

**КОНСТРУКЦІЙНІ БЕТОНИ, ОТРИМАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ
ПРОМИСЛОВОСТІ**

Гончар О.А., к.т.н., доцент,
Київський національний університет будівництва і архітектури
oagon@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1071-7553

Анотація. Екологічні проблеми України потребують розробки нових ефективних технологій переробки відходів теплоенергетики, представлених золами та шлаками ТЕС. Ця група відходів відрізняється значним об'ємом накопичень, який постійно збільшується. Вибір технології утилізації вказаних відходів залежить від таких факторів, як їхній хіміко-мінералогічний та гранулометричний склад, величина питомої поверхні, спосіб видалення тощо.

Метою роботи є отримання конструкційних бетонів з покращеними експлуатаційними характеристиками, до складу яких входять відходи промисловості, за рахунок підбору складу заповнювачів та використання зололужних в'язучих композицій, модифікованих штучними цеолітами.

В роботі було запроєктовано склад бетонних сумішей на базі зололужних цементів, причому для покращання експлуатаційних характеристик бетонів підбір складу заповнювачів виконано методом ітерації, який дозволяє за рахунок регулювання співвідношення між фракціями крупного та дрібного заповнювача досягти найменшої пористості, що є однією з умов отримання штучного каменю з мінімальною пористістю та водопоглинанням, а відповідно, з високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями.

Використання розроблених складів бетонів дозволить не лише утилізувати значну кількість відходів теплоенергетики (до складу зололужних в'язучих композицій входить 60% золи), а й отримувати ефективні конструкційні матеріали з покращеними експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: зололужні в'язучі, експлуатаційні характеристики, технологія утилізації, відходи теплоенергетики

Введення. Невідкладне вирішення екологічних проблем України потребує розробки нових ефективних технологій переробки відходів теплоенергетики, представлених золами та шлаками ТЕС. Ця група відходів відрізняється значним об'ємом накопичень, який постійно збільшується. За статистичними даними, на ТЕС України щорічно утворюється приблизно 15-16 млн. тонн золошлакових відходів, а загальна кількість нагромаджених відходів у золошлаковідвалах складає не менше 220 млн.т. Ще одним не менш важливим показником є те, що питома вага переробки відходів ТЕС в Україні знаходиться в межах 10-14%, тоді як у США цей показник досяг 20%, у Великій Британії – 60%, у Франції – 62%, у Німеччині – до 76% [1].

Вибір технології утилізації вказаних відходів залежить від таких факторів, як їхній хіміко-мінералогічний та гранулометричний склад, величина питомої поверхні, спосіб видалення тощо. Незважаючи на те, що зазначені відходи широко використовуються для виробництва в'язучих систем різного типу, таких як пуцоланові цементи, золосульфатмісткі [2] і гіпсоцементнозольні в'язучі речовини [3], зололужні цементы [4-6], загальний об'єм їхньої утилізації, на жаль, залишається досить низьким.

Численними дослідженнями [7-9] показано можливість використання зол та шлаків ТЕС як активних мінеральних добавок або заповнювачів при отриманні бетонів спеціального призначення на їх основі. Однак частка золи в таких системах зазвичай не перевищує 25-30%, а виготовлення бетонних виробів на їхній основі вимагає додаткових енерговитрат на

теплову обробку.

Метою роботи є отримання конструкційних бетонів з покращеними експлуатаційними характеристиками, до складу яких входять відходи промисловості, за рахунок підбору складу заповнювачів та використання зололужних в'язучих композицій, модифікованих штучними цеолітами.

Матеріали та методика досліджень. Для приготування зололужних цементів та синтезу модифікуючих добавок використовували золу Трипільської ДРЕС, до складу в'язучих композицій входив також шлак доменний гранульований Дніпропетровського заводу ім. Петровського, як лужний компонент – розчинний силікат натрію з силікатним модулем 2 та густиною 1300 кг/м³. Як дрібний заповнювач застосовано Дніпровський кварцовий пісок з модулем крупності 1,2, та відсів гранітний (2,5-5мм), а як крупний заповнювач – щебінь гранітний (фракція 5-10мм). Золошлакову суміш готували сумісним помелом у кульовому млині золи та шлаку протягом 1,5 год, питома поверхня отриманої суміші становила 490 м²/кг (за Блейном).

