

Сопов В.П.

Харківський національний технічний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: vsopov@ukr.net; [orcid/org.0000-0001-8050-3932](https://orcid.org/0000-0001-8050-3932))

Ахмеднабієв Р.М., Ахмеднабієв Р.Р.

Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка
(Першотравневий проспект, 24, Полтава, 36000, Україна; email: arasul49@mail.ru)

ДЕФОРМАТИВНІСТЬ БЕТОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОЛОШЛАКІВ КОТЛІВ З ЦИРКУЛЯЦІЙНИМ КИПЛЯЧИМ ШАРОМ

Метою роботи є дослідження впливу золошлаків котлів з циркуляційним киплячим шаром на деформативність важких бетонів. Відомо, що деформації бетону під навантаженням залежить від його складу, властивостей складових матеріалів і виду напруженого стану. В роботі використано портландцемент ПЦ 500 Н криворізького заводу, золошлаки котлів з циркуляційним киплячим шаром Старобешівської ТЕС, щебінь гранітний фракції 5-10 кременчуцького родовища, пісок річковий, суперпластифікатор «Fluid Premia 196». Склад бетонної суміші визначався подібно складу розчину при визначенні марки цементу. Одна частина цементу та три частини заповнювачів. У складі заповнювачів частина щебню складала 0,6. Ступінь заміщення піску золошлаками парувалася від 0 до 1. Бетонну суміш виготовляли у бетонозмішувачах примусової дії. Деформативність бетонів визначали стандартними методами на зразках-призмах 10 x 10 x 40 см. Попередньо була визначена міцність бетонів на стандартних зразках з розміром ребра 10 см. Встановлено, що міцність бетону на призмах складає приблизно 75% від міцності зразків кубиків. Встановлено, що деформативність бетонів з $R_{пр} = 50$ МПа досягає 0,006 перед руйнуванням. З зниженням міцності кінцева деформативність зменшується до 0,0042. Деформативність однотипних бетонів із заміною піска золошлаками и без заміщення практично не відрізняються. Модуль пружності однотипних бетонів практично не відрізняються. Так, модуль пружності бетонів номер 1 та 5 відрізняються на 2,34%, а складів під номерами 4 та 8 відрізняються на 2,35%. Модуль пружності бетону під номером 15 у якій пісок замінений золошлаками на половину модуль пружності такий же самий як і бетонів складів без заміни піска золошлаками.

Ключові слова: бетон, золошлаки, котли з циркуляційним киплячим шаром, деформативність, модуль пружності.

Вступ. Щорічно у світі утворюється досить значний об'єм зол та золошлаків ТЕС, який поступається тільки об'єму виготовлення нерудних будівельних матеріалів [1]. Так, за статистичним аналізом, наведеним в роботі [2], щорічний рівень світового отримання золошлакових відходів складає 370 млн т, проти об'єму доменного гранульованого шлаку – 35 млн т. Однак, як виявлено О.Е. Manz [3], лише третина вказаного об'єму відходів енергетики використовується в галузі будівельних матеріалів.

Дотепер у відвалах ТЕС України на площі понад 3200 га накопичено близько 360 млн т золошлаків. Середньорічний вихід зол та шлаків сягає 14 млн т і у зв'язку з погіршенням якості палива має тенденцію до зростання. Це створює технологічні та екологічні проблеми, оскільки

збільшуються виробничі витрати і вартість природоохоронних заходів. Актуальність проблеми накопичення золошлаків визначається ще й тим, що в енергетичній стратегії держави частка теплових електростанцій зростає.

Нормативні вимоги до дисперсності золошлакових відходів, як правило, відображаються показником питомої поверхні. Так, для кислих зол питома поверхня повинна бути не менше 150...300 м²/кг залежно від їх виду за показниками якості [4]. За даними [5] золи українських ТЕС представлені тонкодисперсними порошками з розмірами частинок переважно сфероїдальної форми від 20 до 60 мкм і середньою питомою поверхнею 260-380 м²/кг.

Дослідженнями встановлено, що використання золи ТЕС як добавки при

виготовленні важких бетонів дозволяє економити біля 10% цементу [6].

