УДК 691:66-96

Поліщук-Герасимчук Т. О., к.т.н., ст. викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

АЛЬТЕРНАТИВНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ – ЗОЛОСУЛЬФАТНІ В'ЯЖУЧІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В статті розглянуто технологію виготовлення альтернативних будівельних матеріалів – золосульфатних в'яжучих на основі відходу виробництва вугільних ТЕС – золи-виносу. Запропоновано шляхи вирішення екологічної проблеми щодо утилізації золи. Приведено результати експериментальних досліджень.
***Ключові слова*: відходи виробництва, зола-виносу, шлак, золосульфатне в'яжуче.**

Відомо, що теплоенергетика займає провідне місце серед традиційних видів електроенергетики. Світовий об'єм виробництва цієї галузі промисловості складає 90%. В Україні ж близько 70% електроенергії продукується тепловими електростанціями.

Виробництво електричної енергії на вугільних ТЕС супроводжується утворенням відходів у вигляді золи та шлаку, більша частина яких складується в золовідвалах. В Україні щороку накопичується близько 8 млн тонн золошлакових матеріалів. На сьогодні загальна кількість золовідходів у відвалах становить близько 400 млн тонн. Такі відвали є серйозним джерелами забруднення навколишнього середовища: атмосферного повітря, стічних вод, що відповідно порушує екологічний баланс територій.

Враховуючи проблеми складування відходів та забруднення території, теплова енергетика України повинна пройти суттєві перетворення в найближче десятиліття для виконання Директиви 2001/80/ЕС. Енергетичні підприємства України мають вжити заходи щодо підготовки палива, оновлення генеруючого обладнання та встановлення очисного устаткування. За оцінками НАК "Енергетична компанія України", 30–40% всіх інвестиційних витрат, яких потребує теплова енергетика України, має бути спрямовано саме на заходи зі зменшення шкідливих викидів [1].

В останні роки рівень утилізації твердих відходів в Україні складає приблизно 5% річного їх утворення. Не дивлячись на світовий науко-

во-технічний прогрес в багатьох розвинених країнах світу ситуація ідентична (в порівнянні з Україною) щодо використання золи. Задовільний стан застосування золи-виносу лише у Фінляндії, Великобританії, Німеччині. В цілому в Європейському Союзі утилізація золи досягає 50%, а в США 25% [2].

Як відомо, на Всесвітній конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку (Ріо-де-Жанейро 1992 р.) було введено поняття «сталий розвиток». Концепція «сталого розвитку» передбачає такий розвиток суспільства, який задовольняє потреби сучасності, не ставлячи під загрозу здатність наступних поколінь забезпечувати свої власні потреби [3]. Тобто «сталий розвиток» суспільства можна розцінювати як такий, за якого людина не завдає значної шкоди екосистемам, і вони мають здатність відновлюватися. Проте необхідно враховувати надзвичайну складність проблем, які потребують вирішення. Йдеться про збалансованість триєдиної системної цілісності "людина – природа – суспільство", що визначається, рівнем сталості кожної складової [3].

Сталий розвиток – це загальна концепція стосовно необхідності встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їх потребу в безпечному і здоровому довкіллі.

Питанням охорони навколишнього середовища у всьому світі приділяється все більше уваги з боку суспільства та екологічних організацій. При цьому утилізація золи-виносу – розумний екологічний підхід. Крім того, її застосування є економічно вигідним, оскільки вироблену сучасними ТЕС золу можна безперешкодно застосовувати в первинному вигляді.

Перевагою золи-виносу та золо-шлакових сумішей є дисперсність, менші витрати на помел, а також рівномірне розташування ТЕС на території України.

З літературних джерел [4-6] відомо, що золу ТЕС використовують у виробництві будівельних матеріалів, виробів, конструкцій, дорожньому будівництві та ін. В багатьох розвинених країнах світу ці матеріали вже давно застосовують для виробництва в'яжучих речовин різного призначення [4]. Якісна зола-виносу, що відповідає стандартам, придатна для використання у виробництві цементу і бетону як добавка, що зв'язує надлишок вапна і знижує водопотребу.

