

Шульгін В.В., Бондар В.О., Демченко О.В., Супрунюк С.Ю., Білобров В.Ю.

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка**(пр-т Першотравневий 24, Полтава, 36011, Україна, e-mail: [homenko\\_81@ukr.net](mailto:homenko_81@ukr.net);**orcid.org/0000-0002-2573-8402; orcid.org/0000-0001-8671-2890; orcid.org/0000-0002-3397-9206)*

## ВАЖКІ БЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОЛОШЛАКІВ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В даній роботі досліджується міцність та водопоглинання бетонів залежно від витрат цементу, добавок пластифікатору та часу ущільнення при їх виготовленні з використанням золошлаків теплоелектростанцій. Дослідження проведено з використанням трьохфакторного експерименту, де змінні варіювалися на трьох рівнях. Аналіз поверхні функції відгуку, де в якості відгуку було прийнято міцність на стиск бетону, виявлені оптимальні співвідношення між витратами добавки і часом ущільнення, витратами цементу і добавки, витратами цементу і часом ущільнення. Використавши програмний комплекс STATISTICA 12 уточнені значення факторів, коли досягається максимальна міцність. Визначені співвідношення компонентів, що впливають на водопоглинання. У висновках наведені кількісні показники по результатам даних досліджень.

**Ключові слова:** важкі бетони, золошлак, міцність при стиску, водопоглинання, коефіцієнт ущільнення.

**Вступ.** На сучасному етапі золи теплоелектростанцій використовують при виготовленні як монолітних, так і збірних бетонних та залізобетонних конструкцій. Золошлакові відходи отримують при спалюванні твердого палива на теплоелектростанціях. Кам'яне вугілля, що його найчастіше використовують на теплових електростанціях, містить у середньому 80-90% вуглецю, 5-20% мінеральних речовин та 0,5 % сірки [1]. Оптимальний вміст золи у складі важких, легких та ніздрюватих бетонів встановлюється шляхом підбору складу конкретних бетонних сумішей при умові забезпечення необхідних показників їх якості [2].

Бетонні суміші з золами володіють більшою зв'язністю, кращою рухомістю, меншим водовідділенням та розшаруванням, що робить такі суміші ідеальними для використання в умовах монолітного бетонування [3]. Використання відходів ТЕС у бетонних сумішах дає ряд суттєвих переваг перед беззолними сумішами, а також така практика дозволить відчутно покращити екологічну ситуацію. Одним із шляхів безпечної утилізації таких відходів є їх використання у будівельній промисловості для виробництва важких бетонів. Але ще мало дослідженими залишаються властивості таких бетонів і вплив

золошлаків на фізико-механічні характеристики бетонів[6-9].

### Матеріали та методи досліджень.

Основною метою даних досліджень є визначення впливу складу бетонних сумішей із золошлаками на фізико – механічні характеристики бетону, та підбір найбільш оптимального складу бетону класу за міцністю С25/20 з використанням золошлаків.

Для виготовлення бетонів використано: портландцемент ПЦ І-500 Н, який має насипну густину  $\rho_n = 1300 \text{ кг/м}^3$  та істинну густину  $\rho_a = 3,1 \text{ г/см}^3$ . Даний цемент відзначається високою ранньою міцністю, а високий вміст у клінкері  $C_3S$  і низький вміст  $C_3A$  [10]. Як дрібний заповнювач для бетонів використовували золошлак (зола-донна) Старобешівської ТЕС; істина густина  $2,6 \text{ г/см}^3$ ; насипна густина  $1,206 \text{ г/см}^3$ , модуль крупності 1, водопотреба 24%. В якості крупного заповнювача використано гранітний щебінь фракції 5-10 мм, пустотність щебеню 47 %, насипна густина  $\rho_n = 1350 \text{ кг/м}^3$ , істина густина  $\rho_a = 2,71 \text{ г/см}^3$ . В якості добавки використовувався полікарбоксилатний суперпластифікатор GLENIUM 51

Планування дослідження здійснювалося на основі плану з використанням трьохфакторного експерименту в трьох

рівнях. У якості змінних факторів було обрано витрату цементу, час ущільнення бетонної суміші, витрата добавки пластифікатору.

