

FORECASTING THE VOLUME OF CONSTRUCTION WASTE

Bereziuk Oleg¹, Lemeshev Mykhailo², Cherepakha Dmytro²

¹Department Security of Life and Pedagogic of Security, Vinnytsia National Technical University

²Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University

Along with the problem of municipal solid waste [1-9], the problem of construction waste is important, the annual volume of which in Ukraine according to the Ministry of Environment is almost 1 million tons. The annual increase in the area occupied by waste is 50 thousand hectares [10] . Construction waste can be widely used in construction to obtain such valuable materials as filler [11] and binder [12-14] for the production of concrete, dry mixes and other building materials [15, 16], for the production of building materials from protective properties against electromagnetic radiation [17, 18] and static electricity [19], for the manufacture of anode grounding [20]. Many mineral and organic wastes in their chemical composition and technical properties are close to natural raw materials. Also promising is the use of fine metal waste to minimize the volume of immobilized liquid radioactive waste [21]. In world practice, about 90% of construction waste is recyclable and reusable. Therefore, forecasting the volume of construction waste in different countries from the main parameters of influence in order to develop a strategy for construction waste management is an urgent scientific and technical task.

The sludge-ash-carbonate press concrete proposed in [11] consists of waste stone-cutting of carbonate rocks, ash-removal of Ladyzhyn TPP, red sludge of the Mykolayiv Alumina Plant with the addition of Portland cement. In [12] it is shown that the creation of new building materials for multifunctional purposes allows to solve the problem of energy and resource saving relevant for Ukraine. The main way to dispose of red sludge in the production of building materials is its use as a modifying additive to gold-cement binder [13]. In [14], a metal-ash-phosphate binder based on industrial waste was proposed. The technical and economic feasibility of wider use of thermal power plant waste in the production of cement and other

building materials is shown in [15]. The article [16] shows that the production of concrete gravel, fine-grained screenings and their reuse is the final stage of a closed cycle of processing of concrete and reinforced concrete waste – "wear – export – processing – sale". The use of betel-m (electrically conductive metal-saturated concrete, which uses a special coating of biological protection against ionizing radiation inside buildings and structures) cellular, variotropic and dense structure allows to reduce the level of electromagnetic radiation and thus reduce the risk of radiation [17]. The expediency of using fine powders of SHH-15 steel sludge for the manufacture of a special protective coating against electromagnetic radiation is substantiated in the article [18]. In [19] it is proposed to use a coating of electrically conductive concrete to combat static electricity charges, the manufacturing technology of which is quite simple and does not require expensive materials and special equipment. Betel-m can be used for the manufacture of electrically conductive elements (anode grounding) of anti-corrosion cathodic protection systems of underground engineering networks [20]. The use of metal-saturated concrete as an antistatic coating is proposed in the article [21]. In [22], statistical data on the volume of construction waste production in different countries are presented. The article [23] defines the regression dependence, which describes the dynamics of the generation of construction and demolition waste in Vinnytsia region and allows to predict the mass of this waste. However, the authors did not identify specific mathematical dependences of the volume of construction waste production in different countries of the world on the main parameters of influence, as a result of the analysis of known publications.

Among the parameters on which the volume of construction waste in different countries depends, the following were considered: population density, gross domestic product (GDP) per capita, human development index, average latitude of the country, the values of which are given in table. 1. In contrast to absolute parameters, relative ones allow comparing countries with different levels of economic development and human potential, population, area and climatic conditions.

Table 1. Volumes of construction waste production in different countries of the world [22]

Country	Mass of construction waste per capita, kg/person	Influencing factors			
		Population density, persons/km ²	GDP per capita, thousand \$/person	Human Development Index	Average latitude, ° nrd. 1.
USA	374.771	31	46.954	0.95	36.94
Great Britain	450.113	247	46.432	0.942	55.38
Korea	311.688	480	20.582	0.928	38.06
Italy	331.345	199.4	39.565	0.945	41.28
Spain	276.949	79.7	35.557	0.949	39.5
Netherlands	636.574	394	51.657	0.958	52.15
Canada	266.028	3.27	34.273	0.967	62.39
Belgium	610.82	318	29.814	0.948	50.83
Portugal	291.829	114	22.232	0.795	39.69
Denmark	516.707	126.4	34.7	0.952	56.18
Greece	186.567	85.3	30.661	0.947	39
Sweden	195.503	21.9	55.427	0.958	62.2
Norway	281.532	12	72.306	0.968	62
Finland	181.225	16	36.217	0.954	64.8
Ukraine	22.3023	76	7.532	0.786	48.38