Підбір складу бетонних сумішей було здійснено за стандартними методиками з подальшою оптимізацією зернового складу заповнювача, який проводили методом чергових наближень (ітерації), що полягав у змішуванні крупних та дрібних фракцій в різних пропорціях та визначенні кожного разу насипної густини та пустотності суміші.

Результати досліджень. Попередніми дослідженнями [10-11] було проведено оптимізацію складу зололужних в'язучих систем та встановлено, що кращі міцнісні показники, які характеризуються стабільністю у часі, має в'язуча композиція, що містить 60% золи Трипільської ДРЕС, 40% шлаку, модифікована 10% добавки штучних цеолітів, синтезованих з використанням відходів теплоенергетики.

В роботі було запроєктовано склад бетонних сумішей на базі зололужних цементів, причому для покращання експлуатаційних характеристик бетонів підбір складу заповнювачів виконано методом ітерації, який дозволяє за рахунок регулювання співвідношення між різними фракціями заповнювачів досягти найменшої пустотності, що є однією з умов отримання штучного каменю з мінімальною пористістю та водопоглинанням, а відповідно, з високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями. Виходячи зі складу продуктів гідратації зололужних композицій [10-11] існує можливість формування більш міцної контактної зони на границі «зололужна в'язуча речовина: заповнювач» у випадку використання гранітного заповнювача, що і обумовило часткову заміну кварцового піску як дрібного заповнювача на гранітний відсів фракції 2,5-5 мм.

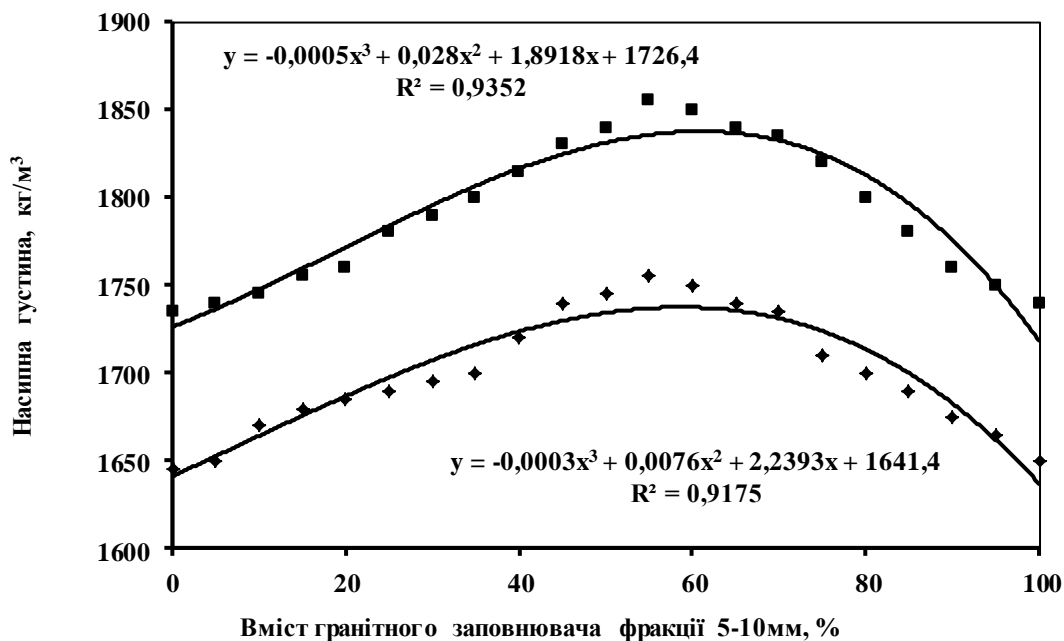
Згідно з експериментальними даними по визначенню насипної густини та пустотності суміші гранітного заповнювача в рихлонасипному та ущільненому стані залежно від співвідношення фракцій гранітного заповнювача (фракція 5-10мм : фракція 2,5-5 мм) та від співвідношення між гранітним та кварцовим заповнювачем побудовано графічні залежності, представлені на рис. 1 та на рис. 2, екстрапольовані кубічним поліномом за методом найменших квадратів. В рівняннях, приведених на рис. 1 та 2 в якості змінної, позначеної латинською літерою «x», обрані вміст крупної фракції 5-10 мм у суміші дрібної та крупної фракцій гранітного заповнювача (для позиції «а») та вміст гранітного заповнювача у його суміші з піском (для позиції «б»), наведені під осями аргументів на відповідних рисунках у відсотках. Для зручності відображення коефіцієнти при старшому члені кубічного полінома на рис. 2 подані у експоненційному форматі – «4E-05», «5E-05», «8E-05», «1E-04», що еквівалентно записам «4·10⁻⁵», «5·10⁻⁵», «8·10⁻⁵», «1·10⁻⁴».