Зазвичай золу використовують у бетонах у трьох напрямках: як добавку замість частини цементу, як дрібний заповнювач замість частини піску і як мікронаповнювач [3]. Останнім часом розроблені технології одержання безклінкерних цементів з використанням зол та шлаків шляхом активації їх додаванням лужних або сульфатних компонентів [7,8].

Використання золошлаків як легкого пористого заповнювача замість кварцового піску дозволяє знизити середню густину та теплопровідність бетону [6].

На сучасному етапі золи ТЕС використовують при виготовленні як монолітних, так і збірних бетонних та залізобетонних конструкцій [7]. Введення золошлаків у невеликій кількості сприяє зниженню водовідділення бетонної суміші [10].

Такий підхід дозволив авторам запропонувати комплексну технологію переробки відходів теплоенергетики, яка дозволяє отримувати бетони класу В40 з покращеними експлуатаційними характеристиками [11].

Згідно з даними [12,13], золи, що отримані при використанні технології випалювання у киплячому шарі, доцільно застосовувати у дорожньому будівництві при виготовленні різних видів дорожніх покриттів.

Нами були досліджені золошлаки котлів з циркуляційним киплячим шаром, на предмет можливості їх використання у якості частини піску у важких бетонах. Мінералогічний склад золошлаків був досліджений за результатами рентгеноструктурного аналізу [14].

Найбільш шкідливим компонентом є сірчистий газ, який може бути з'єднаний з іншими оксидами у вигляді ангідриду CaSO_4 або гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В обох випадках сірчані сполуки можуть привести до утворення вторинного етрінгіту, що може спричинити руйнування структури затверділого цементного каменю.

Відомо, що деформації бетону під навантаженням залежить від його складу, властивостей складових матеріалів і виду напруженого стану. Діаграма стиску

бетону має криволінійний обрис, причому кривизна збільшується зі зростанням напруги.

Метою роботи є дослідження впливу золошлаків котлів з циркуляційним киплячим шаром на деформативність важких бетонів. Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені наступні задачі:

- розробка методики ступеня заміщення піску золошлаками;
- підбір складів важких бетонів з використанням золошлаків замість піску;
- виготовлення зразків важких бетонів;
- проведення досліджень деформативності важких бетонів;
- обробка результатів досліджень.

Сировинні матеріали та методи досліджень. В роботі були використані портландцемент ПЦ 500 Н виробництва Хальдеберг-цемент Україна, пісок річковий з $M_{кр} = 1,1$, гранітний щебінь фракції 5-10 мм кременчуцького родовища, золошлаки котлів з циркуляційним киплячим шаром Старобешівської ТЕС з $M_{кр} = 1,0$, пластифікатор «Fluid premia 196» виробництва Франції.

Склади бетонів були підібраний подібно методу визначення марки цементу. Тобто одна частина цементу и три частини заповнювачів. У складі заповнювачів частина щебню складала 0,6 та 0,4 частина піску. Для визначення деформативності були вибрані такі склади бетонів у яких пісок був заміщений золошлаками повністю та наполовину при трьох ступенях витрат цементу. Витрати пластифікатора склали 1,2 % від маси цементу. Бетону суміш виготовляли у бетонозмішувачах примусової дії ємністю ківша 250 л. При виготовленні суміші витримувалася наступна послідовність: щебінь, пісок, цемент, змішування протягом 5 хв. Потім подавалася вода заздалегідь змішану з добавкою. При необхідності кількість води корегувалася під час змішування. Пластичність бетонної суміші відповідала марці ПЗ. Зразки були виготовлені у горизонтальних металевих формах. До випробування зразки зберігались у лабораторних умовах при $t = 18 \pm 2^\circ\text{C}$ та вологості повітря 75 – 85%. Склади бетонів наведено у таблиці 1.

Випробування були проведені на зразках – призмах розмірами $10 \times 10 \times 40$ см. Паралельно з ними були випробувані зразки-кубики з стороною 10 см. Випробування проведені за стандартною методикою. Для вимірювання деформацій були використані тензометри годинникового типу.

