

УДК 666.946.3

**ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ
ЗОЛОШЛАКІВ КОТЛІВ З ЦИРКУЛЯЦІЙНИМ КИПЛЯЧИМ
ШАРОМ**

**OPTIMIZATION OF COMPOSITIONS OF CONCRETE BASED
ON SLAGS OF BOILERS WITH CIRCULATING FLUIDIZED
BED**

Бондар В. О., д.т.н., проф., Ахмеднабієв Р. М., доцент, Ахмеднабієв Р. Р., аспірант Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Bondar V.O. DSc in engineering professor, Akhmednabiyev R.M. assistant professor, Akhmednabiyev R.R., post-graduate student (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University)

Анотація: В Україні з кожним роком збільшується кількість відходів промисловості в тому числі й ТЕС. Метою роботи було дослідження впливу золошлаків котлів з циркуляційним киплячим шаром на міцність важких бетонів. На основі математичного планування експерименту оптимізовані склади важких бетонів. Наведено оптимізовані склади важких бетонів, установлено доцільність використання золошлаків у важких бетонах як з точки зору екології, так і технологічності.

Abstract: The fuel industry annually accumulates a huge amount of ashes and slags in dumps. The largest number of them is formed in countries with advanced technology. The level of use of ash and slag wastes is only 30% of the total, depending on the countries where they are formed. The large-scale utilization of ashes and slags are interested in the energy sector, since in this case the difficult issues of technical and environmental order are removed. Although scientists in different countries of the world carry out the development of a scientific and technical justification for the use of TPP wastes, some issues remain unresolved. With the development of scientific and technological progress, new boilers with more advanced conditions for burning coal are emerging and, as a result, waste with other properties is obtained.

In this paper, slag of boilers with a circulating fluidized bed of the TPP was investigated. Slags by chemical-mineralogical composition belong to high calcium and sulphate containing. Their use as an aggregate in concrete requires additional research. The investigations carried out by us have shown that complete replacement of quartz sand with slags results in an insignificant decrease in compressive strength. However, the use of a new generation of superplasticizers, allows reducing the effect of the negative effect of slag on the strength of concrete during compression. The paper presents the results of our studies and the optimal compositions of concrete using slag as a fine aggregate in heavy concretes.

Ключові слова: золошлаки, котли із циркуляційним киплячим шаром, важкі бетони, оптимізація складів бетонів.

Key words: slags, boilers with circulating fluidized bed, heavy concrete, optimization of composition.

Діяльність людини призводить до утворення відходів. З розвитком науково-технічного прогресу все більше розвивається промисловість, а це, як правило, сприяє збільшенню відходів. Якщо людство навчилося використовувати деякі відходи у повторному виробництві, інші відходи не використовуються й накопичуються навколо підприємств, забруднюючи навколишнє середовище та ґрунтові води. Виробництво електроенергії пов'язано з утворенням як твердих відходів, так і радіоактивних. Тверді відходи у вигляді зол та шлаків накопичуються навколо ТЕС.

Основним паливом українських теплових електростанцій є кам'яне вугілля. Відомо, що навіть при нормальній експлуатації золошлакових відвалів мають місце прояви несприятливих геоекологічних процесів і явищ, що порушують екологічну рівновагу в районах їх розміщення. Разом з тим золошлакові матеріали за хімічним і мінералогічним складом багато в чому ідентичні природній мінеральній сировині. Використання їх у промисловості, будівельній індустрії – один із стратегічних шляхів розв'язування екологічної проблеми в зоні роботи ТЕС. Сьогодні золошлаки належать до відходів, але в нашій країні вже досягли розуміння, що це продукт, цінний матеріальний ресурс. Наприкінці минулого століття з'явилися нові котли із циркуляційним киплячим

шаром. Подібні котли почали експлуатувати на деяких ТЕС нашої країни. Золошлаки цих котлів ще досконало не вивчені.

Аналіз останніх досліджень. Паливна промисловість щорічно у відвалах накопичує величезну кількість зол і шлаків. Найбільша їх кількість утворюється в країнах СНД, США, КНР, Індії, Великобританії [1 - 3]. Рівень використання золошлакових відходів змінюється від 1 до 30% загальної кількості залежно від країн, де вони утворюються. Таким чином, у великомасштабній утилізації зацікавлені енергетики, оскільки в цьому випадку знімаються важкі питання технічного й екологічного порядку. Питанням утилізації та переробки відходів ТЕС присвячено безліч робіт [4 - 8]. Практично в кожній з них наводиться детальний аналіз фізико-механічних і хімічних властивостей зазначених відходів та можливі галузі їх використання.

