

*Г. В. Кошлак, А. М. Павленко
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ТЕС ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті проаналізовано проблеми забруднення навколишнього середовища та перспективні напрямки утилізації відходів виробництва вугільних ТЕС. Визначено можливі шляхи управління твердими відходами вугільних ТЕС з метою збереження нашого навколишнього середовища. Розглянуто потенційні можливості використання золи в сільському господарстві, при проектуванні дорожнього полотна, у виробництві цегли, як складовий компонент у портландцементі. Присутність в складі золи цінних компонентів створює безсумнівні передумови для її рециклінгу. Авторами проведено дослідження хімічного складу, фізико-механічних і якісних показників золи – відходів виробництва Бурштинської ТЕС для вивчення можливості використання її в якості сировини у виробництві будівельних матеріалів. Визначено, що за хімічним складом зола-виносу Бурштинської теплової електричної станції (БуТЕС) більш ніж на 70% складається із оксидів силіцію та алюмінія. Проведена оцінка якісних характеристик золи розрахунковим шляхом з визначенням модуля основності, силікатного модуля та коефіцієнта якості. Визначено, що зола БуТЕС відноситься до кислої приховано активної. Запропоновано використовувати золу в якості активних мінеральних добавок в сировинних сумішах для отримання золобетону. З цією метою виконано дослідження реологічних характеристик розчинної суміші золоцементних пористих бетонних композицій, досліджено вплив складу золи на процеси гідратації цементних компонентів, встановлено кількісні характеристики цього впливу. Визначено міцність газобетонного масиву в залежності від виду сировинної суміші. Отримані результати дозволили розробити технології заміщення золою цементу у складі газобетону, оптимізувати його сировинний склад; визначити кінетичні характеристики процесів твердіння шляхом введення хімічних добавок NaCl та Na₂SO₄ для прискорення процесів гідратації.

Ключові слова: зола ТЕС, відходи, рециклінг, якісні характеристики золи, газобетонні суміші

Постановка проблеми. Вугілля – друге за величиною паливо в світовому енергетичному балансі, і на його частку припадає 27% світового споживання енергії. Як відомо, ТЕС, що працюють на вугіллі, формують третину забруднюючих речовин в поверхневому шарі атмосферного повітря. Викиди містять забруднювачі SO_x; NO_x; CO та летючу золу, які становлять загрозу для здоров'я людей, що проживають поблизу джерела забруднень. Зола, яка утворюється в якості побічного продукту згоряння вугілля, є одним з найпоширеніших промислових твердих відходів. Зола містить важкі метали, поліциклічні ароматичні вуглеводні, кремнезем та інші токсичні речовини [1]. Обсяги відходів золи вугільних ТПС щорічно збільшуються, а вирішення проблеми їх утилізації є актуальною у всьому світі.

В Україні працює 14 великих конденсаційних ТЕС сумарною встановленою потужністю 27,6 ГВт. З них вугільних енергоблоків – 21,8 ГВт або близько 41% потужностей об'єднаної енергосистеми України. Більшість енергоблоків ТЕС спроектовані для спалювання кам'яного вугілля вітчизняного видобутку з підсвічуванням мазутом або природним газом. У зв'язку з тим, що в Україні недостатньо власних промислових ресурсів газу, енергетична галузь надалі змушена орієнтуватися тільки на використання низькоякісного вітчизняного вугілля із підвищеною зольністю. Однією з причин підвищених показників забрудненості довкілля є використання низькоякісного вітчизняного вугілля на українських ТЕС з високими показниками зольності. ТЕС, що працюють на органічному паливі, найбільшою мірою «відповідальні» за парниковий ефект і кислотні опади, оскільки технологія виробництва електроенергії пов'язана з перетворенням практично всіх матеріальних ресурсів і переважної частини енергії палива у відходи, що викидаються у навколишнє середовище. До основних факторів техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на рівень забруднення атмосфери можна віднести вид палива, на якому працює ТЕС, технології очищення викидів, висоту димових труб, кліматичні умови атмосферної дисперсії,

характер рельєфу місцевості. В результаті спалювання вугілля в атмосферу викидається основна частка техногенного вуглецю у вигляді CO_2 , близько 50% SO_2 , 35% NO_x та пилу. Забруднення ґрунту навколо вугільних ТЕС відбувається шляхом рознесення пиловидної золи вітром, а також при інфільтрації її компонентів через ґрунт у ґрунтові води. Не менш вагомим фактором впливу вугільних ТЕС на навколишнє середовище є викиди систем складування палива, його транспортування, пилоприготування та золовидалення. При транспортуванні й складуванні відходів відбувається пилове забруднення (рис.1).



