вирішити актуальну для України проблему енерго- та ресурсозбереження за допомогою створення нових будівельних матеріалів поліфункціонального призначення.

Проведене дослідження, описане в статті [22], дозволило отримати металозолофосфатне в'язуче на основі відходів промисловості.

У статті [23] авторами виявлено, що основним шляхом утилізації червоного шламу при виробництві будівельних матеріалів є його використання як модифікуючої добавки до зоцементного в'язучого.

Техніко-економічна доцільність більш широкого використання відходів ТЕС при виробництві цементу та інших будівельних матеріалів показана в роботі [24].

У матеріалах статті [25] зазначено, що отримання бетонного щебеню, дрібнозернистих відсівів та їхнє повторне використання є заключною стадією замкненого циклу переробки бетонних і залізобетонних відходів – «зношення – вивезення – переробка – реалізація».

В роботі [26] виявлено, що застосування бетел-м (бетон електропровідний металонасичений, який використовується спеціального покриття біологічного захисту від іонізуючих випромінювань всередині приміщень будівель і споруд) комірчастої, варіотропної та щільної структури дає можливість знизити рівень електромагнітних випромінювань і тим самим знизити небезпеку випромінювань. У статті [27] обґрунтована доцільність застосування дрібнодисперсних порошоків шламів сталі ШХ-15 під час виготовлення спеціального захисного покриття від електромагнітних випромінювань.

В матеріалах роботи [28] запропоновано використовувати для боротьби з зарядами статичної електрики покриття із електропровідного бетону, технологія виготовлення якого досить проста і не потребує дорогих матеріалів і спеціального устаткування.

Автори статті [29] зазначають, що бетел-м може використовуватись для виготовлення електропровідних елементів (анодних заземлювачів) систем антикорозійного катодного захисту підземних інженерних мереж. В матеріалах статті [30] обґрунтована доцільність проведення робіт з розробки нового виду матричних матеріалів на основі бетелу-м для іммобілізації рідких токсичних відходів.

В матеріалах роботи [33] зокрема наведено статистичні дані щодо обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві в різні роки, на основі яких у статті [34] визначено степеневу регресійну залежність, що описує продукування маси відходів будівництва і знесення у м. Києві та дозволяє прогнозувати масу утворення цих відходів.

В роботі [35] зокрема наведено статистичні дані щодо поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС в різні роки. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС, в результаті аналізу відомих публікацій, авторами не виявлено.

### **Аналіз результатів дослідження**

В табл. 1 наведено статистичні дані щодо поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС в різні роки [35]. Зростання обсягів продукування відходів будівництва і знесення у ЄС в 2004-2020 роках пояснюється збільшенням обсягів будівельного виробництва у цих країнах.

На основі даних табл. 1 планувалось отримати математичну модель у вигляді парної регресійної залежності поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС. Оскільки аргументом регресійної залежності є рік, порядок значень якого на три порядки перевищує порядок ширини діапазону його зміни, то з метою підвищення точності регресійної залежності пропонується за початок координат прийняти рік, який передує початку досліджуваного діапазону ( $x = t - 2003$ ).

Таблиця 1

Статистичні дані щодо поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС в різні роки [35]

Рік	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Поширеність повторного використання будівельних відходів, %	8,3	8,8	9,1	8,9	9,2	10,5	10,8	10,3	11,1
Рік	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Поширеність повторного використання будівельних відходів, %	11,3	11,2	11,3	11,5	11,5	11,7	12	12,8	

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 із вибором більш раціонального виду функції із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Vitmar. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [36] і детально описана в роботі [37].

Результати регресійного аналізу наведені в табл. 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції  $R$ .

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних табл. 1, як найбільш адекватну, остаточно прийнято таку регресійну модель

$$P_{ПВБВ} = 7,204 + 1,003(t - 2003)^{0,5767} [\%], \quad (1)$$

де  $P_{ПВБВ}$  – поширеність повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС, %;  
 $t$  – рік.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,95677	9	$y = ax^b$	0,94985
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,93922	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,94032
3	$y = a + b / x$	0,77220	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,94032
4	$y = x / (a + bx)$	0,99532	12	$y = a / (b + x)$	0,93922
5	$y = ab^x$	0,94924	13	$y = ax / (b + x)$	0,81730
6	$y = ae^{bx}$	0,94924	14	$y = ae^{b/x}$	0,79550
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,94924	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,79550
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,68460	16	$y = a + bx^n$	0,96638

На рис. 1 показано графічну залежність, що описує динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС, побудовану за допомогою рівняння регресії (1), що підтверджує визначену раніше достатню збіжність отриманих теоретичної залежності порівняно із даними, наведеними в роботі [35].