Дослідити властивості золошлаків котлів із циркуляційним киплячим шаром та можливість їх використання як дрібного заповнювача у важких бетонах. Для досягнення мети у роботі було використано математичне планування експерименту за допомогою трифакторної матриці.

Основний матеріал. З метою досконалого вивчення особливостей впливу змінних факторів на фізико-механічні властивості бетонів з використанням золошлаків у роботі був реалізований трифакторний план планування експерименту. Вхідними параметрами були витрати цементу X_1 ; витрати гіперпластифікатора «Fluid Premia-196» – X_2 та ступінь заміщення піску золошлаками – X_3 .

Умови планування експерименту наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Умови планування експерименту.

Змінні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Витрата цементу	X_1	400	500	600	100
Уміст добавки	X_2	0,8	1,4	2,0	0,6
Ступінь заміщення піску П – ЗШ	X_3	0	0,5	1	0,5

Матриця планування експерименту в натуральних значеннях наведена у таблиці 2. Параметрами відклику матриці була міцність при стиску МПа.

У роботі були використано матеріали: портландцемент ПЦ 1-500 Н виробництва «Haldeberg цемент Україна» Криворізького заводу, золотшлаки сухого видалення Старобешівської ТЕС ПАТ Донбасенерго [9,10], гіперпластифікатор «Fluid Premia-196» на основі модифікованих полікарбоксилатів, кварцовий пісок місцевого родовища з модулем крупності $M_{кр} = 1,05$, гранітний щебінь фракції 5–10 мм Кременчуцького родовища.

Змішування компонентів бетонної суміші відбувалася в бетонозмішувачі примусової дії. Дозування компонентів суміші виконували на електронних вагах точністю 0,1 кг. Дозовані компоненти суміші завантажували у змішувач у такій послідовності: щебінь + пісок (зола) + цемент. Компоненти змішувалися без додавання води протягом трьох хвилин. Пластифікатор у дозованій кількості додавався до води й змішувався з нею за допомогою міксера, встановленого на електричному дрилі упродовж 30 секунд. Готову суміш води й пластифікатора додавали до бетонозмішувача. Змішування компонентів продовжували протягом 5 хв. За 5 хв суміш відвантажували зі змішувача та випробовували на рухливість. За основу була прийнята рухливість з осіданням конуса Абрамса на 9 ... 13 см, що відповідає марці за пластичністю ПЗ. За необхідності рухливість суміші регулювали додаванням води. З готової суміші формували зразки у вигляді кубиків зі стороною 10 см. Ущільнення зразків відбувалося на вібростолі з амплітудою коливань 0,5 мм та частотою 50 Гц. За одну добу зразки виймалися із форм. Вони тверднули у лабораторних умовах протягом 28 діб. Додаткових умов для тверднення зразків бетону не створювали. За 28 діб зразки були випробувані згідно з планом експерименту.

Обробку результатів виконували в програмі STATISTICA 6.1. Результати випробувань бетонних зразків на міцність разом зі змінними параметрами планування експерименту наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати випробування зразків бетону на міцність при стиску

№	x ₁	x ₂	x ₃	R _{ст} , МПа
1	2	3	4	5
1	600	2	зола	72,3
2	400	2	зола	43,4
3	600	0,8	зола	70,1
4	400	0,8	зола	38,6
5	600	2	пісок	75,0
6	400	2	пісок	45,1
7	600	0,8	пісок	72,7
8	400	0,8	пісок	41,3
9	600	1,4	0,5+0,5	73,6
10	400	1,4	0,5+0,5	44,4
11	500	2	0,5+0,5	61,1
12	500	0,8	0,5+0,5	59,5
13	500	1,4	зола	63,6
14	500	1,4	пісок	65,4
15	500	1,4	0,5+0,5	66,7
16	500	1,4	0,5+0,5	67,0
17	500	1,4	0,5+0,5	68,0