Для того, щоб забезпечити рівень пористості на відповідному рівні та враховуючи особливості структури вихідних матеріалів водоцементне відношення (В/Ц) було прийняте 0,45. При значенні В/Ц менше зазначеного рівня неможливо забезпечити достатній коефіцієнт ущільнення сумішей [11-13]. При дослідженнях виготовлялися контрольні зразки на кварцовому піску, міцність яких склала 31 МПа.

**Результати дослідження.** За результатами досліджень міцності бетону отримано функцію відгуку за допомогою програмного комплексу STATISTICA 12. Отримана модель адекватна згідно тесту «lack-of-fit» [14]. За рівнянням побудовано загальні види поверхні функцій відгуку. Функція відгуку в майже стаціонарній області має кривизну і досить добре описується поліномом 2-го ступеня. Приведені результати експериментів дозволяють оцінити адекватність моделі, оскільки при проведенні експериментів на нульовому рівні виконано три паралельні досліді.

Аналіз отриманих результатів коефіцієнту ущільнення (рис. 1) для дослідних бетонних сумішей показали, що найкращі результати дає ущільнення тривалістю 3 хвилини. Середні значення контрольованої величини потрапляють у допустимі рамки для коефіцієнта ущільнення бетонних сумішей, тому для бетонів на заповнювачах із золошлаків ТЕС можливим для ущільнення весь варійований діапазон часу. Якщо спроектувати поверхню на площину, що найбільші значення коефіцієнту ущільнення досягається при витраті цементу 400 кг/м<sup>3</sup>, та витраті пластифікатору 2,4 %.

Аналіз виду поверхні, який наведено на рис.2 показує що найбільша міцність отримана при часі ущільнення 3 хв. і витраті добавки 8 л. Підвищення витрати добавки не приводить до підвищення міцності бетону.

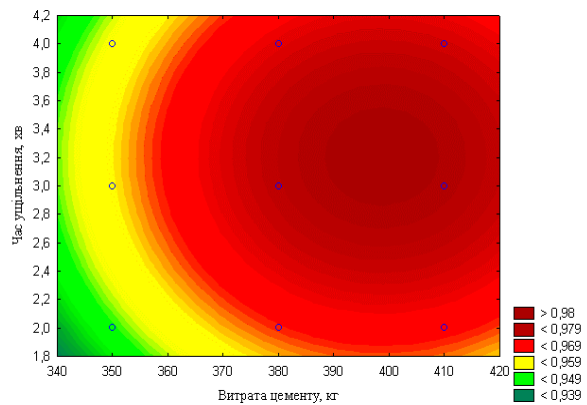


Рис. 1. Ізолінії поверхні функції відгуку витрати цементу та витрати пластифікатору на значення коефіцієнту ущільнення

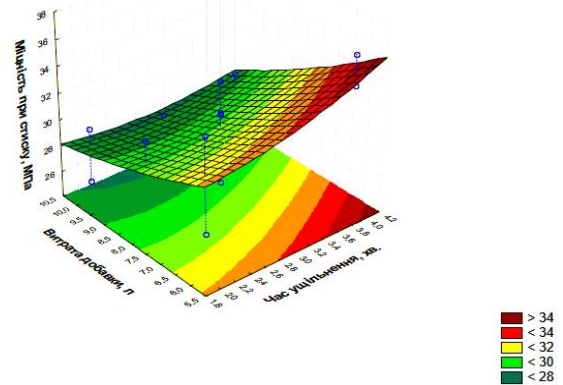


Рис. 2. Загальний вид поверхні функції відгуку границі міцності при стиску бетону в залежності від витрати добавки та часу ущільнення бетонної суміші

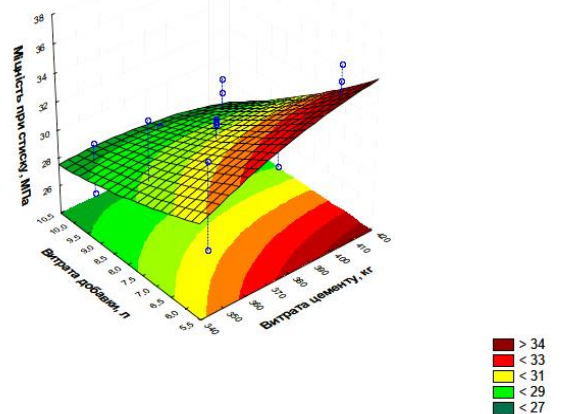


Рис. 3. Загальний вид поверхні функції відгуку границі міцності при стиску бетону в залежності від витрати добавки та витрати цементу

Аналіз виду поверхні, який наведено на рис.3 показує що найбільша міцність досягається при витраті цементу 390 кг і витраті добавки 8 л.

