БУДІВНИЦТВО

https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-24-31

УДК 666.952.2

В. Р. Сердюк[1]
Д. Г. Рудченко[2]
Д. В. Гудзь[2]

ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВИНОСУ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ

[1]Вінницький національний технічний університет;
[2]ТОВ «Аерок»

Проаналізовано тенденції виробництва автоклавного газобетону. Автоклавний газобетон є ефективним конструкційно-теплоізоляційним стіновим матеріалом. Його питома вага в стінових матеріалах України становить 53 %. Зниження енергоємності його виробництва, перш за все, спрямоване на зниження вмісту клінкерної складової у складі мінерального в'яжучого газобетонної суміші.

Показано, що за умов посилення екологічних та енергетичних вимог, виробництво цементів з підвищеним вмістом мінеральних домішок постійно зростає. У виробництві цементу використовуються домішки вапняку, золи виносу, доменного гранульованого шлаку. Передбачається, що у виробництві цементу в 2050 році, вміст клінкеру в середньому буде складати 70 %. Розглянуто порівняльний досвід використання золи виносу в країнах ЄС та в Україні. Проведено дослідження впливу домішок золи виносу в комплексі з кварцовим піском як гібридного компонента газобетонних сумішей марки D400 і D300. Встановлена оптимальна кількість заміни кварцового компонента золою виносу Бурштинської ТЕС. Використання гібридного кремнеземистого компонента у виробництві автоклавного газобетону розв'язує декілька важливих задач: забезпечує утилізацію золи виносу, покращує фізико-механічні властивості матеріалу та потенційно надає можливість скорочення витрат мінерального в'яжучого. Зростання міцності на стиск і згин автоклавного газобетону, отриманого з використанням гібридного кремнеземистого компонента, пояснюється утворенням під час автоклавної обробки суміші низькоосновних гідросилікатів кальцію та гідрогранатів.

Ключові слова: автоклавний газобетон, використання золи виносу, мінеральні домішки.

Вступ

В промисловості будівельних матеріалів постійно реалізуються заходи, спрямовані на зменшення енергоємності їхнього виробництва. За останніми даними МЕА тільки на виробництво цементу в світі припадає 10 % викидів CO_2, а будівельний сектор загалом споживає до 40 % від всіх енергоносіїв. Україна разом з усім цивілізованим світом взяла на себе зобов'язання до 2030 року скоротити рівень викидів парникових газів на 40 % порівняно з 1990 роком.

Автоклавний газобетон потіснив на будівельному ринку традиційні стінові матеріали (цеглу глиняну і силікатну, керамзит і керамзитобетон, інші стінові матеріали), його питома вага в структурі стінових матеріалів України станом на 2020 рік зросла до 53 % . При цьому суттєво покращились показники конструктивної якості газобетону [1].

Газобетон густиною 300 кг/м^3 отримав статус конструкційно-теплоізоляційного стінового матеріалу, а густина теплоізоляційного газобетону зменшена до 100 кг/м^3.

Автоклавна технологія виробництва силікатних матеріалів дозволяє частково замінити постійно зростаючі в ціні традиційні в'яжучі, такі як вапно і, особливо, портландцемент, недефіцитною сировиною — золою твердих палив, доменними гранульованими шлаками, іншими природними та техногенними продуктами.

© В. Р. Сердюк, Д. Г. Рудченко, Д. В. Гудзь, 2021

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Найпоширенішим прийомом економії мінерального в'яжучого в цементних системах є наявність у їхньому складі активних природних і техногенних мінеральних домішок, які мають гідравлічні і пуцоланові властивості.

Технологічні зміни виробництва цементів в країнах ЄС свідчить про зростання виробництва композиційних портландцементів типу CEM II/B. Вапняк є найпоширенішим цементозамінним матеріалом в галузі виробництва будівельних матеріалів ЄС. Передбачається, що у виробництві цементу в 2050 році, вміст клінкеру в середньому буде складати 70 %. При цьому, одержання нових цементів (для яких викиди CO_2 зменшаться на 50 % порівняно зі звичайними портландцементами) можуть скласти 5 % від загального обсягу виробництва цементу. Це дозволить зменшити викиди CO_2 на 30 % тільки за рахунок цементної промисловості [2], [3].

Основними джерелами викидів CO_2 у виробництві цементу є прямі викиди від процесу кальцинації (50 %), спалювання палива (40 %) та непрямі викиди, пов'язані зі споживанням електроенергії (10 %). Зменшення емісії CO_2 від цементної промисловості включає вдосконалення енергетичної (термічної та електричної) ефективності, заміну традиційного викопного палива на менш вуглецевоємне, заміщення частини портландцементного клінкеру на низьковуглецеві цементозамінні матеріали [4]

За рахунок розширення сировинної бази для цементів типу CEM II/B у Німеччині показник «клінкер-фактору» знизився з 0,81 до 0,75 [5].

