

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 691.322; 628.4.08

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПІДПРИЄМСТВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА ЧАСТКУ В ПРОДУКОВАНИХ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДАХ Al_2O_3 ЯК ДОБАВКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БУДМАТЕРІАЛІВ

О. Березюк, д. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-2747-2978

М. Лемешев, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-6083-0378

Д. Черпаха

ORCID ID: 0000-0002-3684-4809

Вінницький національний технічний університет

<https://doi.org/10.31734/architecture2023.24.074>

Березюк О., Лемешев М., Черпаха Д. Вплив параметрів підприємств теплоенергетики на частку в продуктованих золошлакових відходах Al_2O_3 як добавки при виробництві будматеріалів

Об'єктом дослідження у роботі є золошлакові відходи, які містять, зокрема, Al_2O_3 підприємств теплоенергетики, щорічний обсяг яких в Україні становить 8 млн т, а приріст зайнятих земельних площ – 22 тис. га. У країнах ЄС більше ніж 92 % таких відходів утилізуються. Тому визначення регресійної моделі прогнозування частки Al_2O_3 у продуктованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики від основних параметрів впливу, яка може бути використана під час розробки стратегії повторного використання промислових відходів при виробництві будматеріалів, є актуальним науково-технічним завданням. Отримано багатофакторну квадратичну регресійну залежність прогнозування частки Al_2O_3 у продуктованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики від основних параметрів впливу: потужність підприємства теплоенергетики, тривалість експлуатації, нижча теплота згоряння палива. Встановлено, що за критерієм Фішера гіпотезу про адекватність отриманої регресійної моделі можна вважати правильною з 95 % достовірністю. Коефіцієнт кореляції становить 0,99723, що свідчить про достатню достовірність одержаних результатів. Отриману регресійну залежність можна використати під час розробки стратегії повторного використання промислових відходів при виробництві будматеріалів. Установлено, що серед факторів впливу, які розглядалися, найбільше частка Al_2O_3 в продуктованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики залежить від нижчої теплоти згоряння палива, а найменше – від потужності підприємства теплоенергетики. Побудовано поверхні відгуків цільової функції – частки Al_2O_3 у продуктованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики, які дозволяють наочно проілюструвати залежність цієї цільової функції від окремих параметрів впливу.

Ключові слова: золошлакові відходи, підприємство теплоенергетики, будівельні матеріали, матеріалознавство, будівництво, математичне моделювання, планування експерименту, багатофакторна залежність, фактори впливу, поверхня відгуку.

Bereziuk O., Lemeshev M., Cherepakha D. Impact of the parameters of heat power engineering enterprises on the share of Al_2O_3 in the produced ash and slag waste that is used as an additive in the production of building materials

The research is devoted to the study of ash and slag waste of heat power engineering enterprises, which contains Al_2O_3 . The annual volume of the waste in Ukraine is 8 million tons, and the increase of occupied land areas is 22 thousand ha. In the EU countries, more than 92% of such waste is recovered. Therefore, identification of a regression model for predicting the share of Al_2O_3 in the produced ash and slag waste of heat power engineering enterprises depending on the main parameters of influence, which can be used when developing a strategy for reusing the industrial waste in the production of building materials, is an urgent scientific and technical task. A multifactorial quadratic regression dependence of forecasting the share of Al_2O_3 in the produced ash and slag waste of heat power engineering enterprises depending on the main influencing parameters, namely capacity of the heat power engineering enterprise, duration of operation, the lower heat of fuel combustion, was obtained. It is determined that, according to Fisher's test, the

hypothesis about the adequacy of the obtained regression model can be considered correct with 95 % confidence. The correlation coefficient is 0.99723, which indicates sufficient reliability of the obtained results. The obtained regression dependence can be used when developing a strategy for reusing the industrial waste in production of building materials. It is established that among the considered factors of influence, the share of Al_2O_3 in the produced ash and slag waste of heat power engineering enterprises mostly depends on the lower heat of fuel combustion, and the least – on the capacity of the heat power engineering enterprise. The response surfaces of the target function, i.e. the share of Al_2O_3 in the produced ash and slag waste of heat power engineering enterprises, are constructed. It allows to visually illustrate the dependence of this target function on the individual parameters of influence.

Key words: ash and slag waste, heat power engineering enterprise, building materials, materials study, construction, mathematical modelling, experiment planning, multifactorial dependence, influencing factors, response surface.