Рис. 1. Джерела забруднення довкілля [1]

Для складування золошлакових відходів необхідно залучати великі території, які потребують значних експлуатаційних витрат. Зола завдяки своїм фізико-хімічним характеристикам є причиною утворення підвищеної запиленості повітря (рис. 1). Низька частка утилізації золошлакових відходів в нашій країні, обумовлена багатьма факторами, через що золошлаковідвали зараз є постійно діючими об'єктами забруднення навколишнього середовища. Таким чином, поводження з золою є причиною занепокоєння на майбутнє.

Питання забруднення навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, пошук інноваційних рішень удосконалення існуючих систем виробництва, переробки та утилізації відходів виробництва є актуальними проблемами сучасного світу. Одночасно присутність в складі золи цінних компонентів створює безсумнівні передумови для їх комплексної переробки, і в цьому випадку сховища повинні бути віднесені до категорії техногенних сировинних запасів відкладеного попиту. ЗолаТЕС, яка до недавнього минулого трактувалась як відходи та джерело забруднення повітря та води, насправді є ресурсним матеріалом і також підтвердила свою цінність протягом певного періоду [2].

Мета статті. Метою дослідження є визначення хімічного складу, фізико-механічних і якісних показників золи – відходів виробництва Бурштинської ТЕС для вивчення можливості використання її в якості сировини для виробництва будівельних матеріалів. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- визначити основні характеристики золи: хімічний та фазово-мінералогічний склад, фізико-механічні властивості;
- запропонувати спосіб отримання бетону, який містить в своєму складі золошлакові відходи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За обсягами забруднювальних речовин теплова електроенергетика перевершує будь-яку іншу галузь промисловості, тому що ТЕС є безперервно діючими джерелами викидів в атмосферу продуктів згоряння палива та скидів стічних вод, які є причиною хімічного та термічного забруднення водоймищ. ТЕС та ТЕЦ відповідальні за 80% загального обсягу викидів в Україні оксидів сірки SO_x та 25% оксидів азоту NO_x . Тому вирішення проблеми утилізації відходів стратегічних завдань держави. До числа найбільш вагомих досліджень з проблем утилізації відходів ТЕС варто віднести наукові розробки таких провідних фахівців як М. П. Елінзона, В. Франуса, Д.Ц. Адриано, С. Гораи, Л. Барбері, В.П. Надутого, Т. Ли, Л.М. Коваліва, М. Н. Орфанової, Л.І. Дворкіна та інших.

Протягом останніх років в світі було проведено значну кількість досліджень з використання золи в різних галузях господарства [3]. В золі містяться хімічні сполуки, які цілком

можуть слугувати заміником або джерелом сировини в будівельній галузі, в технологіях проектування доріг, у виробництві кераміки, в медицині, агротехніці та інш. Заходи з утилізації золи вугільних ТЕС можна розглядати з двох сторін. Перший підхід полягає у розробці і впровадженні заходів з метою пом'якшення наслідків для навколишнього середовища. Другий – вирішення проблем накопичення відходів шляхом їх утилізації. Ось деякі з потенційних сфер використання золи:

Дорожнє будівництво. Чисельні експериментальні дослідження показали, що летюча зола може використовуватись як складовий компонент асфальтової суміші. Одним із прикладів використання золи ТЕС при проектуванні доріг є Англія та Америка, де активно використовується зола в дорожньому будівництві як стабілізатор або як наповнювача основи верхнього шару дорожніх покриттів [4,5]. На експериментальній ділянці траси А 52 було спроектовано дорожнє полотно при використанні технології рециклінгу наповнювачів та асфальту. В якості складових компонентів дорожнього покриття застосовувався цемент, пилоподібна зола ТЕС, шлак доменної печі та вапно. Результати моніторингу експериментальної ділянки траси А 52 продовж року свідчили про задовільну ефективність експлуатаційних характеристик покриття.

Асфальтобетон. Дослідження можливості застосування золи ТЕС в асфальтових сумішах почалися приблизно в середині минулого століття. Зола ТЕС використовується для приготування бітумного розчину замість певної кількості бітуму [6] з метою поліпшення його властивостей, стійкості до деформації, жорсткості, в'язкості при високих температурах і температурної чутливості.

Фітомеліорація ґрунту. Хімічний склад золи, отриманої в технологіях спалювання, різниться в залежності від складу вихідного палива. Зола може володіти кислими або лужними властивостями, що може бути корисно для буферизації рН ґрунту [7]. Недавні дослідження показують, що зола ТЕС успішно використовується для покращення деградованих ґрунтів в поєднанні з органічними добавками, такими як коров'ячий гній, стоки стічних вод. Висока концентрація в золі таких елементів, як К, Na, Zn, Ca, Mg і Fe, збільшує врожайність сільськогосподарських культур. Однак внесення золи сухого відбору, може мати тенденцію до накопичення таких елементів, як В, Мо, Se і Al, які при високих концентраціях знижують врожайність сільськогосподарських культур і, як наслідок, впливають на здоров'я тварин і людини [8,9]. Застосування летючої золи може також знизити поглинання важких металів, включаючи Cd, Cu, Cr, Fe, Mn і Zn в рослинних тканинах, що може бути пов'язано з підвищеним показником рН золи. Відомі також дослідження по використанню золи в технології компостування осаду стічних вод. В даній технології пропонується золу ТЕС, яка містить високий вміст СаО використовувати для підвищення рН компосту в якості замітника вапна. Підвищена кислотність субстрату для компостування осаду стічних вод призводить до знищення хвороботворних мікроорганізмів і зменшення доступності важких металів, збагачених мулом.