У США будівельники законодавчо зобов'язані застосовувати золу ТЕС в бетонах і розчинах. Порушники піддаються економічним санкціям з боку держави. Зазвичай ТЕС доплачує споживачеві за відбір золи [6]. У Китаї золошлаки ТЕС відпускаються споживачам безкоштовно. У Польщі застосовуються потужні економічні важелі, які стимулюють споживачів до використання золи та шлаків.

Під час спалювання вугілля на теплових електростанціях в нашій країні кожного року утворюється шлаків і золи у кількості 7…9 млн т (50…200 грамів на 1 кВт виробленої електроенергії) [7]. До тепер у відвалах ТЕС України накопичено 358,8 млн т золошлаків на площі близько 3170 га [8]. У відвалах лише Бурштинської ТЕС накопичено близько 40 млн т золи [9].

Відповідно до [10] у Західній Європі та Японії біля ТЕС практично ліквідовані золовідвали, а в Німеччині на багатьох ТЕС встановлені силоси для сухої золи, ємністю 40…60 тис. т, і обов'язково будуються невеликі силоси з добовою і дводобовою ємністю, з яких відбираються проби для лабораторного аналізу золи, після чого зола перевантажується у силоси-сховища. В Україні через застарілі ТЕС та низку інших причин питома вага переробки золи становить біля 10 % , тоді як для США цей показник сягає 80 % , у Великій Британії — 60 % , у Франції — 72 % .

Разом з тим, в Україні існує сучасна оновлена нормативна база щодо використання золи виносу та шлаків у технології виробництва різних будівельних матеріалів: ДСТУ Б В.2.7-205:2009 «Будівельні матеріали. Золи виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови»; ДСТУ Б В.2.7-128:2006 «Добавки активні мінеральні та добавки наповнювачі для цементу. Технічні умови»; ДСТУ Б В.2.7-211:2009 «Будівельні матеріали. Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови»; ГБН В.2.3-37641918-554:2013 «Автомобільні дороги. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом»; ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови».

Використання золи виносу в технології автоклавного газобетону передбачено в базовому нормативному документі СН 277-80 — Інструкції по виробництву автоклавного газобетону [11]. Високоосновна зола від спалювання горючого сланцю, кам'яного і бурого вугілля з вмістом CaO не менше 30 % є в'яжучим, а кисла зола виконує функцію кремнеземистого компонента автоклавного газобетону. Зола виносу використовується в технології виробництва автоклавного газобетону в Китаї, Польщі, Великобританії. Близько 10 % заводів-виробників автоклавного газобетону РФ використовують золу виносу.

З 1951 року в Лондоні працює перший завод з виробництва газобетону, побудований поруч з електростанцією, яка працює на вугіллі. Через закриття електростанцій, що працюють на вугіллі, заводи переходять на використання піску [12].

У Німеччині 3,1 млн т цементу замінюється золою. Для порівняння, в 2020 році Україна виробила 9,7 млн т цементу. У США будівельники законодавчо зобов'язані застосовувати золу ТЕС в бетонах і розчинах. На державному рівні законодавча політика передбачає великі штрафи за нако-

пичення і складування відходів, які можуть бути перероблені, тому виробники відходів часом навіть безкоштовно транспортують золу споживачам.

В Україні зола виносу не використовується у виробництві автоклавного газобетону. Це пов'язано, з одного боку, з наявністю якісного кварцового піску, вищими затратами на транспортування золи виносу в порівнянні з кварцовим піском, відсутністю гарантованої стабільності властивостей золи, що надзвичайно важливо і відчутно у виробництві газобетону низької густини. В умовах енергетичної кризи, екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням територій та викидами парникових газів Україна має використовувати досвід розвинених країн, щодо збільшення обсягів використання золи виносу, доменних гранульованих шлаків та інших природних і техногенних мінеральних домішок в цементних системах.

Мета роботи — оцінення впливу золи виносу Бурштинської ТЕС на міцнісні властивості автоклавного газобетону та визначення перспектив використання гібридного кремнеземистого компонента (кварцовий пісок + зола виносу).

Для досягнення мети роботи необхідно дослідити властивості вихідних сировинних матеріалів, провести лабораторні дослідження. Важливою характеристикою золи виносу, яка визначає її застосування, є хімічний склад та розмір частинок і відсоткове співвідношення їхніх фракцій — гранулометричний склад.

Характеристика золи

Понад 80 % мінерального складу вугілля переходить в золу, до 20 % — в шлак. Мінеральна частина твердого палива зазвичай включає карбонати кальцію та магнію, глинисті мінерали, слюди, кварц, польові шпати, сульфіди заліза, оксиди і гідроксиди заліза та ін. В процесі спалювання компоненти мінеральної частини змінюються, взаємодіють один з одним і утворюють різні сполуки, які зумовлюють утворення золи і шлаків змінного хімічного і мінералогічного складу.