У результаті обробки отриманих експериментальних даних, наведених у табл. 2, одержано рівняння регресії та розраховано залежність міцності бетонів від зміни факторів варіювання (X₁ – витрата цементу; X₂ – витрата пластифікатора; X₃ – ступінь заміщення піску золошлаками)

$$R_{ст} = 67,5 + 15,09X_1 + 1,17X_2 - 1,16X_3 - 5,93X_1^2 - 4,63X_2^2 - 0,51X_1X_2 - 8,93X_2X_3.$$

Аналіз отриманих даних показує, що наведене рівняння адекватно описує результати експерименту і може бути використане для розрахунку та вибору оптимального складу важких бетонів з використанням досліджуваних золошлаків. Графічна

інтерпретація отриманих результатів експерименту показана на рис.1.

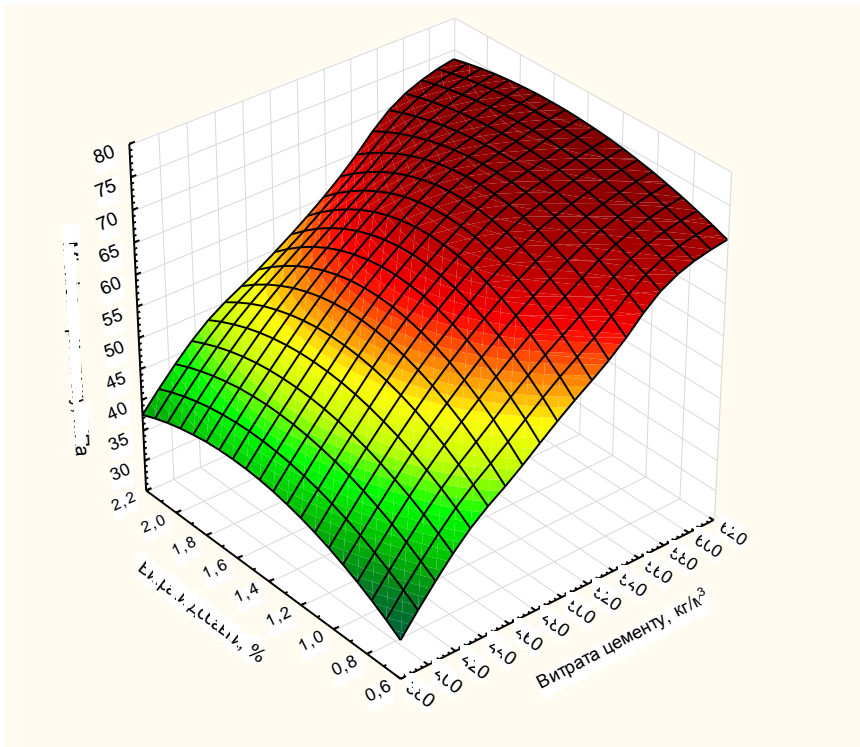


Рис. 1. Ізолінії міцності важкого бетону залежно від умісту цементу та гіперпластифікатора «Fluid Premia–196»

Аналіз результатів дослідження дозволяє зазначити, що в межах планування експерименту витрати цементу мають максимальний вплив на міцність при стиску. Так, при зміні витрат цементу в межах експерименту міцність змінюється від 36 до 78 МПа. Слід зазначити, що вплив витрат цементу на міцність при стиску бетонів носить прямолінійний характер. Це явище не потребує додаткових пояснень.

Вплив гіперпластифікатора на міцність при стиску носить параболічний характер. Максимальний вплив гіперпластифікатора спостерігається при витраті 1,4 .. 1,6% від маси цементу. Подальше

підвищення витрат гіперпластифікатора не приводить до збільшення міцності, але й не знижує міцність при стиску, тому зростання витрат гіперпластифікатора слід оцінювати тільки з економічної точки зору.