Постановка проблеми. Об'єкти теплоенергетики є безперервно діючими джерелами шкідливих викидів у навколишнє природне середовище, оскільки їхнє генеруюче устаткування характерне високим ступенем фізичного і морального зносу, а обладнання на багатьох теплових електростанціях (ТЕС) та теплоелектроцентралях (ТЕЦ) не відповідає сучасним екологічним вимогам безпеки. Використання вітчизняними ТЕС вугілля низької якості, неефективний ступінь очищення димових газів призводять до збільшення об'ємів викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря [9]. Також зростає кількість твердих відходів, складованих у золовідвалах. Щорічно в Україні накопичується 8 млн т золошлакових відходів, що займають площу понад 22 тис. га, становлять складну суміш різних, переважно мінеральних, речовин, основними з яких є кисневі сполуки кремнію, алюмінію, заліза, кальцію, магнію, які за своїм хімічним складом і технічними властивостями близькі до природної сировини [11]. Водночас використанням однієї з основних складових золошлакових відходів – Al_2O_3 (оксиду алюмінію) – в будівельних матеріалах як добавки можна поліпшити фізико-механічні властивості та хімічну стійкість матеріалів, зокрема бетону, цегли, кераміки і скла, заощаджуючи природні ресурси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У праці [8] автори дослідили вплив добавки Al_2O_3 на фізико-механічні властивості бетону. Встановлено, що її використання покращує міцність та зносостійкість бетону, а також знижує водопоглинання матеріалу. У статті [3] виявлено, що добавка Al_2O_3 покращує міцність бетону та його механічні властивості, а також забезпечує більшу стійкість до дії агресивних середовищ. Автори праці [2] встановили, що Al_2O_3 покращує міцність бетону, а також сприяє формуванню більш компактної його мікроструктури. Результати дослідження [4] показали позитивний вплив Al_2O_3 на міцність і стійкість бетону. У статті [5] виявлено,

що добавка Al_2O_3 покращує міцність, зносостійкість і стійкість до корозії цементної стружки. У дослідженні [1] вивчено міцність і довговічність бетону з добавкою наночастинок Al_2O_3 за низьких температур. Установлено, що добавка Al_2O_3 поліпшує механічні властивості бетону за низьких температур і забезпечує більшу стійкість до циклічних температурних змін. У [7] вивчено фізико-механічні властивості цегли з добавками оксиду алюмінію. Встановлено, що добавка Al_2O_3 позитивно впливає на показники міцності, водопоглинання та морозостійкості цегли.

Дані щодо часток мінеральних золошлакоутворювальних компонентів, зокрема Al_2O_3 , підприємств теплоенергетики наведено у [10–13]. Однак конкретних математичних залежностей частки Al_2O_3 в золошлакових відходах підприємств теплоенергетики від основних параметрів впливу, в результаті аналізу відомих публікацій, автори не виявили.

Постановка завдання. Наше завдання – визначення за допомогою планування багатофакторного експерименту регресійної моделі прогнозування частки Al_2O_3 у продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики від основних параметрів впливу, яку можна використати під час розробки стратегії повторного використання промислових відходів у виробництві будматеріалів.

Вклад основного матеріалу. Серед параметрів, від яких залежить частка в продукованих золошлакових відходах Al_2O_3 , розглядали такі: потужність підприємства теплоенергетики, тривалість експлуатації, нижча температура згоряння палива, значення яких наведено в табл. 1. За даними таблиці, за допомогою розробленої комп'ютерної програми «PlanExp», яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права [6], отримано рівняння регресії, яке описує залежність частки Al_2O_3 в продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики від основних параметрів впливу і має такий вигляд

$$C_{Al_2O_3} = 16,37Q_H - 0,08636P - 3,914t - 0,003892PQ_H + 0,02667t^2 - 0,4063Q_H^2 \text{ [%]}, \quad (1)$$

де $C_{Al_2O_3}$ – частка Al_2O_3 в продукуваних золошлакових відходах підприємств теплоенергетики, %;

P – потужність підприємства теплоенергетики, МВт; t – тривалість експлуатації, років; Q_H – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг.