Аналіз отриманих залежностей дозволив встановити оптимальні співвідношення для фракцій гранітного заповнювача (55% фракції 5-10 мм, 45% фракції 2,5-5 мм), а також для суміші гранітного заповнювача та піску (65% гранітного заповнювача та 35% піску), застосування яких дозволяє компонувати суміші заповнювачів із мінімальною пустотністю.

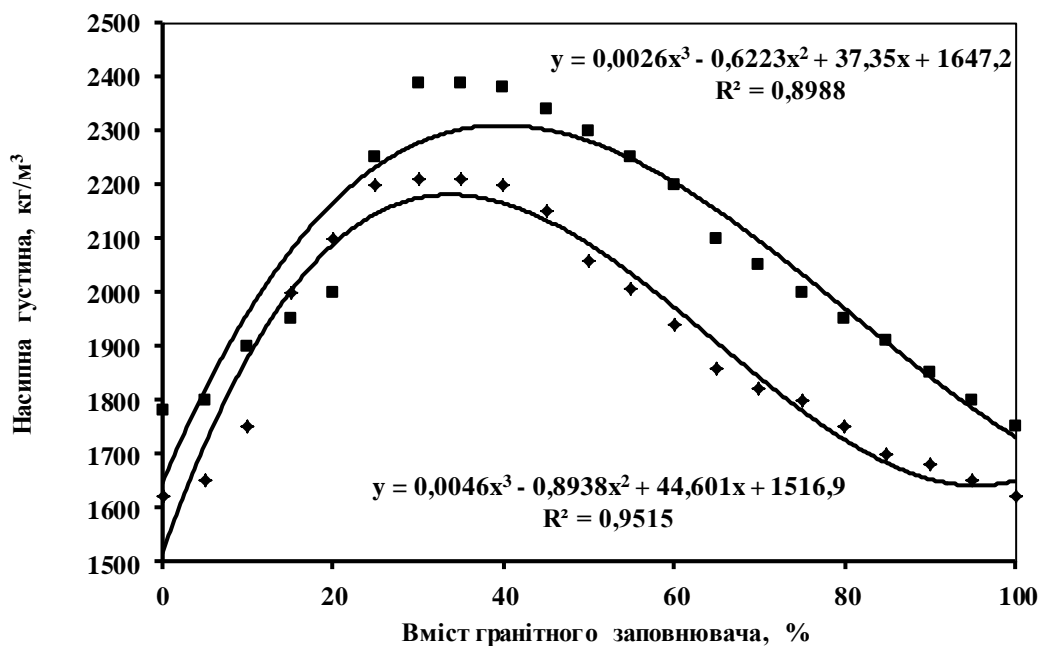
Ці суміші були використані при розробці складів важкого бетонів на базі зололужних в'язучих речовин, фізичні та фізико-механічні характеристики яких наведено у табл. 1.

Отримані дані свідчать про можливість зниження водопоглинання (до 5%) та

пористості (до 3,5%) важких бетонів на основі зололужних композицій за рахунок їх модифікації добавками штучних цеолітів. При цьому пористість бетонів на основі вказаних систем зменшується майже на 30% і становить 3,36%.