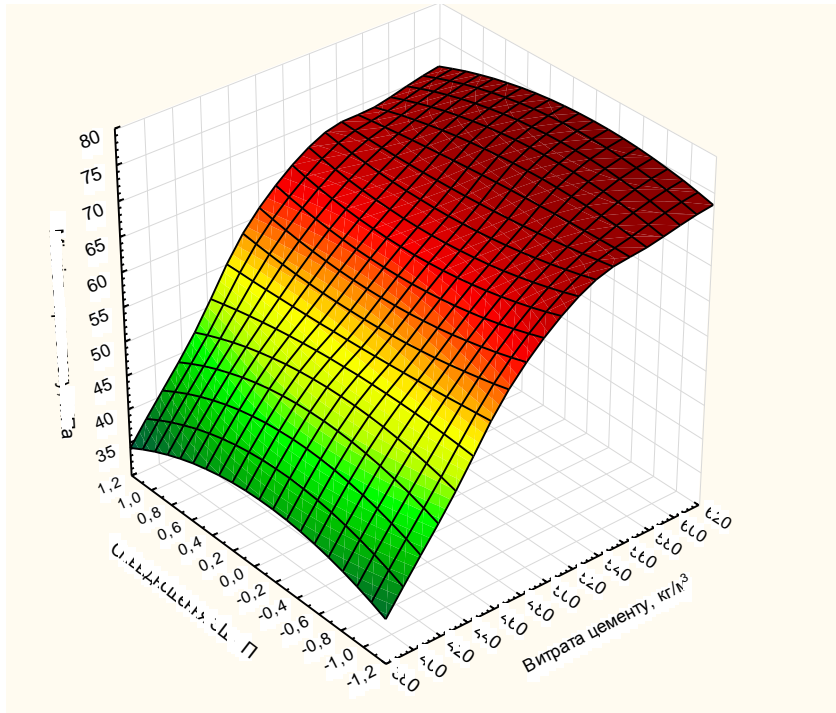


Рис. 2. Ізолінії впливу витрат цементу та ступеня заміщення піску золошлаками на міцність при стиску

Аналізуючи дані дослідження, можна констатувати, що зі збільшенням ступеня заміщення піску золошлаками міцність бетону дещо знижується. Оптимальним умістом золошлаків у бетонах слід вважати заміщення ними піску на половину, тобто $X_3 = 0,5$. Вплив витрат цементу на міцність при стиску так само, як і на попередньому графіку, носить прямолінійний характер, та зі збільшенням витрат цементу міцність зростає.

Зниження міцності при стиску з збільшенням кількості золошлаків у складі бетонів пояснюється тим, що золошлаки мають

меншу міцність, ніж пісок, тому що в них пориста структура та одержані вони шляхом випалювання органічної частини кам'яного вугілля. Феномен зниження міцності бетонів за наявності у складі пористих заповнювачів, описано й у роботах [1,10]. Доведено, що навіть за однакової насипної щільності з природним піском пористі заповнювачі сприяють зниженню міцності бетонів при стиску.

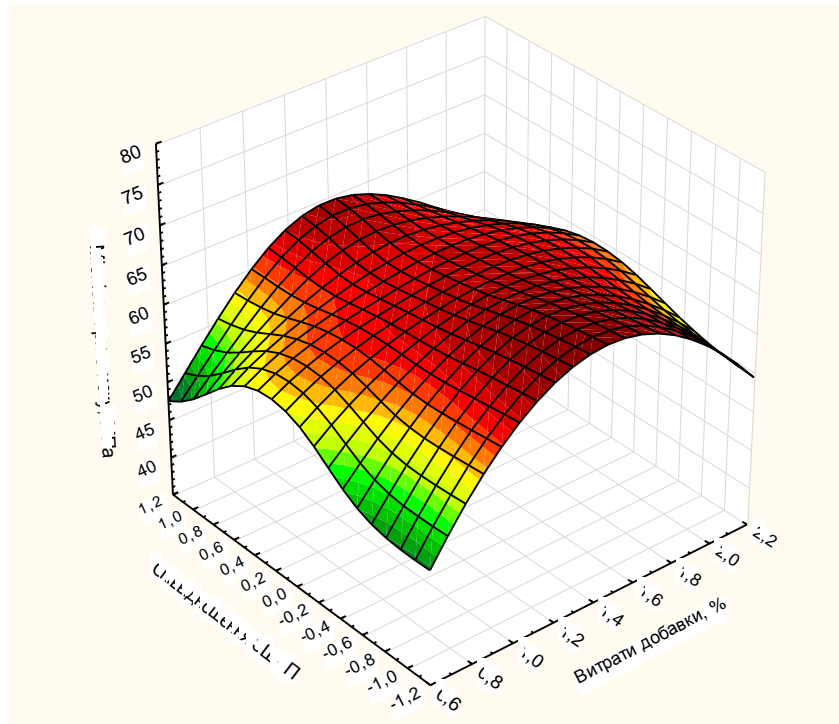


Рис. 3. Ізолінії зміни міцності при стиску бетонів залежно від витрат гіперпластифікатора та ступеня заміщення піску золошлаками