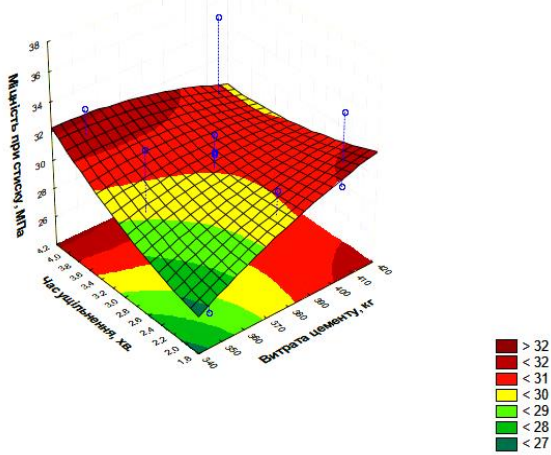


Рис. 4. Загальний вид поверхні функції відгуку границі міцності при стиску бетону в залежності від витрати цементу та часу ущільнення бетонної суміші

Найбільша міцність отримана при часі ущільнення 3 хв. і витраті цементу 400 кг, що можемо спостерігати при аналізі виду поверхні, який наведено на рис. 4. Підвищення витрати добавки не приводить до підвищення міцності бетону.

Візуальний аналіз поверхонь дає лише приблизні значення оптимальних співвідношень компонентів. Проте програмний комплекс STATISTICA дозволяє визначити значення факторів, за яких досліджувана величини досягає максимального значення (табл. 1.).

Таблиця 1 - Критичні значення змінних

Фактор	Мінімальні значення	Критичні значення	Максимальні значення
Витрата цементу, кг	350,00	350,056	410,00
Витрата добавки, л	6,00	12,99	10,00
Час ущільнення, хв	2,00	2,41	4,00

Аналіз ізоліній поверхні відгуку (рис. 5) показує, що найменше водопоглинання може бути отримане при витраті цементу 390-400 кг, а добавки 8 л.

Аналіз ізоліній поверхні відгуку (рис. 6) вказує, що найменше водопоглинання може бути отримане при витраті цементу 380 кг, а часу ущільнення 3 хв.

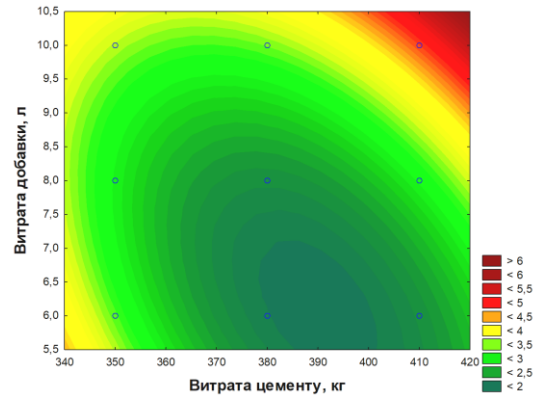


Рис. 5. Ізолінії поверхні функції відгуку водопоглинання від витрати добавки та цементу

При проведенні аналізу ізоліній поверхні відгуку (рис. 7) встановлено, що найменше водопоглинання може бути отримане при витраті добавки від 7,5 до 8 л, а часу ущільнення від 3 хв. до 3,6 хв.

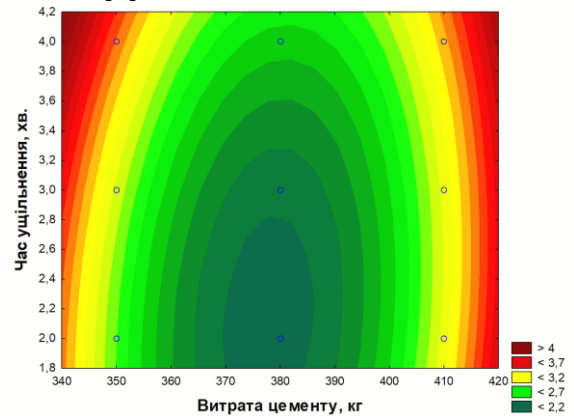


Рис. 6. Ізолінії поверхні функції відгуку водопоглинання від витрати цементу та часу ущільнення.