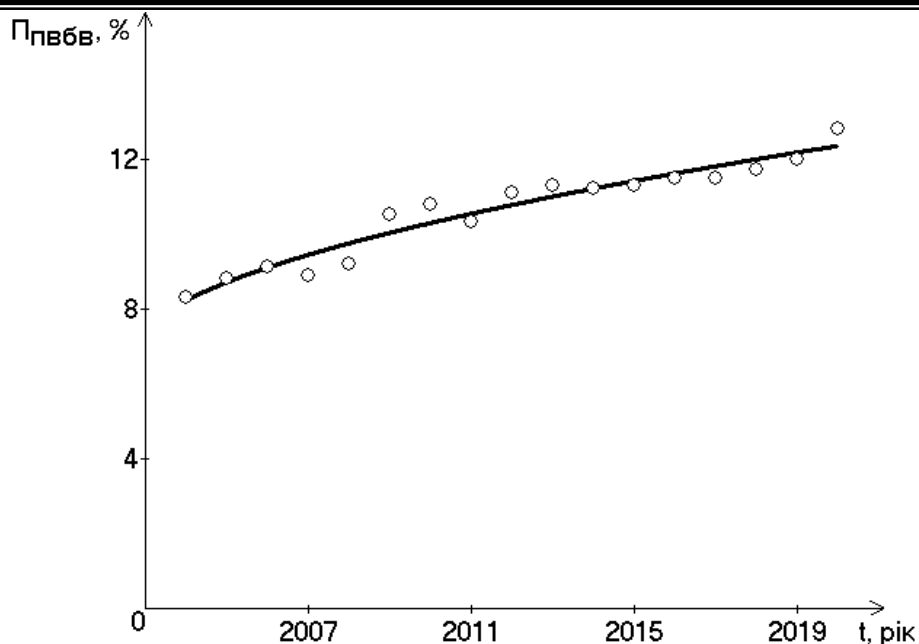


Рисунок 1 – Залежність, що описує фактичну (o) та теоретичну (—) динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС

Аналіз графічної залежності на рис. 1 показав, що у країнах ЄС протягом 2004-2020 рр. поширеність повторного використання будівельних відходів зростала за степеневу залежністю.

Використовуючи залежність (1) можна спрогнозувати, що за існуючих темпів зростання поширеність повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС в 2030 році складатиме

$$P_{ПВБВ} = 7,204 + 1,003(t - 2003)^{0,5767} = 7,204 + 1,003(2030 - 2003)^{0,5767} = 13,9 (\%).$$

### Висновки

1. Визначено регресійну залежність, що описує поширеність повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС та дозволяє прогнозувати таку поширеність, що необхідно для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами.

2. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку поширеності повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС та дозволяє наглядно проілюструвати дану динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів.

3. Встановлено, що у країнах ЄС протягом 2004-2020 рр. поширеність повторного використання будівельних відходів зростала за степеневу залежністю.

4. Спрогнозовано, що за існуючих темпів зростання поширеність повторного використання будівельних відходів в країнах ЄС в 2030 році складатиме 13,9 %.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wójcik, W., Bereziuk, O. V., Lemeshev, M. S., Bohachuk, V., Polishchuk, L., Bezsmertna, O., Smailova, S., and Kurmagazhanova, S. "Metrological Aspects of Controlling the Rotational Movement Parameters of the Auger for Dewatering Solid Waste in a Garbage Truck." *International Journal of Electronics and Telecommunications* 69 (2) (2023): 233-238. <https://doi.org/10.24425/ijet.2023.144355>
2. Попович, В. В., Придатко, О. В., Сичевський, М. І., Попович, Н. П., та Панасюк, М. А. "Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище".*" Науковий вісник НЛТУ України* 27 (10) (2017): 111-116.
3. Сагдеева, О. А., Крусір, Г. В., та Цикало, А. Л. "Дослідження впливу температурного режиму на перебіг процесів компостування органічного компонента твердих муніципальних відходів." *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. СЗ Гжицького. Серія: Харчові технології* 20 (85) (2018) 155-161.
4. Alieva, M. et al. "Conceptual options for the development and improvement of medical science and psychology." *International Science Group* (2023): 117.
5. Khrebtii, H. et al. "Innovative ways of improving medicine, psychology and biology." *Primedia eLaunch* (2023): 305.
6. Березюк, О. В. "Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp".*" Вісник Вінницького політехнічного інституту* 6 (2016): 23-28.
7. Bereziuk, O., Petrov, O., Lemeshev, M., Slabkyi, A., and Sukhorukov, S. "Transient Processes Quality Indicators of the Rotation Lever Hydraulic Drive for the Dust-Cart Manipulator." *Advances in Design, Simulation, Manufacturing VI: Proceedings of the 6th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2023, June 6-9, 2023,*