According to table. 1 using the planning of the experiment using rotatable central compositional planning of the second order using the developed software, protected by the certificate of the work [24] and described in detail in [25], obtained a regression equation that produces construction waste in different countries impact and looks like this [26]

$$\begin{aligned}
m_{CV} = & 437.8 \frac{GDR}{n_p} - 37.85 \frac{n_p}{S_c} - 2093HDI + 128.3L - 0.02982 \frac{n_p}{S_c} \frac{GDR}{n_p} + \\
& + 39.29 \frac{n_p}{S_c} HDI - 446.4 \frac{GDR}{n_p} HDI - 1.082 \frac{GDR}{n_p} L + 151.8HDI \cdot L + \\
& + 0.004265 \left(\frac{n_p}{S_c} \right)^2 + 0.5797 \left(\frac{GDR}{n_p} \right)^2 + 597.1HDI^2 - 2.283L^2 - 5106
\end{aligned} \quad , \quad (1)$$

where m_{CV} – mass of construction waste per capita, kg/person; n_p/S_c – population density, persons/km²; GDP/n_p – GDP per capita, thousand \$/person; n_p – the population of the country, persons; S_c – area of the country, km²; HDI – human development index ($HDI = 0 \dots 1$); L – average latitude, ° nrd. 1.

According to Student's criterion, all factors, their paired interaction effects, except n_p/S_cL , and quadratic effects were significant, most construction waste in different countries depends on GDP per capita, and least on the human development index.

It is established that according to Fisher's criterion the hypothesis about the adequacy of the regression model (1) can be considered correct with 95% reliability. The correlation coefficient was 0.99475, which indicates sufficient reliability of the results.

A comparison of actual and theoretical volumes of construction waste production in different countries of the world, ranked in descending order, is shown in Figure 1. Figure 1 shows that the theoretical production volumes of construction waste in different countries of the world, calculated using the regression model (1), differ slightly from the actual data, which confirms the previously determined sufficient reliability of the dependence, which can be used to develop a strategy for construction waste.

Figure 2 shows the response surfaces of the target function – the volume of construction waste in different countries and their two-dimensional cross-sections in the planes of impact parameters, which can clearly reflect the dependence (1) and the nature of simultaneous influence of several factors on the target function.

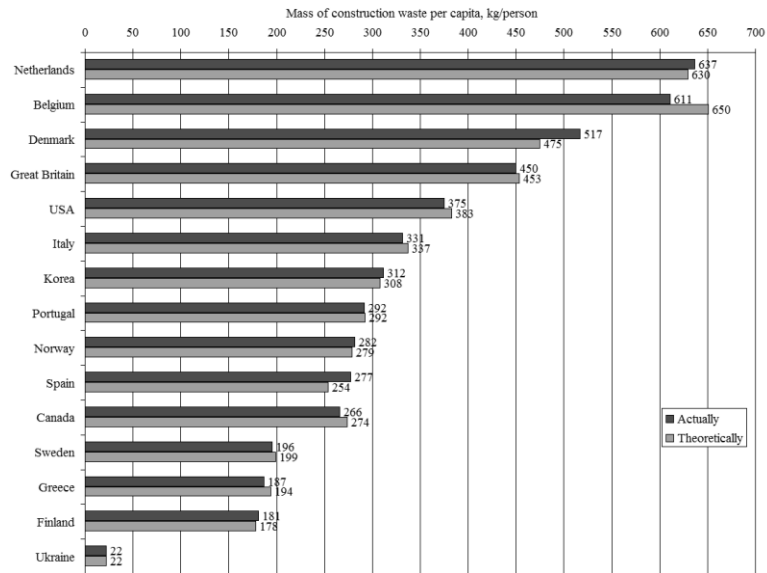


Figure 1. Comparison of actual and theoretical volumes of construction waste in different countries