У сільському господарстві летюча зола використовується в основному для меліорації земель. Оскільки зола відрізняється сорбційними властивостями, вона є привабливим компонентом для рекультивації засоленних ґрунтів. Основними факторами, які обмежують використання золи вугільних ТЕС в сільськогосподарських районах, є важкі метали і радіоактивність.

Виробництво цегли. Цегла є одним із затребуваних будівельних матеріалів у світі. В технології виробництва цегли використовується велика кількість глини. Видобуток глини з ґрунту чинить негативний вплив на довкілля. При видобутку відкритим способом видаляються шари ґрунту разом з існуючою флорою. Наслідками таких дій є порушення екосистеми ґрунтів та зміни існуючої топографії територій. Видалення ґрунтового горизонту може призводити до перекидання руху підземних вод, через що створюються умови для збільшення поверхневого руху вод, і, як наслідки, утворюються яри, змінюється рельєф, показники кислотності ґрунтів [10]. Крім того, випал глини здійснюється в енергоємних печах при високих температурах. Одним з найефективніших способів утилізації золи, який досить активно впроваджено у Європі та деяких країнах Азії, є виробництво цегли. Дослідження показали, що якісні характеристики летючої золи, виробленої на ТЕС, володіють високою пуццолановою активністю, низький вмістом незгорілого вуглецю. Тому зола може виступати дешевим заміником глини у складі сировинної суміші для виробництва цегли. Один з найефективніших способів утилізації золи, який досить активно впроваджено у Європі та деяких країнах Азії, пов'язаний з виробництвом цегли. Дослідження показали, що якісні характеристики летючої золи, виробленої на ТЕС, володіють високою пуццолановою активністю, низький вмістом незгорілого вуглецю. У порівнянні з

традиційними технологіями виробництва глиняної цегли, виробництво цегли з летючої золи викликає менші забруднення ртуттю, є енергоефективним і коштує приблизно на 20% менше, ніж звичайний глиняна цегла. Крім того, на сьогоднішній день проводяться дослідження по використанню суміші золи з гіпсом для виробництва цегли. При додаванні гіпсу до летючої золи і суміші вапна, алюмінати кальцію перетворюються в алюмосульфати кальцію, які підвищують міцнісні характеристики цегли. При чому твердіння виробів відбувається при температурі навколишнього середовища [11].

Портландцемент. Відходи вугільних ТЕС використовуються в технологіях виробництва бетону. Зола та шлак володіють в'язкими властивостями, що визначають можливість їх застосування при виробництві бетону. При взаємодії часточок летючої золи з водою та вільним вапном, присутнім у цементній матриці, утворюються додаткові цементуючі матеріали (пуццоланова активність летючої золи). Летюча зола використовується в бетоні насамперед через її пуццоланові та цементуючі властивості. Ці властивості сприяють збільшенню міцності і можуть покращити експлуатаційні якості свіжого та затверділого бетону. Додавання золи до бетону знижує вартість продукту, покращує його якісні характеристики, сприяє збільшенню довговічності та міцності затверділого бетону.

Методи досліджень. В дослідженнях в якості компонента сировинної суміші використовувалася зола БуТЕС з електрофільтрів та золовідвалів, яку отримували при спалюванні проектної марки вугілля «Г» Львівсько-Волинського басейну калорійністю 4950 ккал/кг, зольністю 26,7% і вологістю 11%; та інших вітчизняних марок «Г», «ГЖСШ», «Д», «ДГСШ», «Ж» з середньою нижчою теплотою згорання 4900 ккал/кг з середньою зольністю вугілля на робочу масу 25% та вологістю 10,0%. Гранулометричний склад золи-виносу, її питома поверхня визначалися відповідно до нормативних і методичних вимог ДСТУ Б В. 2.7-205:2009, ДСТУ Б В. 2.7-188:2009, ДСТУ Б В. 2.7-232-2010. Хімічний аналіз золи проводився з метою оцінки вмісту основних компонентів: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O і K_2O . Втрати при прожарюванні (ВПП), FeO , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 визначалися відповідно до ДСТУ Б В. 2.7-72-98. Дослідження фізико-механічних і якісних показників золобетонів виконували за стандартними методиками: ГОСТ 10181.2-81; ГОСТ 10180-90, ДСТУ Б В.2.7-185: 2009, ДСТУ Б В.2.7-264: 2011, ГОСТ 26798.1-96.