- High Tatra, Slovak Republic. *Lecture Notes in Mechanical Engineering* 2 (2023): 3-12. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_1)
8. Wójcik, W. et al. "Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics and Control." Taylor & Francis Group. London, New York. (2021): 306.
  9. Boiko, T. et al. "Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems." *International Science Group* 3 (2021): 485.
  10. Wójcik, W. et al. "Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals." Routledge (2021): 240.
  11. Hnes, L., Kunytskyi, S., and Medvid, S. "Theoretical aspects of modern engineering." *International Science Group* (2020): 356.
  12. Коц, І. В., та Березюк, О. В. "Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів." *Вісник Вінницького політехнічного інституту* 5 (2006): 146-149.
  13. Kornylo, I., and Gnyr, O. "Scientific foundations in research in Engineering." *Primedia eLaunch* (2022): 709.
  14. Kazachiner, O., and Boychuk, Y. "Theoretical and scientific foundations of pedagogy and education." *International Science Group* (2022): 476.
  15. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and A. Cherepakha. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." *Theoretical aspects of modern engineering*: 58-65. (2020).
  16. Azarenkov, V. et al. "Modern teaching methods in pedagogy and philology." *Primedia eLaunch* (2023): 580.
  17. Hladyshev, D., and Hnat, H. "Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture." *International Science Group* (2023): 464.
  18. Kazachiner, O., Boychuk, Y., and Halii, A. "Theoretical foundations of pedagogy and education." etc. *International Science Group* (2022): 602.
  19. Hladyshev, D., Brodskiy, M., and Lisnykh, L. "Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions." *International Science Group* (2023): 461.
  20. Ковальський, В. П., та Бондарь, А. В. "Шламосолокарбонатий прес-бетон на основі відходів промисловості." XXIV міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я". Харків, 209. (2015).
  21. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/ Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc– *International Science Group*." Boston: *Primedia eLaunch* 528 (2020).
  22. Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." *Scientific foundations in research in Engineering*. 1.2: 25–32. (2022).
  23. Ковальський, В. П., Очеретний, В. П., Лемешев, М. С., та Бондар, А. В. "Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей." *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* 26 (2013): 186-193.
  24. Ковальський, В. П., та Сідляк, О. С. "Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах." *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві* 16 (2014): 35-40.
  25. Beresjuk, O., et al. *Theoretical and scientific foundations in research in Engineering*. Vol. 1. *International Science Group*, 2022.
  26. Lemeshev, M., and D. Cherepakha. "Perspective uses of industrial waste in the production of building materials." *Scientific foundations of modern engineering*. 9.2: 205– 210. (2019).
  27. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
  28. Lemeshev, M., O. Khrystych, and D. Cherepakha. "Perspective direction of recycling of industrial waste in the technology of production of building materials." (2020).
  29. Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." *Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions*: 51–59. (2023).
  30. Khrystych, Olexander. "Technological parameters of the radiationresistant concrete production." *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University* 1 (2020).
  31. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." *International Science Group*. – Boston : *Primedia eLaunch*, 616 p. (2021).
  32. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and D. Cherepakha. "Features of studying the disciplines of the cycle of safety of life activity by future specialists-builders." *Theoretical and scientific foundations of pedagogy and education: collective monograph*. 5.2: 169–176. (2022).
  33. Lemeshev, M., et al. "Use of industrial waste in the construction industry." *Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture*: 19–25. (2023).
  34. Bereziuk, O., D. Cherepakha. "Forecasting the volume of construction waste." (2021)
  35. Михайленко, О. Г., Тіщенко, О. А., та Красніков, П. Д. "Теорія та практика побудови циркулярної економіки в країнах європейського союзу." *Ефективна економіка* 1 (2022): URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9914>. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.1.71>
  36. Березюк, О. В. "Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz")." Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. К.: Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 03.06.2013.
  37. Березюк, О. В. "Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz"." *Вісник Вінницького політехнічного інституту* 1 (2014): 40-45.