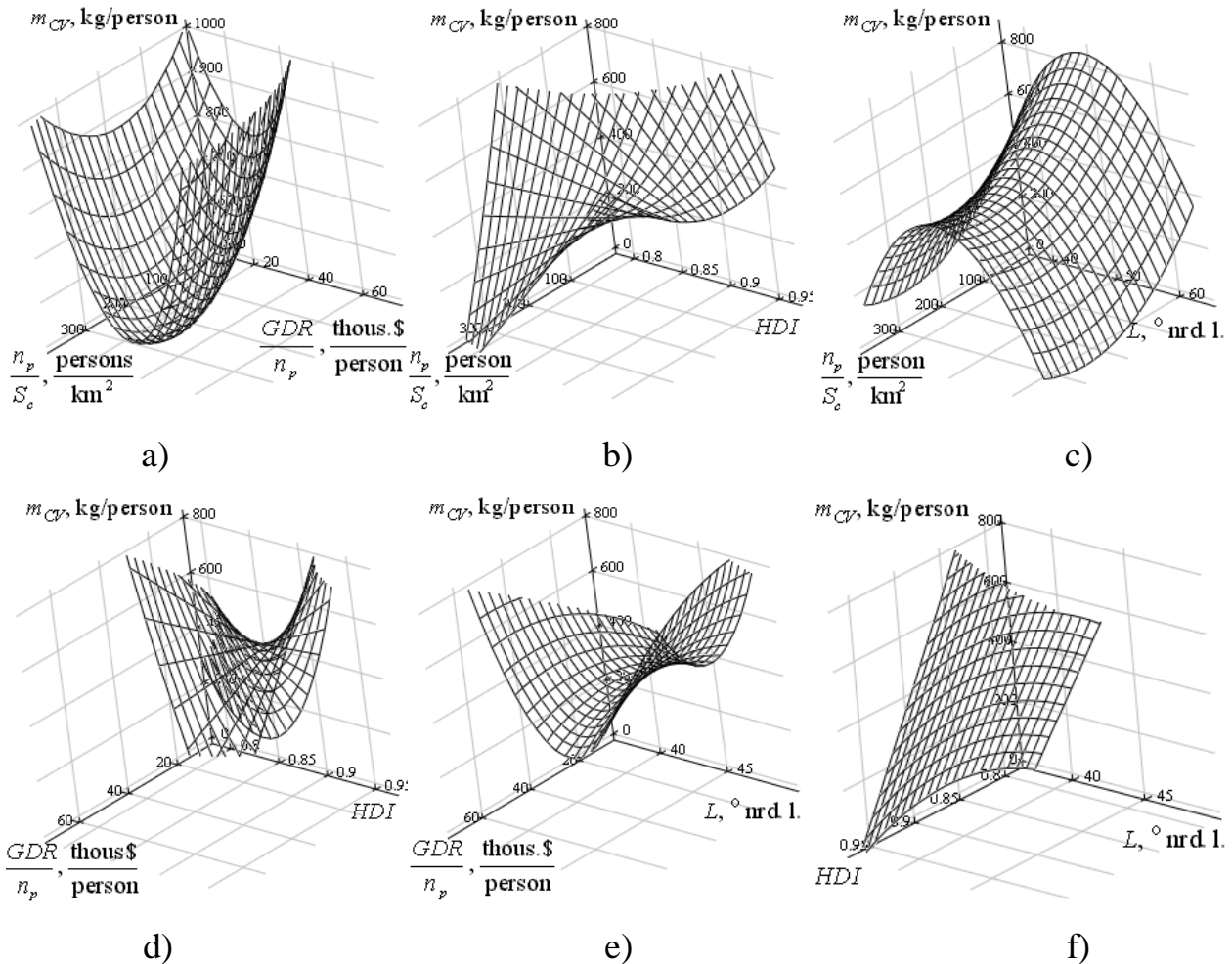


Figure 2. Response surfaces of the target function:

- a) $m_{CV} = f(n_p/S_c, GDR/n_p)$; b) $m_{CV} = f(n_p/S_c, HDI)$; c) $m_{CV} = f(n_p/S_c, L)$;
d) $m_{CV} = f(GDR/n_p, HDI)$; e) $m_{CV} = f(GDR/n_p, L)$; f) $m_{CV} = f(HDI, L)$