Виклад основного матеріалу. Бурштинська теплова електростанція збудована розташована біля міста Бурштин (Івано-Франківська область), її проектна потужність складає 2400 МВт. З 1 липня 2002 року БуТЕС працює автономно від об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, паралельно і під контролем УСТЕ (союз централізованого транспорту і розподілу електроенергії) Європи. ТЕС забезпечує енергопостачання трьох областей – Закарпатської і Івано-Франківської та Львівської частково, а також експорт електроенергії до Угорщини, Румунії та Словаччини.

Показники забруднення атмосферного повітря в Галицькому районі в цілому залежать від викидів Бурштинської ТЕС і становили останнім часом 75-80% загальних забруднень. Скорочення обсягів розміщення великотоннажних відходів, що утворюються внаслідок виробничої діяльності підприємства БуТЕС є одним з важливих завдань у вирішенні проблем охорони довкілля у Галицькому районі. На Бурштинській ТЕС в результаті спалювання вугілля утворюються тверді відходи (зола і шлак) в середній кількості 100,7 тис. т. в рік. Золошлаки складаються на відвали загальною площею 204,6 га. Вільний об'єм золоховища з урахуванням нарощування дамб восьмого ярусу складає близько 3,5 млн т. Тому сьогодні набувають першочергового значення дослідження пов'язані з пошуком вирішення проблеми перевантаженості золовідвалів та накопичення золошлакових відходів на даному підприємстві. З цією метою проведені комплексні дослідження відходів, які дозволили представити їх хімічного складу, фізико-механічних і якісних показників.

Аналіз гранулометричного складу золи. Гранулометричний склад золи визначався шляхом розсіву на стандартному наборі сит для інертних матеріалів, потім на контрольному ситі для цементів (№008) і додатковому (№004).

Результати досліджень приведені у табл. 1.

За результатами досліджень можна зробити висновок: більше 90% часточок золи-виносу Бурштинської ТЕС має загальну питому поверхню $4390 \text{ см}^2/\text{г}$ (не розсіяної на фракції) і відповідно до [36] її відносять до дрібнодисперсної (більше $4000 \text{ см}^2/\text{г}$). Питома поверхня пилоподібної фракції, що пройшла скрізь сито $0,04 \text{ мм}$ складала $4840 \text{ см}^2/\text{г}$.

Хімічний склад компонентів золи-виносу та золи з золовідвалу №3 Бурштинської ТЕС представлений у табл. 2, 3.

Отже, за хімічним складом зола –виносу БуТЕС більш ніж на 70% складається із оксидів силіцію та алюмінію і згідно класифікації її відносять до кислої приховано активної. Основними складовими золи ТЕС є SiO_2 та Al_2O_3 , які знаходяться в склоподібній фазі, значна частка SiO_2 – у формі кварцу, а Al_2O_3 – муліту ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}$).

Таблиця 1

Зерновий склад і питома поверхня золи-виносу

Загальна поверхня, $\text{cm}^2/\text{г}$	Залишки на ситі	Зерновий склад									Питома поверхня золи, що пройшла крізь сито 0,04, $\text{cm}^2/\text{г}$
		Розмір фракцій, мм									
		>5,0	2,5-5,0	1,25-2,5	0,63-1,25	0,315-0,63	0,16-0,315	0,08-0,16	0,04-0,08	<0,04	
4390	Частковий, %	-	0,13	0,05	0,04	0,29	2,32	2,9	3,84	90,43	4840
	Повний, %	-	0,13	0,15	0,24	0,48	2,80	5,82	9,5	100,00	

Таблиця 2

Середній вміст складових компонентів золи-виносу Бурштинської ТЕС

Речовина	Формула	Вміст, %
Силіцій(IV) оксид	SiO_2	52,17
Алюміній(III) оксид	Al_2O_3	16,9
Феррум(III) оксид	Fe_2O_3	7,16
Магній(II) оксид	MgO	2,15
Кальцій(II) оксид	CaO	16,0
Манган(II) оксид	MnO	0,1
Титан (IV) оксид	TiO_2	0,8
Сульфур(VI) оксид	SO_3	1,0
Фосфор(V) оксид	P_2O_5	0,02
Калій оксид	K_2O	2,0
Натрій оксид	Na_2O	0,7
Карбон вільний	$\text{C}_в$	5,6
Вода	H_2O	0,2
Втрати при прожарюванні (при $t = 950^\circ\text{C}$)	-	5,19

Таблиця 3

Середній вміст складових компонентів золи з золовідвалу №3 Бурштинської ТЕС

Речовина	Формула	Вміст, %
Силіцій(IV) оксид	SiO_2	52,08
Алюміній(III) оксид	Al_2O_3	26,58
Ферум(III) оксид	Fe_2O_3	13,0
Магній(II) оксид	MgO	2,4
Кальцій(II) оксид	CaO	4,13
Манган(II,III) оксид	Mn_3O_4	0,3
Титан (IV) оксид	TiO_2	0,84
Хром(III) оксид	Cr_2O_3	0,003
Сульфур(VI) оксид	SO_3	0,38
Фосфор(V) оксид	P_2O_5	0,23
Калій оксид	K_2O	1,5
Натрій оксид	Na_2O	0,5
Вода зв'язана	H_2O	0,2
Карбон(IV) оксид	CO_2	0,33
Втрати при прожарюванні (при $t = 950^\circ\text{C}$)	-	3,77