## REFERENCES

1. Wójcik, W., Bereziuk, O. V., Lemeshev, M. S., Bohachuk, V., Polishchuk, L., Bezmertna, O., Smailova, S., and Kurmagazhanova, S. "Metrological Aspects of Controlling the Rotational Movement Parameters of the Auger for Dewatering Solid Waste in a Garbage Truck." *International Journal of Electronics and Telecommunications* 69 (2) (2023): 233-238. <https://doi.org/10.24425/ijet.2023.144355>
2. Popovych, V. V., Prydatko, O. V., Sychevskiy, M. I., Popovych, N. P., та Panasiuk, M. A. "Efektyvnist ekspluatatsii smittievoziv u seredovyshchi "misto-smittiezvalyshche"." *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* 27 (10) (2017): 111-116.
3. Sahdieieva, O. A., Krusir, H. V., та Tsykalo, A. L. "Doslidzhennia vplyvu temperaturnoho rezhymu na perebih protsesiv kompostuvannia orhanichnogo komponentu tverdykh munitsypalnykh vidkhodiv." *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnogo universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii im. SZ Ghzytskoho. Serii: Kharchovi tekhnologii* 20 (85) (2018) 155-161.
4. Alieva, M. et al. "Conceptual options for the development and improvement of medical science and psychology." *International Science Group* (2023): 117.

5. Khrebtii, H. et al. "Innovative ways of improving medicine, psychology and biology." *Primedia eLaunch* (2023): 305.
6. Березюк, О. В. "Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp".*" Вісник Вінницького політехнічного інституту 6* (2016): 23-28.
7. Bereziuk, O., Petrov, O., Lemeshev, M., Slabkyi, A., and Sukhorukov, S. "Transient Processes Quality Indicators of the Rotation Lever Hydraulic Drive for the Dust-Cart Manipulator." *Advances in Design, Simulation, Manufacturing VI: Proceedings of the 6th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2023, June 6-9, 2023, High Tatras, Slovak Republic. Lecture Notes in Mechanical Engineering 2* (2023): 3-12. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_1)
8. Wójcik, W. et al. "Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics and Control." Taylor & Francis Group. London, New York. (2021): 306.
9. Boiko, T. et al. "Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems." *International Science Group 3* (2021): 485.
10. Wójcik, W. et al. "Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals." Routledge (2021): 240.
11. Hnes, L., Kunytskyi, S., and Medvid, S. "Theoretical aspects of modern engineering." *International Science Group* (2020): 356.
12. Kots, I. V., та Bereziuk, O. V. "Vibratsiinyi hidropnyvod dlia presuvannia promyslovykh vidkhodiv." *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu 5* (2006): 146-149.
13. Kornylo, I., and Gnyp, O. "Scientific foundations in research in Engineering." *Primedia eLaunch* (2022): 709.
14. Kazachiner, O., and Boychuk, Y. "Theoretical and scientific foundations of pedagogy and education." *International Science Group* (2022): 476.
15. Савицький, М. та ін. "Педагогічні студії з підготовки будівельно-архітектурних фахівців: дидактичний та виховний аспекти." Дніпро: ПДАБА (2022): 483.
16. Azarenkov, V. et al. "Modern teaching methods in pedagogy and philology." *Primedia eLaunch* (2023): 580.
17. Hladyshev, D., and Hnat, H. "Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture." *International Science Group* (2023): 464.
18. Kazachiner, O., Boychuk, Y., and Halii, A. "Theoretical foundations of pedagogy and education." etc. *International Science Group* (2022): 602.
19. Hladyshev, D., Brodskyi, M., and Lisnykh, L. "Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions." *International Science Group* (2023): 461.
20. Kovalskyi, V. P., та Bondar, A. V. "Shlamozolokarbonaty pres-beton na osnovi vidkhodiv promyslovosti." *XKhIV mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Informatsiini tekhnolohii : nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia"*. Kharkiv, 209. (2015).
21. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc–*International Science Group*." Boston: *Primedia eLaunch* 528 (2020).
22. Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." *Scientific foundations in research in Engineering. 1.2: 25–32.* (2022).
23. Kovalskyi, V. P., Ocheretnyi, V. P., Lemeshev, M. S., та Bondar, A. V. "Obgruntuvannia dotsilnosti vykorystannia zoloshlamovoho viazhuchoho dlia pryhotovannia sukhykh budivelnnykh sumishei." *Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budiv-li ta sporudy 26* (2013): 186-193.
24. Kovalskyi, V. P., та Sidlak, O. S. "Vykorystannia zoly vynosu TES u budivelnnykh materialakh." *Suchasni tekhnolo-hii, materialy i konstruktzii u budivnytstvi 16* (2014): 35-40.
25. Beresjuk, O., et al. *Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. Vol. 1.* *International Science Group*, 2022.
26. Lemeshev, M., and D. Cherepakha. "Perspective uses of industrial waste in the production of building materials." *Scientific foundations of modern engineering. 9.2: 205– 210.* (2019).
27. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
28. Lemeshev, M., O. Khrystych, and D. Cherepakha. "Perspective direction of recycling of industrial waste in the technology of production of building materials." (2020).
29. Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." *Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: 51–59.* (2023).
30. Khrystych, Olexander. "Technological parameters of the radiationresistant concrete production." *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University 1* (2020).
31. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." *International Science Group.* – Boston : *Primedia eLaunch*, 616 p. (2021).
32. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and D. Cherepakha. "Features of studying the disciplines of the cycle of safety of life activity by future specialists-builders." *Theoretical and scientific foundations of pedagogy and education: collective monograph. 5.2: 169–176.* (2022).
33. Lemeshev, M., et al. "Use of industrial waste in the construction industry." *Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: 19–25.* (2023).
34. Bereziuk, O., D. Cherepakha. "Forecasting the volume of construction waste." (2021)
35. Mykhailenko, O. H., Tishchenko, O. A., та Krasnikov, P. D. "Teoriia ta praktyka pobudovy tsyrkularnoi ekonomiky v krainakh yevropeiskoho soiuzu." *Efektivna ekonomika 1* (2022): URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9914>. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.1.71>
36. Bereziuk, O. V. "Kompiuterna prohrama "Rehresiinyi analiz" ("RegAnaliz")." *Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 49486. K.: Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Data reiestratsii: 03.06.2013.*
37. Bereziuk, O. V. "Vstanovlennia rehresii parametriv zakhoronennia vidkhodiv ta potreby v ushchilniuvannykh mashynakh na osnovi kompiuternoї prohramy "RegAnaliz".*" Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu 1* (2014): 40-45.