Аналіз даних свідчить про те, що вплив витрат гіперпластифікатора на міцність бетонів при стиску носить параболічний характер. Максимальне значення міцності при стиску спостерігається за витрат гіперпластифікатора 1,2–1,6% від маси цементу. На ізолініях чітко виділяється зона оптимального впливу

ступеня заміщення піску золошлаками ЗШ-П, яка коливається у межах від -0,2 до + 0,6.

Розраховуючи рівняння регресії відносно витрат цементу при фіксованих значеннях витрат добавки на рівні 1,4% від маси цементу та ступеня заміщення піску золошлаками П-ЗШ на рівні 0,5, можна одержати оптимальні склади важких бетонів, які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Оптимальні склади бетонів з використанням золошлаків котлів з циркуляційним киплячим шаром

№	Клас бетону	Витрати матеріалів на 1 м ³ бетону					
		Цемент, кг/м ³	Щебін, кг/м ³	Пісок, кг/м ³	Золошлаки, кг/м ³	Пластифікатор, мл	Вода, л/м ³
1	B15	240	1280	435	435	340	112
2	B25	310	1230	410	410	440	140
3	B30	390	1160	390	390	540	170
4	B40	460	1100	370	370	644	200
5	B50	500	1060	310	310	700	220

Примітка: склади бетонів наведені для випадку використання ПЦ 500 Н.

1. Дослідження довели, що використання золошлаків котлів із циркуляційним киплячим шаром замість кварцового піску сприяє незначному зниженню міцності при стиску бетонів, та збільшенню водопотреби бетонної суміші.

2. З підвищенням витрат цементу його ефективність зростає при використанні гіперпластифікатора на основі модифікованих карбоксилатів.

3. За результатами досліджень розраховані оптимальні склади важких бетонів з використанням досліджуваних золошлаків.

1. Шидловський А. К., Ковалка М. П. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття. – К.: УЄЗ, 2001. – 400 с
2. Червяков Ю. Н. Использование отходов энергетической промышленности в строительстве стеновых материалов / Червяков Ю. Н., Величко Ю. М., Процко А. А. // Строительные материалы и изделия. – 2001. – №3. – С. 15
3. Лобачева Г. К. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки:/ Лобачева Г. К., Желтобрюхов В. Ф., Прокопов И. И., Фоменко А. П. // учебное пособие – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2005. – 176 с.
4. Кривенко П.В. Золощелочные вяжущие / П.В. Кривенко, А.Г. Рябова // Цемент. – 1990. – № 11. – С.14 –16.
5. Berry E.E. Fly Ash for Use in Concrete - a Critical Review / E.E. Berry, V.M. Malhotra // ACI Journal. – March –April, 1980. – P. 59 –73.
6. Malhotra V.M. Superplasticized Fly Ash Concrete for Structural Concrete Application / V.M. Malhotra // Concrete International. – Dec., 1986. – P. 28 –31.
7. McCathy G.I. Use of a Database of Chemical Mineralogical and Physical Properties of North American Fly Ash to Study the Nature of Fly Ash and its utilization as a Mineral Admixture in Concrete. // McCathy G.I., Solem D.N., Manz O.E, and Hassett D.I. // Proc. MRS Symposium “Material Research Society”, Pittsburg, 1999, V. 178, P. 3 –33.
8. Wei Chen. Hydration of slag Cement. Theory, modeling and application. Dissertation of doctor’s degree. — Twente, 2007. 241 p.
9. Ахмеднабиев Р. Р. Свойства золы-унос и золошлаков котлов с циркуляционным кипящим слоем Старобешевской ТЭС Донецкой области / Ахмеднабиев Р.Р., Ахмеднабиев Р.М. // Сборник статей по материалам ЛП Международной научно-практической конференции. — Новосибирск, 2015. — С. 144 – 152
10. Bondar V.A., Akhmednabiyev R.R., Akhmednabiyev R.R. Influence of fly ash and slags of boiler with circulating fluidized bed on properties of concrete. Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. Випуск 2 (47) 2016 с. 148-154.