За даними хімічного складу золи (див. табл. 2, 3) здійснювалася оцінка якості розрахунковим шляхом з визначенням модуля основності, силікатного модуля та коефіцієнта

якості (табл. 4). Для золи-виносу БуТЕС модуль основності $M_o = 0,3$; силікатний модуль $M_c = 2,16$; коефіцієнт якості $K_y = 0,66$. Для золи з золівідвалу – модуль основності $M_o = 0,1$, силікатний модуль $M_c = 1,32$; коефіцієнт якості $K_y = 0,63$.

Золу по показнику основності відносять до понад кислих ($M_o < 0,6$). Силікатна активність проявляється через наявність у складі золи силікатних мінералів, які підвищують температуру розплаву та впливають на реологічні властивості системи.

Компоненти плавня $Al_2O_3 + \Sigma Fe_2O_3$ сприяють утворенню розплаву при нижчих температурах. Гідравлічна активність оцінюється коефіцієнтом якості. У чисельнику формули розташовані оксиди, що підвищують гідравлічну активність, в знаменнику – що знижують її. Отже, чим вище коефіцієнт якості, тим вище гідравлічна активність. Для даної проби коефіцієнт якості $K_y < 1$, зола має низьку гідравлічну активність. Вміст вільного кальцію оксиду в пробі досягає 1,28%. Тому її відносять до приховано-активних.

Таблиця 4

Показники якості золи

Показник	Розрахункова формула
Модуль основності, M_o	$M_o = \frac{CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}$
Модуль силікатний, M_c	$M_c = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + \Sigma Fe_2O_3}$
Коефіцієнт якості, K_y	$K_y = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + TiO_2}$

Також до складу золи входять Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , TiO_2 та ін. В зв'язку з тим, що кислі золи можуть застосовуватися в якості активних мінеральних добавок, то їх цілком доцільно використовувати в якості основного компонента в сировинних сумішах перед у виробництві пористих матеріалів.

Результати та обговорення. Використання золи БуТЕС для виготовлення будівельних матеріалів. Для дослідження впливу водотвердого співвідношення компонентів на процес спучування газобетону були виготовлені газобетонні суміші з водотвердим співвідношенням (ВТС) в діапазоні від 0,2 до 0,6. Оскільки спучування і набір структурної міцності газобетонним масивом істотно залежать від водотвердого співвідношення (ВТС), то на першому етапі здійснювали пошук потрібної кількості води яка забезпечить необхідні реологічні властивості розчинної суміші золоцементних пористих бетонних композицій.

При введенні добавок $NaCl$ і Na_2SO_4 в суміш можна впливати на її реологічні властивості, процеси структуроутворення і міцність матеріалу. Інтенсифікація процесів гідратації і структуроутворення в золо-цементних композиціях з добавками до складу яких входить іон Na^+ виражається в прискореному формуванні структури з порівняно ранніми термінами схоплювання масиву. В цьому випадку газобетонні суміші виготовляли на основі цементу і піску, або на основі цементу і золи Бурштинської ТЕС із введенням хімічних добавок. Спосіб приготування суміші здійснювався за схемою: проби золи і піску змішували з водою, при температурі 20 – 30 °С, додавали цемент і перемішували протягом 2 хвилин. Далі в кожену пробу вводили однакову кількість алюмінієвої суспензії із розрахунку отримання середньої щільності газобетону 700 кг/м³, перемішували ще протягом 1 хвилини і заливали в мірну ємність, де відбувалося спучування цієї суміші при температурі навколишнього середовища 20 °С.

Після повного спучування суміші контролювали її висоту у відсотках від висоти заливки. Потім виявляли оптимальну кількість води і хімічної добавки за максимальною висотою спучування. Для приготування алюмінієвої суспензії використовували алюмінієву пудру марки АСД-1 (ефективний розмір часточок 91,5 мкм). Приготування суспензії здійснювали шляхом додавання алюмінієвої пудри при постійному перемішуванні протягом 1 хвилини у водний розчин з поверхнево активною речовиною ПАВ. Отримані результати представлені у табл. 5.