List of references

- [1] O. V. Bereziuk and all, «Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3», Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018, vol. 10808, 2018, no. 108083G, DOI: 10.1117/12.2501557.
- [2] О. В. Березюк, «Системи приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів», *Промислова гідравліка і пневматика*, № 3(57), 2017, с. 65-72.
- [3] В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський, Н. П. Попович, та М. А. Панасюк, «Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище"», *Науковий вісник НЛТУ України*, Т. 27, № 10, 2017, с. 111-116.
- [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), 2017, p. 259-273.
- [5] О. В. Березюк, «Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом», *Вісник ВПІ*, № 5, 2018, с. 18-24.
- [6] В. І. Савуляк, та О. В. Березюк, *Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів: монографія*, Вінниця: ВНТУ, 2006, 217 с.
- [7] О. А. Сагдеева, Г. В. Крусір, та А. Л. Цикало, «Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів», *Екологічна безпека*, № 1, 2018, с. 75-83.
- [8] O. Bereziuk, M. Lemeshev, V. Bogachuk, W. Wójcik, K. Nurseitova, and A. Bugubayeva, «Ultrasonic microcontroller device for distance measuring between dustcart and container of municipal solid wastes», *Przeglad Elektrotechniczny*, No. 4, 2019, p. 146-150.
- [9] O. V. Berezyuk, and V. I. Savulyak, «Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities», *TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*, No 22, 2015, p. 345-351.

[10] І. В. Коц, та О. В. Березюк, «Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів», *Вісник ВПІ*, № 5, 2006, с. 146-149.

[11] Ковальський, В. П., О. С. Сідлак. "Методы активации золы уноса ТЕС." *Вісник Сумського національного аграрного університету*. № 10: 47-49. (2014).

[12] Лемешев, М. С., Сівак, К. К., «Особливості використання промислових техногенних відходів в галузі будівельних матеріалів». *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 29(2), 2020, с. 24-34.

[13] Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. – Рівне : Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186-193.

[14] М. С. Лемешев, «В'язуче на основі промислових відходів» [Електронний ресурс], на *Международ. науч.-практ. Интернет-конф. Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2017*. URL : http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18481/statya_doclad_oct%20.doc.

[15] В. П. Ковальський, та О. С. Сідлак, «Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах», *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, № 1 (16), 2014, с. 35-40.

[16] О. Р. Попович, Я. М. Захарко, та М. С. Мальований, «Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів» // *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*, Вип.755, 2013, с. 321-324.

[17] Лемешев, М. С. "Теоретические предпосылки создания радиопоглощающего бетона бетэла-м." *Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури* 1: 60-64. (2005).

[18] М. С. Лемешев, «Металлонасыщенные бетоны для защиты от электромагнитного излучения», *Вісник Одеської державної академії*

будівництва та архітектури, № 33, 2013, с. 253-256.

[19] М. С. Лемешев, «Електропровідні бетони для захисту від статичної електрики» [Електронний ресурс], *на наук. симпоз. Перспективні досягнення сучасних вчених*, Одеса, 2017. URL : <http://www.sworld.education/index.php/ru/c217-14/29403-%D1%81217-032>.

[20] Лемешев М.С., Березюк О.В. Електротехнічний бетон для виготовлення анодних заземлювачів // *Інтелектуальний потенціал ХХІ століття '2017: матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції*, 14-21 листопада 2017 р. Одеса : SWorld, 2017. 5 с.

[21] Лемешев М. С. Антистатичні покриття із електропровідного бетону / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. – 2017. – № 2. – С. 26-30.

[22] Г. Я. Якимечко, та О. Р. Попович, «Аспекти рециклінгу будівельних відходів», *Вісник НУ «Львівська політехніка»*, № 700, 2011, с. 279–282.

[23] О. В. Березюк, та М. С. Лемешев, «Динаміка утворення відходів будівництва і знесення у Вінницькій області», *Вісник ВПІ*, № 1, 2021, с. 37-41.

[24] О. В. Березюк, «Комп'ютерна програма "Планування експерименту" ("PlanExp")», *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 46876*, Київ: ДСІВ України, дата реєстрації: 21.12.2012.

[25] О. В. Березюк, «Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp"», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 23-28, 2016.

[26] О. В. Березюк, М. С. Лемешев, С. В. Королевська, «Математичне моделювання прогнозування обсягів продукування будівельних відходів в різних країнах світу», *Вісник ВПІ*, № 3, с. 41-46, 2021.