Значення оптимальних співвідношень компонентів при дослідженні їх впливу на водопоглинання приведені в табл. 2.

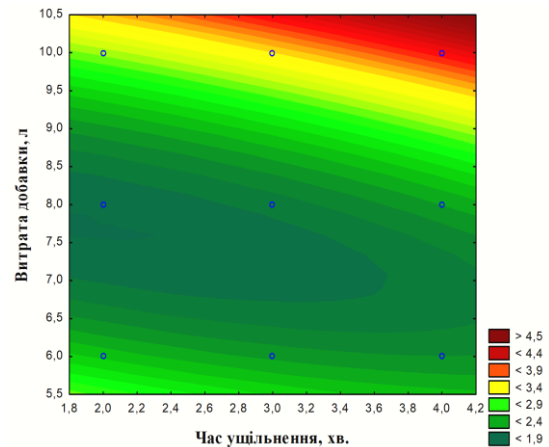


Рис. 7. Ізолінії поверхні функції відгуку водопоглинання від витрати добавки та часу ущільнення.

Таблиця 2 - Критичні значення змінних

Фактор	Мінімальні значення	Критичні значення	Максимальні значення
Витрата цементу, кг	350,00	379,1	410,00
Витрата добавки, л	6,00	7,75	10,00
Час ущільнення, хв	2,00	1,8	4,00

**Висновки.** Використання в якості дрібного заповнювача золошлаку дало можливість отримати бетону з міцністю 36 МПа. Міцність бетону на кварцовому піску склала 31 МПа. Таким чином золошлак в поєднанні з добавкою має міцність більшу на 14 % і може використовуватися в бетонах замість піску.

Підвищення витрат цементу призводить до покращення коефіцієнту ущільнення. Установлено, що оптимальна тривалість ущільнення бетонної суміші – 3 хвилини.

Найменше значення водопоглинання 2,0% досягається при використанні 390 кг цементу та пластифікатора 8 л. Водопоглинання контрольних зразків на піщаних заповнювачах на 0,6 % більше від золошлакових бетонів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ватин Н. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве. *Журнал гражданского строительства*. 2011. №4. С. 16-21.
2. Горбунов С. П. Оптимизация составов тяжелых бетонов применением тонкодисперсных добавок. *Вестник ЮУрГУ*. 2012. 17. С. 30-36.
3. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л., Корнейчук Ю. А. Эффективные цементно-золевые бетоны. Ровно: Эдем, 1999. 195 с.
4. Зайченко Н. М., Сердюк А. И. Бетоны с высоким содержанием золы для массивных железобетонных конструкций. *Вісник ДНАБіА*. 2013. 1(99). С. 137-144.
5. Кривенко П. В., Пушкарьова Е. К., Гоц В. И., Ковальчук Г. Ю. Цементи і бетони на основі паливних зол та шлаків. К.: ООО «ІПК Експрес-Полиграф», 2012. 258 с.

6. Aitcin, P.-C. The Art and Science of Durable High-Performance Concrete. *CANMET ACI. Proceedings of the Nelu Spiratos Symposium*. 2003. P. 69-88.
7. Кугаєвська Т.С., Шульгін В.В., Сопов В.П. Метод дослідження процесів теплової обробки бетонних виробів нагрітим повітрям. *Науковий вісник будівництва*. 2016. № 4 (84). . 245–250
8. Aitcin P.-C. High-Performance Concrete, Modern Concrete Technology. London: E & FN Spon. 1998. 591 p.
9. Thomas M. Optimizing the use of fly ash in concrete. *Concrete Thinking. Potland Cement Associations*. 2007. pp. 1-24.
10. Сопов В.П., Долгий В.П. Проблема совместимости химических добавок с различными видами цементов. *Науковий вісник будівництва*. 2013. № 4 (74). С. 358- 363.
11. Mehta P. K. High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable Development. *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*. 2004. 5. pp. 3-14.
12. Samarin A., Munn R.L., Ashby J.B. Australian experience with flying ash in concrete: applications and opportunities. *Fly ash technical note*. 2009. 8. pp. 1-3.
13. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. 363 с.
14. Бабушкин В.И., Плугин А.А., Костюк Т.А. Особенности подбора состава формовочной смеси для цементнопесчаных стеновых материалов заданной плотности. *Науковий вісник будівництва*. 1998. Вип. 4. С. 61-63.