а)



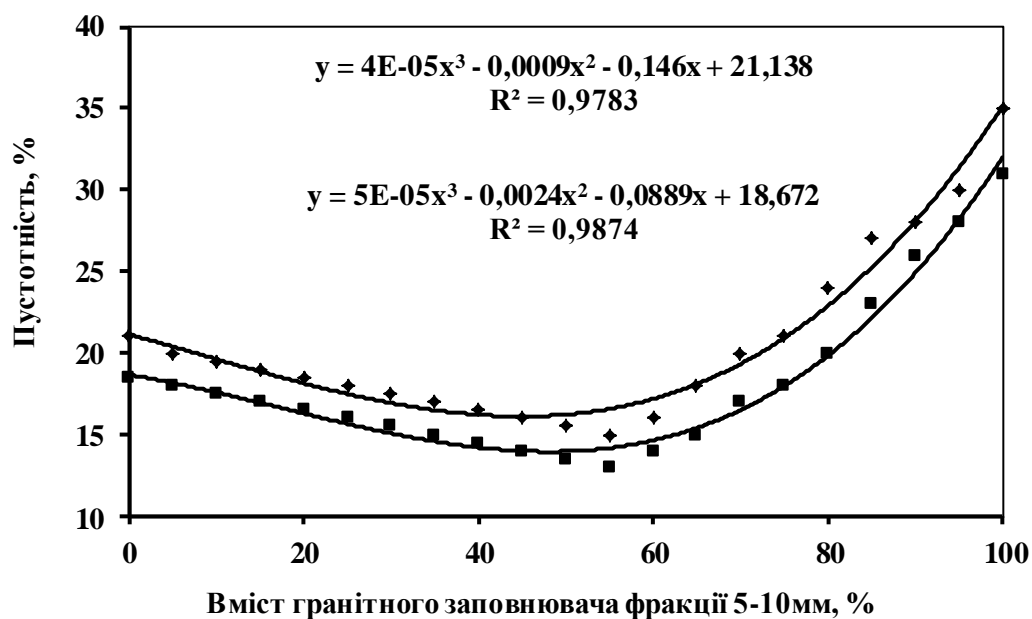
б)

Рис. 1. Залежність насипної густини від вмісту крупної фракції у суміші дрібної (2,5-5мм) та крупної (5-10 мм) фракцій гранітного заповнювача (а) та від вмісту гранітного заповнювача у його суміші з піском (б). Умовні позначення: ■ – суміш заповнювачів в ущільненому стані ; ◆ – суміш заповнювачів у рихлонасипному стані

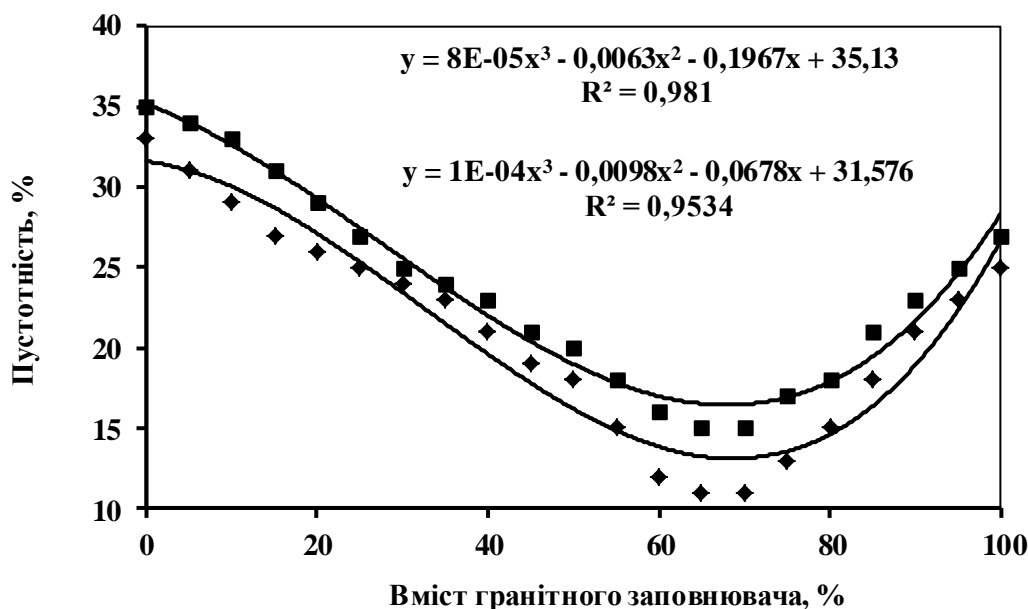
Висновки. Оцінюючи фізичні та фізико-механічні характеристики бетонів на основі зололужних в'язучих композицій, модифікованих штучними цеолітами, склад яких підбрано розглянутим в роботі методом, слід зазначити, що їх показники водопоглинання не перевищують 5%, а показники пористості – 3,5%. Щільна структура отриманого штучного