Таблиця 1 - Склади бетонів для випробування на деформативність

№ серії	Склад бетону, кг/м ³			
	цемент	щебінь	Пісок: ЗШ	Пластифікатор, мл
1	600	1100	740 ЗШ	720
4	400	1200	800 ЗШ	480
5	600	1100	740 пісок	720
8	400	1200	800 пісок	480
15	500	1250	384 пісок 384 ЗШ	620

Примітка: у таблиці наведені номери складів згідно до матриці планування експерименту.

Результати досліджень. Важливе значення для розрахунку конструкцій і оцінки їх поведінки під навантаженням мають величини граничних деформацій, при яких починається руйнування бетону. За досвідченими даними, гранична стисливість бетону змінюється в межах $0,0015 \dots 0,003$. Збільшуючись при підвищенні міцності бетону, тому деформації вимірювали до руйнування зразків.

Попередньо були випробувані зразки-куби для визначення міцності, та призми для визначення граничної міцності $R_{пр}$. Випробування на деформативність продовжувалися до повного руйнування зразків. За результатами випробувань були побудовані графіки залежності деформації від напруження, які наведені на рис. 1.

Аналізуючи графіки деформативності слід зазначити, що деформативність бетонів з $R_{пр} = 50$ МПа досягає $0,006$ перед руйнуванням. З зниженням міцності кінцева деформативність зменшується до

$0,0042$. Деформативність однотипних бетонів із заміною піска золошлаками и без заміщення практично не відрізняються, це серія зразків під номерами 1 і 5, та 4 і 8. Серія зразків під номером 15, у якій пісок був заміщений золошлаками на половину показує міцність та деформативність, що відповідає середині крайніх значень у межах експерименту.

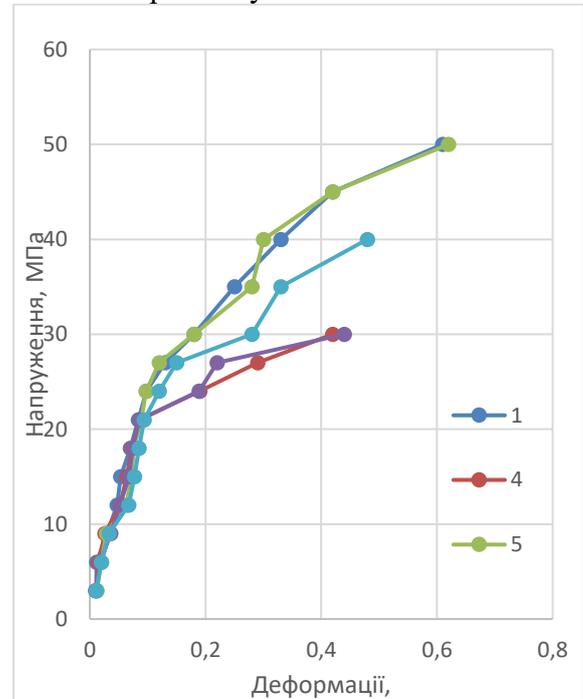


Рис. 1. Зведена діаграма деформативності бетонів різних марок. Номер легенди відповідає номеру складів відповідно таблиці планування експериментів.

Про деформаціях бетону під дією навантаження судять по його модулю деформації, тобто по відношенню напруги до відносної деформації, спричиненої його дією. Чим вище модуль деформації тим менше деформативний матеріал. Оскільки діаграма стиснення бетону вигнута, то його модуль деформації залежить від значень відносних напружень σ / R , поступово знижуючись з їх збільшенням, причому тим більше, чим нижче клас бетону. Зазвичай визначають або початковий модуль деформації бетону E_0 , коли переважають пружні деформації, або модуль деформації при певному значенні σ / R . Нами було розраховано модуль пружності при $\sigma/R=0,3$. Результати наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 - Механічні властивості бетонів