Таблиця

Частка Al_2O_3 в продукуваних золошлакових відходах підприємств теплоенергетики [10–13]

Підприємство теплоенергетики	Частка Al_2O_3 в золошлакових відходах за мас., %	Фактори впливу		
		Потужність, МВт	Тривалість експлуатації, років	Нижча теплота згоряння, МДж/кг
Старобешівська ТЕС	27,0	1975	65	23,01
Миронівська ТЕС	19,8	275	70	20,75
Вуглегірська ТЕС	40,6	3600	50	22,74
Краматорська ТЕЦ	22,5	120	86	23,03
Бурштинська ТЕС	23,3	2321	54	21,39
Ладизинська ТЕС	24,7	1200	53	20,60
Придніпровська ТЕС	24,4	1765	69	23,27

За критерієм Стюдента: парні ефекти взаємодії Pt , tQ_H , квадратичний ефект P^2 та вільний член рівняння виявились незначущими. Серед досліджуваних факторів найбільше частка Al_2O_3 в продукуваних золошлакових відходах підприємств теплоенергетики залежить від нижчої теплоти згоряння палива, а найменше – від потужності підприємства теплоенергетики.

Встановлено, що за критерієм Фішера

гіпотезу про адекватність регресійної моделі (1) можна вважати правильною з 95 % достовірністю. Коефіцієнт кореляції становив 0,99723, що свідчить про достатню достовірність одержаних результатів.

Порівняння фактичної та теоретичної частки Al_2O_3 в продукуваних золошлакових відходах підприємств теплоенергетики, ранжованих у порядку спадання, наведено на рис. 1.

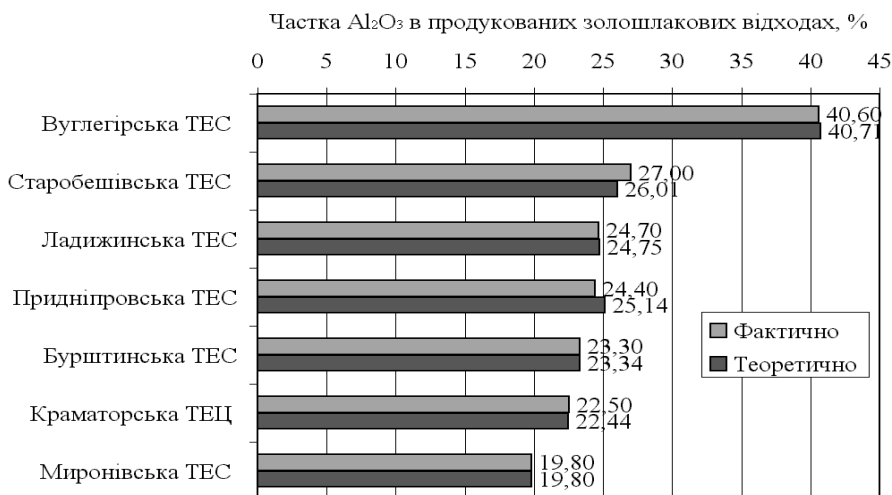


Рис. 1. Порівняння фактичної та теоретичної частки Al_2O_3 в продукуваних золошлакових відходах підприємств теплоенергетики

Із рис. 1 бачимо, що теоретична частка Al_2O_3 в продукуваних золошлакових відходах підприємств теплоенергетики, розрахована за допомогою регресійної моделі (1), несуттєво відрізняються від фактичних даних [10–13], що

підтверджує визначену раніше достатню достовірність отриманої залежності, яку можна використати під час розробки стратегії повторного використання промислових відходів у виробництві будматеріалів.

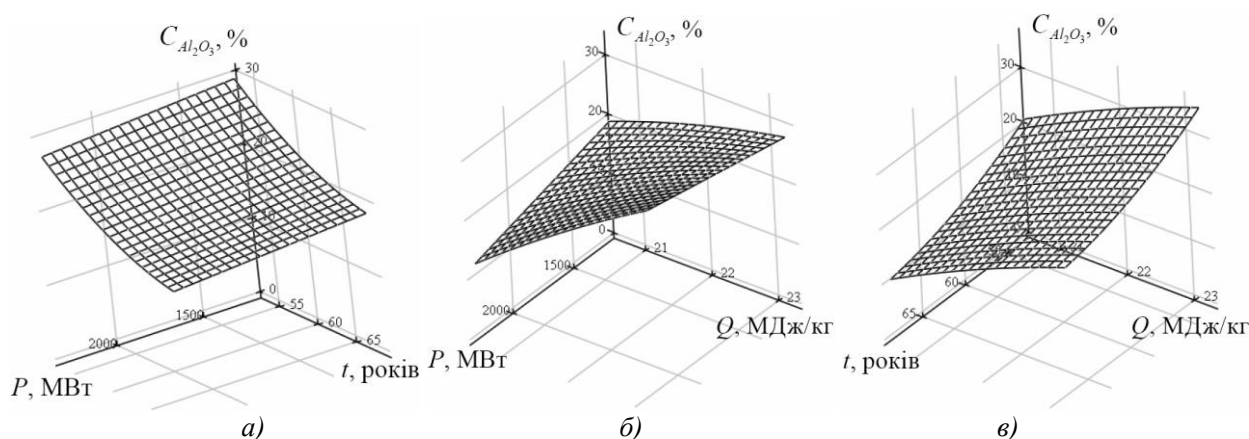


Рис. 2. Поверхні відгуків цільової функції – частки Al_2O_3 – в продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики та їхні двомірні перерізи у площинах параметрів впливу:

На рис. 2 зображено поверхні відгуків цільової функції – частки Al_2O_3 – у продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики та їхні двомірні перерізи в

площинах параметрів впливу, які дозволяють наочно відобразити залежність (1) та характер одночасного впливу декількох факторів на цільову функцію.

$$\begin{aligned}
 a) - C_{Al_2O_3} &= f(P, t); \\
 б) - C_{Al_2O_3} &= f(P, Q_H); \quad в) - C_{Al_2O_3} = f(t, Q_H)
 \end{aligned}$$

Висновки. Встановлено, що на частку Al_2O_3 в продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики впливають такі фактори: потужність підприємства теплоенергетики, тривалість експлуатації, нижча температура згоряння. Серед досліджуваних факторів найбільше частка Al_2O_3 в продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики залежить від нижчої температури 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, яку можна використати під час розробки стратегії повторного використання промислових відходів під час виробництва будматеріалів.

Побудовано поверхні відгуків цільової функції – частки Al_2O_3 в продукованих золошлакових відходах підприємств теплоенергетики, які дозволяють наочно проілюструвати залежність цієї цільової функції від окремих параметрів впливу.

Бібліографічний список

1. Chen H., Xie W., Jiang L., Xu J. Mechanical and durability properties of concrete

with nano- Al_2O_3 at low temperatures. *Construction and Building Materials*. 2019. No 223. P. 1005–1015.

2. Gür S., Çelik T., Yücel H. E. Investigation of the mechanical and microstructural properties of high-strength concretes containing nano-alumina. *Materials and Structures*. 2017. No 50 (5). P. 1–14.

3. Nematollahi B., Sobhani J., Ramezani pour A. A. Effects of alumina nanoparticles on properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*. 2017. No 155. P. 113–123.

4. Okamura H., Sakata K., Mizutani K. Development of High-Strength Concrete Incorporating Ultrafine Particles. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2018. No 16 (12). P. 697–712.

5. Suganya O. M., Dhivya S., Ramalingam S. Influence of alumina nanoparticles on the mechanical and durability properties of cement mortar. *Advances in Civil Engineering Materials*. 2018. No 7 (1). P. 180–195.

6. Березюк О. В. Комп'ютерна програма «Планування експерименту» («PlanExp»). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 46876. Київ: ДСІВУ. Дата реєстрації: 21.12.2012.

7. Волянський В. І., Горобець М. І., Журенко О. М. Дослідження фізико-механічних властивостей цегли з добавками оксиду алюмінію. *Будівельні матеріали, виробы та конструкції: матеріали наук.-практ. конф.* 2018. С. 230–234.

8. Дослідження впливу алюмінієвої добавки на фізико-механічні властивості бетону / І. О. Лещук та ін. *Наукові праці ДонНТУ.* 2017. № 37 (2). С. 46–52.

9. Кошлак Г. В., Павленко А. М. Зменшення техногенного впливу вугільних ТЕС на довкілля (на прикладі Бурштинської ТЕС).

Екологічна безпека та збалансоване ресурсовикористання. 2017. № 2 (16). С. 108–118.

10. Крижанівський Є. І., Кошлак Г. В. Екологічні проблеми енергетики. *Нафтогазова енергетика.* 2016. № 1 (25). С. 80–90.

11. Особливості впливу золівдвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище / А. В. Яцишин та ін. *Проблеми надзвичайних ситуацій.* 2018. № 2 (28). С. 57–68.

12. Очеретний В. П., Ковальський В. П. Використання відходів промисловості при виготовленні оздоблювальних матеріалів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: збірник наук. праць за матеріалами V Всеукр. наук.-техн. конф.* Вінниця: ВНТУ, 2006. С. 169–177.

13. Чернявський М. В. Сучасні проблеми паливозбереження та паливоспоживання ТЕС України. *Енерготехнологии и ресурсозбережение.* 2015. № 3. С. 3–17.

Стаття надійшла 27.06.2023