Ресурсозберігаючий ефект застосування золи-виносу в якості добавки в бетон вирізняється особливим різноманіттям. Золу-виносу зазвичай вводять для економії цементу, на основі якого в подальшому виготовляють бетон. Таким чином, в технології виготовлення цементу немає потреби в помелі вапняку, який є основним сировинним матері-

алом. В результаті чого можна зменшити енерговитрати і підвищити екологічну безпеку шкідливих процесів виробництва цементу. Як добавка до бетону зола-виносу позитивно впливає на його довговічність та експлуатаційну надійність, подовжуючи термін служби бетонних споруд.

Прикладами застосування золи-виносу є сучасні великомасштабні будівельні споруди такі, як швидкісна дорога Ейзенхауэр (Чикаго), вежі Пікассо в Мадриді (висота 157 м) та Коммерцбанку в Франкфурті, дамба Пулорен у Франції (висота 73 м, довжина 220 м), тунель під Ла-Маншем, що з'єднує Францію та Великобританію, злітно-посадочна смуга в аеропорті Ейндховен в Голландії тощо, а також зола вводилася в бетон при будівництві найвищої в світі будівлі Burj Dubai в м. Дубаї (ОАЕ) [7].

Проте значний науковий інтерес представляють дослідження можливості отримання в'яжучих шляхом сульфатної активізації дисперсної золи-виносу ТЕС, тобто золосульфатних в'яжучих (ЗСВ), подібних до сульфатно-шлакових.

За своїми хіміко-мінералогічним та фазовим складами зола суттєво відрізняється від доменних гранульованих шлаків (табл. 1). В золі-виносу у порівнянні зі шлаками дуже низький вміст сполук кальцію та магнію – в цілому близько 5% (табл. 1) і суттєво більший – глинозему – в 3…4 рази.

Скловидна алюмосилікатна фаза золи становить 40…65% усієї маси (в середньому близько 50 %) і може розглядатись як компонент, що складається переважно з аморфітів [6] – утворень, що подібні за структурою і складом до відповідних кристалічних фаз, але з високою питомою поверхнею і неупорядкованими глиноземисто-кремнеземистими прошарками між ними. Кристалічна фаза золи представлена α-кварцем, мулітом, а також – гематитом.

Для українських доменних шлаків вміст скловидної фази складає близько 80% і ця фаза являє собою повністю скловидну структуру. Кристалічна фаза шлаків досить різноманітна і включає силікати (ларніт, псевдоволастоніт, меліліт та ін.), а також алюмосилікати кальцію (анортит, геленіт та ін.).

Скловидні алюмосилікатні фази золи і шлаків утворювались в різних умовах: у шлаках шляхом швидкого охолодження розплаву, зола-виносу не проходить стадію плавлення, і скловидна фаза у неї утворювалась під дією суттєво нижчих температур (на 300…400°С) і тому є менш гідравлічно активною.

Таблиця 1

Хімічний склад шлаку та золи-виносу ТЕС

Назва золи (шлаку)	Хімічний склад								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	MnO	TiO_2	В.п.п.
Доменний шлак Криворізького металургійного комбінату	39,51	6,41	0,14	47,19	3,12	1,76	1,14	-	0,59
Ладижинська зола-виносу	55,30	22,34	7,94	5,96	0,12	0,38	-	1,40	0,24
Бурштинська зола-виносу	46,12	18,00	22,17	4,03	1,46	0,21	-	1,78	6,10

Таким чином, умови для забезпечення сульфатної активізації дисперсної золи виносу ТЕС, очевидно є суттєво іншими, ніж для доменних гранульованих шлаків.

При визначенні параметрів варіювання вмістом компонентів ЗСВ виходимо з відомих даних щодо оптимальних складів сульфатно-шлакових в'яжучих: вміст вапна – 1…2%, сульфатного компоненту (гіпсового каменя або фосфогіпсу) – 10..15% [4, 6], але низький вміст оксиду кальцію у золі та відносно високий глинозему (табл. 1) зумовили необхідність суттєво збільшити вміст вапна і сульфатного компоненту, зокрема тому, що наявного оксиду кальцію у золі явно не достатньо для утворення необхідної кількості гідросилікатів кальцію для забезпечення міцності в'яжучого. Як відомо, у продуктах твердіння сульфатно-шлакових в'яжучих об'ємний вміст гідросилікатів кальцію складає понад 50% [4, 6].