Дослідження показали, що у визначеному діапазоні зі збільшенням ВТС висота спученого цементно-піщаного газобетону зростає. Для золо-цементного газобетону є оптимум ВТС, що становить 0,5. Із введенням хімічних добавок $NaCl$ і Na_2SO_4 кількість води не змінюється за винятком рецептур сумішей, в яких зазначені добавки використовуються в малих кількостях (0,5%). Зменшення ВТС у цьому випадку можливо відбувається внаслідок «розрідження» суміші через ефект пептизації тонкодисперсних частинок, що дозволяє отримати газобетон з рівномірною

пористістю із меншою кількістю води. Але також, як і в попередніх дослідах, добавки практично не впливають на процес спучування, оскільки склад золи (табл. 2, 3) дозволяє отримувати реологічні властивості суміші необхідні для технологічних режимів. Як випливає з табл. 5, результати зазначеного процесу кількісно не змінюються. Використання Бурштинської золи замість піску дозволяє збільшити висоту спучування на 70%, а з введенням хімічних добавок – додатково ще від 3 до 7% (інтенсифікація процесів газовиділення в результаті поступового утворення NaOH в обмінних реакціях, який активізує процеси газовиділення і є додатковим газоутворювачем).

Таблиця 5

Вплив ВТС на відсоток спучення бетону (%)

Суміш	ВТС				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Цемент+пісок	120	195	220	225	225
Цемент+зола	200	280	350	370	360
Цемент+зола+Na ₂ SO ₄ , 1%	200	290	350	376	370
Цемент+зола+Na ₂ SO ₄ , 2%	205	290	355	380	380
Цемент+зола+NaCl, 1%	210	295	370	385	380
Цемент+зола+NaCl, 2%	205	295	370	390	370

Введення хімічних добавок дозволяє скоротити терміни твердіння бетонної маси, оскільки вони забезпечують швидке зв'язування води і накопичення твердої фази з максимальною щільністю заповнення простору каркаса. На нашу думку, це відбувається внаслідок додаткового інтенсивного синтезу AFt і AFm фаз, які зв'язують велику кількість H₂O, мають високу швидкість росту й забезпечують інтенсивний набір структурної міцності.

При значеннях показника ВТС > 0,5 спостерігається розшарування вихідної суміші з утворенням великих каверн діаметром до 2 см. Це відбувається як правило завдяки асинхронним процесам спучування і схоплювання газомаси. Крім того, при збільшеному ВТС подовжуються терміни спучування і схоплення газомаси, через зменшення граничної напруги зсуву і відповідно пластичної міцності пористого бетону. При введенні додаткової кількості води міцність бетону знижується, спостерігається збільшення власних деформацій і кінцевої вологості матеріалу.

Основні властивості газобетонної суміші прямо залежать від реології зола-цементного і цементно-піщаного газобетону. Під впливом фізико-хімічних процесів, що проходять при взаємодії цементу, золи БуТЕС і води, реологічні властивості таких сумішей змінюються (змінюється в'язкість і максимальне напруження зсуву, зростає пластична міцність системи). Ступінь зміни реологічних характеристик залежить від виду сировинної суміші газобетону, водотвердого співвідношення і добавок. Від швидкості структуроутворення газобетонних сумішей залежить час перебування масиву в формі. Тому дослідження реологічних характеристик таких систем є актуальним завданням. Для визначення міцності газобетону було обрано склад сумішей з найбільшим відсотком спучування (табл. 5). Отримані результати представлені на рис. 2.

Уповільненим структуроутворенням володіє класичний цементно-піщаний газобетон рис. 2 (графік 1). Про це свідчать такі характеристики як уповільнений набір конструкційної міцності, порівняно з іншими зразками, і підвищена усадка. Для даного зразка зростання міцності становить до кінця схоплювання цементу (4 години) 0,8 Па, а через 10 годин – всього 1,8 Па, в той час як для подальших технологічних процесів масив газобетону має бути 2,50 – 3,0 Па.

Для зола-цементного газобетону рис. 2 (графік 2) характерними є уповільнені темпи набору міцності, хоча через 10 годин можна здійснювати різні операції, які передбачає технологія виготовлення газобетонних конструкцій. При цьому слід зауважити, що через 1 добу міцність зола-цементного газобетону стає вище в середньому на 50–70%. Необхідно зазначити, що після перемішування всіх компонентів температура суміші становила близько 30 °С, а після закінчення спучування температура підвищилася до 60 °С. Надалі в суміші температура зростала до 70 – 80 °С і спостерігалось прискорення набору ранньої міцності. Застосування золи Бурштинської теплової станції і хімічних добавок дозволяє регулювати властивості газобетону як на стадії дозрівання масиву, так і кінцевого матеріалу.

Висновки. Технології енергогенерації з використанням вугілля найбільш впливають на навколишнє середовище. Викиди ТЕС є одним з основних джерел забруднення повітря, води і ґрунту, а золашлакові відходи потребують величезних площ земельних ділянок для складування.

Для збереження нашого довкілля необхідні додаткові дослідження для розробки заходів для зменшення техногенного впливу територій прилеглих до ТЕС. Хімічний склад, морфологія, а також властивості відходів ТЕС, залежать від якості вугілля, технології спалювання та гранулометричного складу золи.