**Шульгін В.В., Бондарь В.А., Демченко О.В., Супрунюк С. Ю., Белобров В. Ю. ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛОШЛАКОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.** В данной работе исследуется прочность и водопоглощение бетона в зависимости от расхода цемента, добавок пластификатора и времени уплотнения при их изготовлении с использованием золошлаков теплоэлектростанций. Исследование проведено с использованием трехфакторная эксперимента, где переменные варьировались на трех уровнях. Анализ поверхности функции отклика, где в качестве отклика было принято прочность на сжатие бетона, обнаружены оптимальные соотношения между затратами добавки и время уплотнения, затратами цемента

и добавки, затратами цемента и время уплотнения. Используя программный комплекс STATISTICA 12 уточнены значения факторов, когда достигается максимальная прочность. Определены соотношения компонентов, влияющих на водопоглощение. В выводах приведены количественные показатели о результатах данных исследований.

**Ключевые слова:** тяжелый бетон, золошлак, прочность при сжатии, водопоглощение, коэффициент уплотнения

**Shulgin V.V., Bondar V.A., Demchenko O.V., Supruniuk S., Bilobrov V. HEAVY CONCRETE WITH USED BOTTOM ASH FROM POWER STATIONS.** This article deals with the influence of cement quantity, plasticizing additives and compaction time on the strength and water consumption of concrete during its

manufacturing using bottom ash from a thermal power station. The study was carried out using three factorial experiments. Variables varied on three levels. Analysis of surface pattern function has revealed the optimal correlation between additive quantity and compaction time, cement quantity and additive quantity, cement quantity and compaction time. Application of STATISTICA 12 software has specified values of factors when the maximum strength is achieved. Correlations of components which have an impact on water consumption have been determined. The conclusions contain the quantitative findings of the study.

**Keywords:** heavy concrete, bottom ash, compressive strength, water absorption, compacting factor.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-299-303

УДК 667.6

**Демідов Д.В., Саєнко Л.В., Буцька Л.М., Тесленко М.Г.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

*(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [160789demidov@ukr.net](mailto:160789demidov@ukr.net),*

*saenko\_l@ukr.net, [nutter142@gmail.com](mailto:nutter142@gmail.com), [mihail\\_teslenko@ukr.net](mailto:mihail_teslenko@ukr.net); [orcid.org/0000-0002-9530-3500](https://orcid.org/0000-0002-9530-3500), [orcid.org/0000-0002-3802-3078](https://orcid.org/0000-0002-3802-3078), [orcid.org/0000-0003-1496-7004](https://orcid.org/0000-0003-1496-7004), [orcid.org/0000-0003-2581-4097](https://orcid.org/0000-0003-2581-4097))*

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРОПРОНИКНОСТІ ТА ВОДОПОГЛИНАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВОДНО-ДИСПЕРСІЙНИХ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ

У статті визначається вплив наповнювачів на паропроникність та водопоглинання розроблених складів теплоізоляційних водно-дисперсійних лакофарбових покриттів. За результатами попередніх досліджень встановлено ефективність використання в якості зв'язуючого стирол-акриловий сополімер та в якості мінеральних наповнювачів алюмосилікатні мікросфери та гідрофобізований аеросил. Методами випробувань, виконаними згідно міжнародним стандартам, досліджено можливість використання розроблених теплоізоляційних водно-дисперсійних лакофарбових покриттів в якості декоративно-захисної обробки оштукатурених фасадів будівель.

**Ключові слова:** стирол-акрилова дисперсія, аеросил, алюмосилікатні мікросфери, паропроникність, водопоглинання.

**Аналіз проблеми.** Відомо, що різниця парціальних тисків водяної пари у внутрішньому і зовнішньому повітрі викликає дифузію водяної пари через оштукатурені фасади будівель. У зимові місяці процес дифузії протікає найбільш інтенсивно. При розрахунках паропроникності та водопоглинання конструкцій використовують коефіцієнти паропроникності матеріалів, які приведені в довідкових даних або технічних умовах на матеріал, отриманих за

методиками державних стандартів. У всіх методах випробувань зразок перебуває в постійних температурно-вологісних умовах. Різниця полягає в схемі руху водяної пари. У разі «сухого методу» водяна пара проходить через зразок з вологого повітря в чашку з вологопоглиначем, де вологість повітря наближається до нуля. У разі «морого методу» водяна пара з чашки з водою, де вологість повітря близька до 100%,