В дослідженнях використано наступні матеріали: зола-виносу Бурштинської ТЕС, сульфатний компонент – підсушений до вологості ≤ 5% фосфогіпс (ФГ) ПАТ "Рівнеазот", негашене вапно 2-го сорту, суперпластифікатор С-3, прискорювач твердіння – $CaCl_2$. Спільний помел компонентів в'яжучого виконано в кульовому млині із додаванням інтенсифікатора помелу – пропіленгліколю у кількості 0,04% від маси в'яжучого, що дозволило досягнути величини питомої поверхні понад 450 $м^2$/кг. З отриманого в'яжучого і стандартного піску сформовано зразки-балочки складу П:ЗСВ=3:1, що тверділи при температурі 20 ± 2^0С і вологості ≈100%. Випробування затверділих зразків проведено у віці 28 діб.

Умови планування експерименту, виконано за планом $На_5$. Варійовані наступні фактори: вміст ФГ (X_1) – 30±20%; вміст вапна на CaO (X_2) – 20±5%; водо-в'яжуче відношення (X_3) – 0,4±0,1; вміст С-3 (X_4) – 0,5±0,5%; вміст $CaCl_2$ (X_5) – 1±1 %.

В результаті реалізації плану експериментів отримано рівняння регресії залежності міцності ЗСВ при стиску у віці 28 діб від вищевказаних технологічних факторів:

$$R^{28}_{ст.} = 16,7+2,3X_1+1,4X_2+1,6X_3+1,3X_4+2,1X_5 -1,4X_1^2-0,6X_2^2- -1,1X_3^2-0,7X_4^2-1,1X_5^2+0,3X_1X_2+0,4X_1X_3-0,4X_2X_3+0,2X_2X_4+ +0,2X_2X_5-0,3X_3X_4+0,4X_4X_5.$$

Вплив технологічних факторів на міцність представлений також на рисунок. Згідно з отриманим рівнянням вплив факторів на міцність ЗСВ зменшується у ряду: $X_1 > X_5 > X_3 > X_2 > X_4$.

Для досягнення максимальної міцності – понад 20 МПа, згідно з отриманими даними, вміст ФГ складає 20…25%, а вапна – 25…30%, що значно перевищує рекомендований вміст вапна для СШВ [6].

Позитивний вплив зростання вмісту

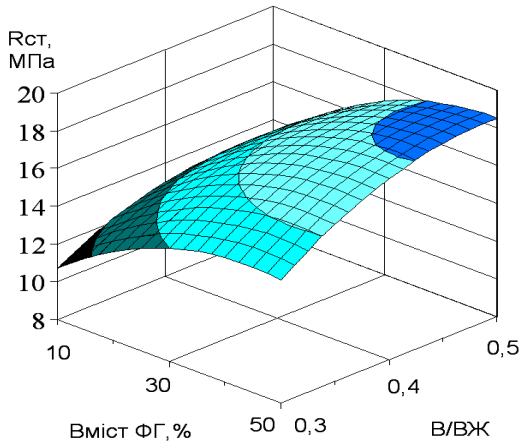

Рисунок. Вплив технологічних факторів на міцність золосульфатного в'яжучого

в'яжучого відношення (X_3) на міцність ЗСВ можна пояснити високим вмістом глинозему та сульфату кальцію у ЗСВ, що викликає підвищену водопотребу (В/Вж понад 0,4) для утворення гідросульфоалюмінатів кальцію, а також наявністю великої маси негашеного вапна. Порівнюючи міцність ЗСВ із великим (25%) і малим (5%) вмістом ФГ при інших рівних умовах (рисунок), можна відмітити значну перевагу у міцності першого складу ЗСВ (22 МПа), над другим (12 МПа). Цей факт, а також значна водопотреба ЗСВ свідчать про досягнення ефекту сульфатної активізації золи виносу.