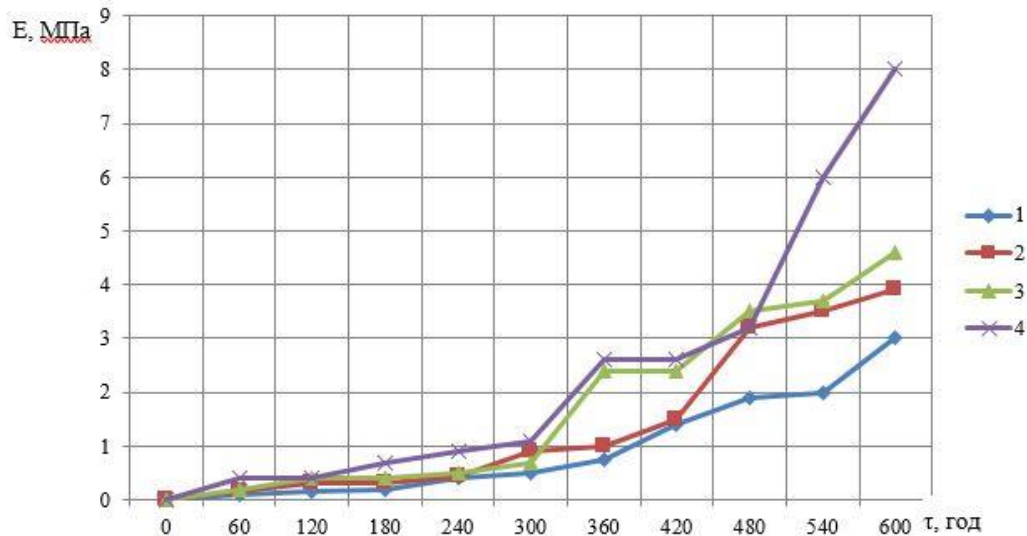


Рис. 2. Міцність газобетонного масиву в залежності від виду сировинної суміші: 1 – цементно-піщаний газобетон; 2 – цементно-золий газобетон; 3 – цементно-золий газобетон с добавкою Na_2SO_4 (1%); 4 – цементно-золий газобетон з добавкою NaCl (1%)

Приклади успішного використання золи в різних галузях народного господарства свідчать про те, що існує нагальна необхідність в дослідженнях можливості використання цих відходів в технологіях рециклінгу, пов'язаних з повторним використанням золи для використання на 100%. Виконано дослідження впливу складу золи на процеси гідратації цементних компонентів, встановлено кількісні характеристики цього впливу. На основі отриманих даних розроблено пропозиції щодо часткового заміщення золою цементу у складі газобетону. Оптимізовано сировинний склад газобетону на основі золи, досліджено кінетичні характеристики процесів твердіння. Встановлено, що додавання в газобетонну суміш хімічних сполук NaCl та Na_2SO_4 прискорює процеси гідратації кальцію та твердіння.

Література

- 1 Кошлак Г.В. Зменшення техногенного впливу вугільних ТЕС на довкілля (на прикладі Бурштинської ТЕС) / Г.В. Кошлак, А.М. Павленко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. –2017. – №2. – С. 108-118.
- 2 Nihalani S.A., Mishra Y.D., Meeruty A.R. (2020) Handling and Utilisation of Fly Ash from Thermal Power Plants. In: Ghosh S., Kumar V. (eds) Circular Economy and Fly Ash Management. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0014-5_1
- 3 Gorai S. Utilization of Fly ash for sustainable environment management / S Gorai. // Journal of materials and environmental sciences. –2018. – №9. – pp. 385-393.
- 4 López-Cuevas J., Interrial-Orejón E., Gutiérrez-Chavarría C. A. Synthesis and characterization of cordierite, mullite and cordierite-mullite ceramic materials using coal fly ash as raw material // Materials research society. 2018. V. 2. No. 62. P. 3865 – 3872.
- 5 Hassan K E, Chaddock B, Chandler J W E, Roberts C, Coley C, Badr A and Reid J M, August 2007, TRL Unpublished Project Report UPR/IE/119/07, Specification Trials and Testing of HBMs, for Waste & Resources Action Programme (WRAP), Aggregate Research Programme.
- 6 Sobolev K., Vivian I. F., Saha R. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials // Fuel. 2014. V. 116. P. 471 – 477.
- 7 Basu M. Review Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review / M. Basu, M. Pande, P.B.S. Bhadoriab, S.C. Mahapatra // Progress in Natural Science. –2009 –№19. – pp. 1173–1186.
- 8 S.K. Sharma, N. Kalra Effect of flyash incorporation on soil properties and productivity of crops: a review J Sci Ind Res, 65 (5) (2006), pp. 383-390.

9 Thetwar L. K. Studies on the effects of fly ash and plant hormones on soil metabolic activities / L. K. Thetwar, N. C. Desmukh, A. K. Jangde // *Asian J Chem.* – 2007. – №19(5). – pp.3515–3518.