каменю забезпечує високі показники таких властивостей бетонів як морозо-, атмосферостійкість та стійкість до дії агресивних середовищ, а використання модифікуючої добавки підвищує міцнісні показники отриманих бетонів, які є визначальними критеріями конструкційних матеріалів, на 60%.

Використання розроблених складів бетонів на основі модифікованих зололужних в'язучих композицій, які містять 65% гранітного заповнювача (з вмістом фракції 5...10 мм – 55%, фракції 2,5...5 мм – 45%) та 35% піску, дозволить не лише утилізувати значну кількість відходів теплоенергетики (до складу зололужних в'язучих композицій входить 60% золи), а й отримувати ефективні конструкційні матеріали з покращеними експлуатаційними характеристиками.



а)



б)

Рис. 2. Залежність пористості від вмісту крупної фракції у суміші дрібної (2,5-5мм) та крупної (5-10 мм) фракцій гранітного заповнювача (а) та від вмісту гранітного заповнювача у його суміші з піском (б). Умовні позначення: ■ – суміш заповнювачів в ущільненому стані ; ◆ – суміш заповнювачів у рихлонасипному стані

Таблиця 1 – Фізичні та фізико-механічні характеристики зололужних бетонів, модифікованих добавкою штучного цеоліту

Склад в'язучої композиції	Фізико-механічні характеристики бетонів			
	міцність при стиску зразків, МПа, у віці 28 діб	середня густина, ρ_m , кг/м ³	водопоглинання, W_m , %	пористість, П, %
Без добавок	28,73	2456,14	5,43	4,61
З добавкою штучних цеолітів	46,33	2498,58	4,68	3,36

Література

1. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Малинина Л.А., Щеблыкина Т.П., Ганжара И.В., Дажанов Н.Т. Малоклинкерное гидравлическое отходоёмкое вяжущее для малоэтажного строительства. Строительные материалы. 1995. №1. С. 14-17.
3. Гасан Ю.Г., Казанский В.М., Кучерова Г.В. Эффективность применения зол ТЭС в изделиях на основе гипсовых вяжущих. Комплексное использование минерального сырья и попутных продуктов при пр-ве строит. материалов. Киев: КИСИ, 1991. С. 125-132.
4. Кривенко П.В. Лужні цементы: термінологія, класифікація, галузі застосування. Будівельні матеріали і конструкції. 1995. №1. С. 23-24.
5. Глуховский В.Д. Избранные труды. К.: Будівельник, 1992. 208 с.
6. Кривенко П.В., Блажис Г.Р., Гоц В.І., Ростовська Г.С. Роль золи у формуванні в'язучих властивостей цементних композицій. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2002. №8. С.23-31.
7. Кривенко П.В., Блажис Г.Р., Гоц В.І., Ростовська Г.С. Активність високонаповнених зололужних композицій на основі зол виносу. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2002. №9. С.29-36.
8. Гоц В.И., Пашенко Н.И., Волянский А.А., Конакова О.М. Использование золы-уноса в качестве мелкого заполнителя при изготовлении шлакощелочного керамзитобетона. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: тез. Докл. II Всесоюзной науч.-практ. конф. Киев, 1984. С.231-232.
9. Пашков И.А., Чурсин С.И. Шлакощелочные бетоны с использованием зол и шлаков тепловых электростанций. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: тез. Докл. II Всесоюзной науч.-практ. конф. Киев, 1984. С.187-188.
10. Пушкарьова К.К., Назим О.А. Технічні переваги модифікації композиційних в'язучих систем цеолітовими добавками та перспективність їх використання для отримання бетонів з наперед заданими властивостями. Композиційні матеріали для будівництва: зб. наук. пр. Макіївка: ДонДАБА, 2003. Вип. 2003-1 (38). С. 88-91.
11. Пушкарьова К.К., Назим О.А. Оптимізація складу лужних золошлакових в'язучих систем, модифікованих штучними цеолітами, та їх використання для отримання бетонів спеціального призначення. Мат-лы к межд. сем. «Моделирование и оптимизация композитов». Одесса: Астропринт, 2003. С. 57-59.