№ серії	Склад бетону, кг/м ³				R _{ст} , МПа	R _{пр} , МПа	Модуль пружності, МПа
	цемент	щебінь	пісок, ЗШ	Пластифікатор, мл			
1	600	1100	740 ЗШ	720	71,54	54,3	29,41·10 ⁻³
4	400	1200	800 ЗШ	480	41,32	33,12	27,62·10 ⁻³
5	600	1100	740 пісок	720	74,8	56,45	30,1·10 ⁻³
8	400	1200	800 пісок	480	44,41	34,3	28,27·10 ⁻³
15	500	1250	384 пісок 384 ЗШ	620	58,75	44,6	29,62·10 ⁻³

Висновки. Аналіз даних таблиці свідчать про те, що модуль пружності одноптипних бетонів практично не відрізняються. Так, модуль пружності бетонів номер 1 та 5 відрізняються на 2, 34 %, а складів під номерами 4 та 8 відрізняються на 2, 35%. Модуль пружності бетону під номером 15 у якій пісок замінений золошлаками на половину модуль пружності такий же самий як і бетонів складів без заміни піска золошлаками.

Таким чином було встановлено, що деформативність бетонів з використанням золошлаків котлів з циркуляційним киплячим шаром не відрізняються від деформативності звичайних бетонів на традиційних заповнювачах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Утилизация попутных продуктов горения в промышленности строительных материалов: обзор 15 Международного симпозиума «Управление производством и использование продуктов горения угля». *Енергозберігаючі технології. Застосування відходів промисловості в будівельних матеріалах та будівництві*. К., 2004. С. 165-169.
2. Damtoft J.S., Herfort D., Yde E. Concrete binders, mineral additions and chemical admixtures: state of the art and challenges for the 21st century: Intern. Congress «*Creating with Concrete, Opening and Leader Papers of the Proceedings*». University of Dundee, Scotland, UK, 1999. P. 153-168.
3. Manz O.E. Worldwide production of coal ash and utilization in concrete and other products. *Fuel*. Vol. 76. № 8. 1997. P. 691- 696.
4. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Корнейчук Л.И. Эффективные цементно-золевые бетоны. Ровно, 1998. 196 с.
5. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. К.: Будівельник, 1984. 120 с.
6. Шидловський А.К., Ковалка М.П. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття. К.: УЄЗ, 2001. 400 с.
7. Вінниченко В.І., Сопов В.П., Буцький В.О., Костюк Т.О. Активация шлаковых сумішей шляхом додавання до складу портландцементу і фосфогіпсу. *Науковий вісник будівництва*, 2017. т. 89, №3. С. 207-210.
8. Кривенко П.В., Руденко І.І., Петропавловський О.М., Константиновський О.П. Високорухомі шлаколужні бетони з підвищеною ранньою міцністю. *Науковий вісник будівництва*, 2018. т. 94. №4. С. 117-124.
9. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы. Хранение, утилизация, переработка. М.: Фаир-Пресс, 2002. 336 с.
10. Krivenko P.V., Kovalchuk G.Yu. Fly Ash Based Alkaline Cements application: Proceeding of 2007. Intern. Conf. «*Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization*». Praga, 2007. P. 313-332.
11. Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Павлюк В.В. Комплексне використання відходів паливно-енергетичної промисловості для отримання композиційних матеріалів з покращеними експлуатаційними характеристиками: матеріали конфер. «*Енергозберігаючі технології. Застосування відходів промисловості в будівельних матеріалах та будівництві*». Київ, 2004. С. 96-103.
12. Culton G.L., Farrington S.A., ed. By Dhir R.K. and Jones. Rapid Repair Mortar Based on a High-Calcium Fly Ash Binder: Pros. of the Int. Conf. «*Concrete 2000. Economic and Durable Construction through*

- Excellent*». Dundee. Scotland, UK, 1993. V. 2. P. 1315-1322.
13. Bland A.E. Jones C.E., Rose J.G., Harness J.L. Ash Management Option for Bubbling Bed AFBC Technologies. *Fluidised Bed Combustion*. ASME, 1995. V. 2. P. 9-19.
 14. Ахмеднабієв Р.М., Ахмеднабієв Р.Р. Твердіння цементних розчинів з золошлаками котлів з циркуляційним киплячим шаром. *Збірник наукових праць українського державного університету залізничного транспорту*. Харків, 2017. Випуск 169. С. 5-10.