**Березюк Олег Володимирович** – докт. техн. наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, тел.: 59-82-52, e-mail: berezyukoleg@i.ua, ORCID: 0000-0002-2747-2978

**Лемешев Михайло Степанович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: mlemeshev@i.ua, ORCID: 0000-0002-6083-0378

**Боднар Павло Степанович** – канд. техн. наук, директор, ТОВ «БМ-БУД», м Вишневе.

## PREVALENCE DYNAMICS OF CONSTRUCTION WASTE RECYCLING IN EU COUNTRIES

Vinnitsia National Technical University

*Due to its homogeneity, construction waste can be reused in the construction industry during the production of such valuable construction materials: filler and binder for the production of concrete, dry construction mixes and other construction materials, for the production of construction materials with protective properties against electromagnetic radiation and static electricity -ky, for the manufacture of anode earthing devices, etc. Therefore, the determination of the regression dependence describing the dynamics of the prevalence of reuse of construction waste in the EU countries to solve the problem of solid industrial waste management is an urgent scientific and technical task. The purpose of the study is to determine by means of a regression analysis of dependence, which describes the dynamics of the prevalence of reuse of construction waste in the EU countries to solve the problem of solid industrial waste management. During the study, the method of regression analysis of the results of one-factor experiments and other pairwise dependencies was used with the selection of a more rational type of function from the 16 most common options according to the criterion of the maximum correlation coefficient. The regression was carried out on the basis of linearization transformations, which allow reducing a non-linear dependence to a linear one. The coefficients of the regression equation were determined by the method of least squares using the developed computer program "RegAnalyz", which is protected by a certificate of copyright registration for the work. An adequate regression dependence was obtained, which describes the dynamics of the prevalence of reuse of construction waste in the EU countries. A graphic dependence has been built that describes the dynamics of the prevalence of reuse of construction waste in the EU countries and allows to visually illustrate this dynamic, to show a sufficient convergence of theoretical and actual results. It was established that in the EU countries during 2004-2020, the prevalence of reuse of construction waste grew exponentially. It is predicted that at the current growth rates, the prevalence of reuse of construction waste in EU countries in 2030 will be 13.9%.*

**Keywords:** dynamics, waste production, construction and demolition waste, industrial solid waste, regression analysis.

**Bereziuk Oleg V.** – Doct. Sc. (Eng.), Associated Professor, Professor of the Department Security of Life and Pedagogic of Security, e-mail: berezyukoleg@i.ua, ORCID: 0000-0002-2747-2978

**Lemeshev Mykhailo S.** – Cand. Sc. (Eng.), Associated Professor, Associated Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, e-mail: mlemeshev@i.ua, ORCID:0000-0002-6083-0378

**Bodnar Pavlo** – PhD in Engineering, Director, BM-BUD LLC, Vyshneve.