References

- [1] Ofitsiyniy sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
- [2] L.A. Malynyna, T.P. Shcheblykina, Y.V. Hanzhara, N.T. Dazhanov, Maloklynkernoe hydryavlycheskoe otkhodoemkoe vyzhushchee dlia maloetazhnogo stroytelstva, *Stroytelnie materyali*, no. 1, pp. 14-17, 1995.
- [3] Yu.N. Hasan, V.M. Kazanskyi, H.V. Kucherova, Effektyvnost prymeneniya zol TES v

- yzdelyiakh na osnove hypsovikh viazhushchykh, *Kompleksnoe yspolzovanye myneralnoho siria y poputnikh produktov pry pr-ve stroyt. materiyalov*, Kyev: KYSY, pp. 125-132, 1991.
- [4] P.V. Kryvenko, Luzhni tsementy: terminohiia, klasyfikatsiia, haluzi zastosuvannia, *Budivelni materialy i konstruksii*, no. 1, pp. 23-24, 1995.
- [5] V.D. Hlukhovskiy, *Yzbrannie trudi*, K.: Budivelnyk, 1992.
- [6] P.V. Kryvenko, H.R. Blazhis, V.I. Hots, H.S. Rostovska, Rol zoly u formuvanni viazhuchykh vlastyvostei tsementnykh kompozytsii, *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, no. 8, pp. 23-31, 2002.
- [7] P.V. Kryvenko, H.R. Blazhis, V.I. Hots, H.S. Rostovska, Aktyvnist vtsokonapovnenykh zololuzhnykh kompozytsii na osnovi zol vynosu, *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, no. 9, pp. 29-36, 2002.
- [8] V.Y. Hots, N.Y. Pashchenko, A.A. Volianskyi, O.M. Konakova, Yspolzovanye zoli-unosa v kachestve melkoho zapolnyteliia pry yzghotovlenyy shlakoshchelochnoho keramzytobetona, *Shlakoshchelochnie tsementi, betoni y konstruksyy: tez. Dokl. II Vsesoiuznoi nauch.-prakt. konf*, Kyev, pp. 231-232, 1984.
- [9] Y.A. Pashkov, S.Y. Chursyn, Shlakoshchelochnie betoni s yspolzovanyem zol y shlakov teplovikh elektrostantsyi, *Shlakoshchelochnie tsementi, betoni y konstruksyy: tez. Dokl. II Vsesoiuznoi nauch.-prakt. konf*, Kyev, pp. 187-188, 1984.
- [10] K.K. Pushkarova, O.A. Nazym, Tekhnichni perevahy modyfikatsii kompozytsiinykh viazhuchykh system tseolitovymy dobavkamy ta perspektyvnist yikh vykorystannia dlia otrymannia betoniv z napered zadanymy vlastyvostiamy, *Kompozytsiini materialy dlia budivnytstva: zb. nauk. pr.*, Makiiivka: DonDABA, vol. 2003-1 (38), pp. 88-91, 2003.
- [11] K.K. Pushkarova, O.A. Nazym, Optyimizatsiia skladu luzhnykh zoloshlakovykh viazhuchykh system, modyfikovanykh shtuchnymy tseolitamy, ta yikh vykorystannia dlia otrymannia betoniv spetsialnoho pryznachennia, *Mat-to the Int. sem. «Modeling and optimization of composites»*, Odessa, Astroprint, pp. 57-59, 2003.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ БЕТОНЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Гончар О.А., к.т.н., доцент,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры
oagon@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1071-7553

Аннотация. Для решения экологических проблем, с которыми сталкивается Украина, необходима разработка новых эффективных технологий переработки таких многотоннажных отходов теплоэнергетики, как золы и шлаки угольных ТЭС и ТЭЦ. Объёмы угольных зол и шлаков, депонированных на золоотвалах электростанций измеряются десятками миллионов кубических метров, и динамика их накопления имеет тенденцию к росту. При выборе пакета технологических решений по утилизации зол и шлаков, необходимо учитывать широкий спектр их технологических характеристик: химический, минеральный и гранулометрический состав, удельную поверхность, влажность, способ золоудаления.