10 Jusi A.F. Environmental impact of ball clay mining in Del Gallego / A.F. Jusi // *Camarines Sur: University of Nueva Caceres, Naga City.* – 2002. –pp. 39-63.

11 Ashish Kumar D. Strength and durability characteristics of bricks made using coal bottom and coal fly ash / Ashish Kumar D. Verma¹ a K, Singh¹ J., Sharma N. // *Advances in Concrete Construction.* – 2018. –Vol. 6–No. 4. pp. 407-422.

G. Koshlak, A. Pavlenko

*Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

PROSPECTS FOR USING ASH FROM THERMAL POWER PLANTS FOR MANUFACTURING BUILDING MATERIALS

The article analyzes the problems of environmental pollution and promising directions for the disposal of waste from the production of coal-fired thermal power plants. Possible ways of managing solid waste from coal-fired power plants have been identified in order to preserve the environment. Potential possibilities of using ash in agriculture, in designing the roadways, in manufacturing bricks, as an integral component in Portland cement are considered. The presence of valuable components in the ash creates undoubted prerequisites for its recycling. The authors studied the chemical composition, physical, mechanical and quality indicators of ash – waste products of the Burshtynska thermal power plant (TPP) to study the possibility of using it as a raw material in the production of building materials. It has been determined that according to the chemical composition, the fly ash from the Burshtynska TPP consists of more than 70% of silicium and aluminum oxides. The quality characteristics of ash were assessed by means of calculation with determining the basicity modulus, silicate modulus and quality factor. It was determined that ash from the Burshtynska TPP belonged to acidic, latently active ash. It is proposed to use ash as active mineral additives in raw mixes to obtain ash concrete. For this purpose, the rheological characteristics of a mortar mixture of ash-cement porous concrete compositions was studied, the influence of ash composition on the hydration processes of cement components was investigated, and the quantitative characteristics of this effect were established. The strength of aerated concrete massif was determined depending on the type of raw mixture. The results obtained made it possible to develop technologies for replacing cement with ash in the composition of aerated concrete, to optimize its raw material composition, and determine the kinetic characteristics of hardening processes by introducing chemical additives NaCl and Na₂SO₄ in order to accelerate hydration processes.

Key words: TPP ash, waste, recycling, quality characteristics of ash, aerated concrete mixtures

References

1 Koshlak H.V. Zmenshennia tekhnohennoho vplyvu vuhilnykh TES na dovkillia (na prykladi Burshtynskoi TES) / H.V. Koshlak, A.M. Pavlenko // *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia.* –2017. – №2. – S. 108-118.

2 Nihalani S.A., Mishra Y.D., Meeruty A.R. (2020) Handling and Utilisation of Fly Ash from Thermal Power Plants. In: Ghosh S., Kumar V. (eds) *Circular Economy and Fly Ash Management.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0014-5_1

3 Gorai S. Utilization of Fly ash for sustainable environment management / S Gorai. // *Journal of materials and environmental sciences.* –2018. – №9. – pp. 385-393.

4 López-Cuevas J., Interrial-Orejón E., Gutiérrez-Chavarría C. A. Synthesis and characterization of cordierite, mullite and cordierite-mullite ceramic materials using coal fly ash as raw material // *Materials research society.* 2018. V. 2. No. 62. P. 3865 – 3872.

5 Hassan K E, Chaddock B, Chandler J W E, Roberts C, Coley C, Badr A and Reid J M, August 2007, TRL Unpublished Project Report UPR/IE/119/07, Specification Trials and Testing of HBMs, for Waste & Resources Action Programme (WRAP), Aggregate Research Programme.

6 Sobolev K., Vivian I. F., Saha R. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials // *Fuel.* 2014. V. 116. P. 471 – 477.

7 Basu M. Review Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review / M. Basu, M. Pandea, P.B.S. Bhadoriab, S.C. Mahapatra // Progress in Natural Science. –2009 –№19. – pp. 1173–1186.

8 S.K. Sharma, N. Kalra Effect of flyash incorporation on soil properties and productivity of crops: a review J Sci Ind Res, 65 (5) (2006), pp. 383-390.

9 Thetwar L. K. Studies on the effects of fly ash and plant hormones on soil metabolic activities / L. K. Thetwar, N. C. Desmukh, A. K. Jangde // Asian J Chem. – 2007. – №19(5). – pp.3515–3518.

10 Jusi A.F. Environmental impact of ball clay mining in Del Gallego / A.F. Jusi // Camarines Sur: University of Nueva Caceres, Naga City. – 2002. –pp. 39-63.

11 Ashish Kumar D. Strength and durability characteristics of bricks made using coal bottom and coal fly ash / Ashish Kumar D. Verma^{1a} K, Singh¹ J., Sharma N. // Advances in Concrete Construction. – 2018. –Vol. 6–No. 4. pp. 407-422.

Надійшла до редакції 26 квітня 2021 р.