Значний позитивний вплив на міцність ЗСВ має добавка прискорю-

вач твердіння – $CaCl_2$, а також введення до складу в'яжучого суперпластифікатора С-3.

Таким чином, виконані дослідження свідчать про досягнення сульфатної активізації золи-виносу і отримання золосульфатних в'яжучих з активністю понад 20 МПа.

Запропоноване золо-сульфатне в'яжуче можна рекомендувати для розробки важких бетонів, виготовлення збірних бетонних конструкцій, зокрема – фундаментних блоків, стінових каменів, а також монолітних бетонних конструкцій і легких керамзитобетонів, які можуть бути використані для виготовлення залізобетонних перегородок та легких бетонних стінових каменів.

Отже, наукові дослідження підтверджують застосування золи-виносу для отримання золосульфатних в'яжучих. Крім того, виготовлення такого виду будівельного матеріалу дозволяє утилізувати не лише золу із золовідвалів, але й сульфатний компонент – фосфогіпс-дигідрат. Така система в'яжучого є перспективним будівельним продуктом. Золосульфатне в'яжуче – це теоретичний науковий проект. Звичайно з практичної точки зору, розповсюдження в'яжучого на ринку – це вже зовсім інша задача. Виготовлення золосульфатних в'яжучих є однією із наукових пропозицій боротьби з екологічною, економічною та енергетичною проблемами. Перспективне майбутнє нашої планети за альтернативними матеріалами.

1. Міжнародний центр перспективних досліджень. Зменшення викидів в тепловій електроенергетиці України через виконання вимог Європейського енергетичного співтовариства. Біла книга. – К., 2011. – С. 49. **2.** Зырянов В. В. Зола-уноса-техногенное сырье / Зырянов В. В., Зырянов Д. В. – М. : ООО «ИПЦ «Маска», 2009. – 320 с. **3.** Сталий розвиток суспільства: навчальний посібник / А. Садовенко, Л. Масловська, В. Середа, Т. Тимочко. – 2 вид. – К., 2011. – 392 с. **4.** Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов / Волженский А. В., Буров Ю. С., Виноградов Б. Н., Гладких К. В. – М. : Стройиздат, 1968. – С. 391. **5.** Шевченко А. Т. Строительные материалы из вторичных ресурсов промышленности / А. Т. Шевченко. – К. : Будивельнык, 1990. – С. 120. **6.** Використання техногенних продуктів у будівництві / Дворкін Л. Й, Дворкін О. Л., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О., Мохорт М. А., Безсмертний М. П. – Рівне : НУВГП, 2009. – 340 с. **7.** Аналитический обзор производство силикатного кирпича и других строительных материалов из золы-уноса и шлаков энергогенерирующих компаний. – Казань : Научно-исследовательская лаборатория материаловедения компании «Технополис», представительство компании «Haiyuan Group» в РФ и СНГ, 2008 г. – 13 с.

Рецензент: д.т.н., професор Филипчук В. Л. (НУВГП)

Polishchuk-Herasymchuk T. O., Candidate of Engineering, Senior Lecturer (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

ALTERNATIVE BUILDING MATERIALS – ASHES-SULFATE ASTRINGENTS AND ENVIRONMENTAL DEFENCE

In the article the technology of alternative building materials – ashes-sulfate astringents based on the residuals of coal thermoelectric power stations - ashes was examined. There were proposed ways of solution of ecological problem as to the utilization of ashes. There were given the results of experimental investigations.
***Keywords*: residuals, ashes, slag, ashes-sulfate astringents.**

Полищук-Герасимчук Т. А., к.т.н., ст. преподаватель (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – ЗОЛОСУЛЬФАТНЫЕ ВЯЖУЩИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В статье рассмотрено технологию изготовления альтернативных строительных материалов – золосульфатних вяжущих на основе отхода производства угольных ТЭС – золы-уноса. Предложены пути решения экологической проблемы утилизации золы. Приведены результаты экспериментальных исследований.
***Ключевые слова*: отходы производства, зола-уноса, шлак, золосульфатные вяжущие.**