Данная работа посвящена разработке и оптимизации составов бетона с повышенными эксплуатационными характеристиками, полученных на основе золощелочных вяжущих композиций.

При проведении исследований основное внимание было уделено минимизации пористости и водопоглощения искусственного камня, что является базовым условием получения бетона с повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. С этой целью при проектировании составов бетонных смесей на основе золощелочных цементов подбор состава заполнителей осуществлён методом итерации, позволяющим добиться минимальной пустотности матрицы за счёт регулирования отношения между фракциями крупного и мелкого заполнителя.

Оценивая физические и физико-механические характеристики бетонов, полученных с

использованием отходов теплоэнергетики, можно сделать вывод, что предложенные автором составы бетонов позволят улучшить такие специальные свойства разработанных бетонов как морозо- и атмосферостойкость, а также стойкость к воздействию агрессивных сред, которые зависят от показателей пористости и водопоглощения полученного искусственного камня, при этом также повысятся прочностные показатели, которые являются определяющими критериями конструкционных материалов.

Внедрением разработанных составов бетонов в гражданском и промышленном строительстве одновременно решаются задачи эффективной утилизации отходов теплоэнергетики (за счёт введения в состав золощелочных вяжущих до 60% угольной золы) и обеспечения строительных предприятий эффективными конструкционными материалами с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: золощелочные вяжущие, эксплуатационные характеристики, технология утилизации, отходы теплоэнергетики.

THE CONSTRUCTIONAL CONCRETES BASED ON THE INDUSTRIAL WASTES

Honchar O., PhD., Assistant Professor,
Kiev National University of Civil Engineering and Architecture
oagon@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1071-7553

Abstract. To solve the actual ecological challenges threatening Ukraine it is necessary to develop innovative technologies for the utilization of multi tonnage thermal-power-plants (TPP) wastes (such as coal ashes and slags from TPP). The amount of these wastes in the ash and slag dumps of power plants in Ukraine may be estimated as tens of millions of cubic meters. The dynamics of waste accumulation tends to increase due to the decrease of the coal quality. It is a strong reason to introduce the utilization technologies of ashes and slags, taking into account a lot of parameters: the chemical, mineralogical and granulometrical features of each ash type, its specific surface area, technologies of the slag evacuation and deposition.

The aim of this research is to develop and optimize compositions of concrete with improved technical, consuming and operational characteristics on the basis of the fly ash-alkali binders.

The major goal of this work is a minimization of a pore volume and water absorption of produced artificial stone. It is a basis for production of concretes with improved physical-mechanical and operational properties. To reach this goal, the iteration method of the coarse/fine aggregates proportion computation was applied when the concrete compositions based on ash-alkali binders were developed.

The comparison of the physical and physical-mechanical properties of the concretes containing TPP wastes with the same properties of the conventional concretes allows to make conclusion that the concrete composition changes suggested by the author lead to sufficient improvement of the special properties of these concretes, such as frost resistance, weather resistance and corrosive resistance. All of them depend on the pore volume and, therefore, on the water absorption of artificial stone the author has obtained. The decrease of the pore volume and water absorption also leads to the increase of all kinds of strength that are the main parameters for the construction concretes.

The application of the developed high quality concretes in the construction industry allows to achieve two benefits. The first is the utilization of sufficient amount of TPP wastes as a valuable component of concrete. The second is the satisfaction of the demand for the concretes with improved technical, mechanical and operational parameters.

Keywords: ash-alkali binders, operational characteristics, utilization technologies, thermal-power-plants wastes.

Стаття надійшла 17.06.2019