Сопов В.П. Ахмеднабієв Р.М. Ахмеднабієв Р.Р. ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛОШЛАКОВ КОТЛОВ С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ. Целью работы является исследование влияния золошлаков котлов с циркуляционным кипящим слоем на деформативность тяжелых бетонов. Известно, что деформации бетона под нагрузкой зависит от его состава, свойств составляющих материалов и вида напряженного состояния. В работе использованы портландцемент ПЦ 500 Н криворожского завода, золошлаки котлов с циркуляционным кипящим слоем Старобешевской ТЭС, щебень гранитный фракции 5-10 Кременчугского месторождения, песок речной, суперпластификатор «Fluid Premia 196». Состав бетонной смеси определялся подобно составу раствора при определении марки цемента. Одна часть цемента и три части заполнителей. В составе заполнителей часть щебня составляла 0,6. Степень замещения песка золошлаками варьировался от 0 до 1. Бетонную смесь изготавливали в бетономесителе принудительного действия. Деформативность бетонов определяли стандартными методами на образцах-призмах 10 x 10 x 40 см. Предварительно была определена прочность бетонов на стандартных образцах с размером ребра 10 см. Установлено, что прочность бетона на призмах составляет примерно 75% от прочности образцов кубиков. Установлено, что деформативность бетонов с $R_{пр} = 50$ МПа достигает 0,006 перед разрушением. С понижением прочности конечная деформативность уменьшается до 0,0042. Деформативность однотипных бетонов с заменой песка золошлаками и без замещения практически не отличаются. Модуль упругости однотипных бетонов практически не отличаются. Так, модуль упругости бетонов номер 1 и 5 отличаются на 2, 34%, а складов под номерами 4 и 8 отличаются на

2, 35%. Модуль упругости бетона под номером 15 в которой песок заменен золошлаков на половину модуль упругости такой же как и бетонов составов без замены песка золошлаков.

Ключевые слова: бетон, золошлаки, котлы с циркуляционным кипящим слоем, деформативность, модуль упругости.

Sopov V.P. Ahmednabiev R.M. Ahmednabiev R.R. DEFORMATIVITY OF CONCRETE WITH THE USE OF THE SLAGS OF BOILERS WITH CIRCULATING FLUIDIZED BED. The aim of the work is to study the effect of slag of boilers with a circulating fluidized bed on the deformability of heavy concrete. It is known that the deformation of concrete under load depends on its composition, the properties of the constituent materials and the type of stress state. We used Portland cement PC 500 N of the Krivoy Rog plant, slag of boilers with a circulating fluidized bed of the Starobeshevskaya TPP, crushed granite fraction 5–10 of the Kremenchug deposit, river sand, and Fluid Premia 196 superplasticizer. The composition of the concrete mixture was determined similar to the composition of the solution in determining the brand of cement. One-part cement and three part aggregates. In the composition of the aggregates of the rubble was 0.6. The degree of sand substitution by slag ranged from 0 to 1. The concrete mix was made in a forced-action concrete mixer. The deformability of concrete was determined by standard methods on prism samples of 10 x 10 x 40 cm. Previously, the strength of concrete on standard samples with a fin size of 10 cm was determined. It was established that the strength of concrete on prisms is approximately 75% of the strength of the cube's samples. It is established that the deformability of concrete with $R_{pr} = 50$ MPa reaches 0.006 before destruction. With a decrease in strength, the final deformability decreases to 0.0042. The deformability of the same type of concrete with the replacement of sand with slag and without substitution practically do not differ. The modulus of elasticity of the same type of concrete practically does not differ. Thus, the modulus of elasticity of concrete number 1 and 5 differ by 2, 34%, and warehouses numbered 4 and 8 differ by 2, 35%. The modulus of elasticity of concrete is numbered 15 in which the sand is replaced slag by half the modulus of elasticity is the same as for concrete compositions without replacing the sand with slag.

Keywords: concrete, ash and slag, circulating fluidized bed boilers, deformability, modulus of elasticity.