В процесі спалювання вугілля природні мінерали послідовно дегідратуються і аморфізуються, переходять з кристалічного стану в аморфний стан. Сполуки заліза переходять в гематит або магнетит. Карбонати кальцію і магнію дисоціюють з утворенням CaO, MgO тощо. Золи ТЕС містять не вигорілі органічні залишки з різними властивостями.

В основу класифікацій золошлакових відходів за хімічним складом покладено вміст та співвідношення різних оксидів: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO. Клас золи визначається значенням модуля основності.

$$M_o = \left(CaO + MgO\right)/\left(SiO_2 + Al_2O_3\right). \quad (1)$$

За сумарного вмісту в золі виносу більше 70 % оксидів SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 вона вважається кислою. Якщо кількість вказаних оксидів знаходиться в межах від 50 % до 70 %, то таку золу називають основною. Хімічний склад золи в процесі спалювання різних марок твердого палива змінюється в досить широких межах, %: SiO_2 — 10…68; Al_2O_3 — 10…40; Fe_2O_3 — 2…30; CuO_2 — 2…70; MgO — 0…10; Na_2O і K_2O — 0…10. Крім того, в золі можуть міститися інші сполуки: германій, ванадій, миш'як, ртуть, берилій, фториди. Хімічний склад золи виносу Бурштинської ТЕС подано в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад золи виносу Бурштинської ТЕС

Оксиди	Вміст оксидів, мас. %								
	AI_2O_3	CaO	Fe_2O_3	SiO_2	K_2O	MgO	Na_2O	SO_3	LOE
Вміст	24,08	2,23	12,17	53,18	2,57	2,01	0,61	1,02	2,13

Як видно з табл. 1 ця зола є кислою золою. Форма частинок і фазовий стан частинок золи виносу теплових електростанцій залежить від мінерального складу вугілля та температури його спалювання. Частинки кислої золи, зазвичай, є сферичними, а частинки основної золи можуть мати неправильну форму [13], [14].

В роботі [15] досліджено морфологію, фазовий склад та радіологічні властивості золи виносу Бурштинської ТЕС. Частинки золи, які утворюються в полум'ї під час згорання вугілля, є закристалізованими скляними кульками з розміром 0,8…600 мкм (рис. 1).

Пуцоланову активність зол ТЕС забезпечують продукти випалу глиняної складової вугілля (метакаолініт, аморфні SiO_2 і Al_2O_3, алюмосилікатне скло). Метакаолін $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ активно реагує з

$Ca(OH)_2$ навіть за звичайних температур з утворенням гідросилікатів кальцію.

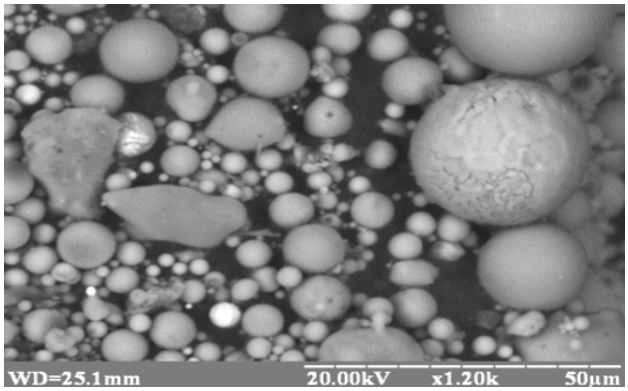

Рис. 1. Зовнішній вигляд сферичних частинок золи-виносу Бурштинської ТЕС

Саме через скловидне покриття і таку форму частинок зола виносу підвищує пластичність суміші і використовується в технології цементних бетонів. Фазовий аналіз підтвердив наявність у частинках α-кварцу (~ 62 мас. %), муліту (~ 32 мас. %) та суміші α-FeOOH, α-Fe_2O_3 і Fe_3O_4 (разом 6 мас. %). Максимум на інтегральній залежності відповідає частинкам, що мають розмір близько 16 мкм. У порошковому матеріалі фракція золи з розмірами 0,8…32 мкм є домінуючою і її об'ємна частина становить 54,8 %. В результаті згорання вугілля концентрація оксидів заліза (магнітної фракції) та радіонуклідів дещо збільшується. Разом з тим, рівень радіологічних властивостей золи виносу Бурштинської ТЕС підтверджує відсутність обмежень щодо її практичного використання, а магнітна складова може навіть бути вилучена.

Враховуючи скловидну поверхню золи виносу, в основу проведених досліджень [16] і [17] покладено гіпотезу щодо доцільності руйнації скловидного покриття частинок золи не шляхом помелу в кульових млинах, де зазвичай відбувається ефект «замелювання», а водними розчинами кислот, що утворюються в процесі відмивання фосфогіпсу від кислот. Зі збільшенням концентрації розчину кислоти до 5 % міцність на стиск і згин золоцементного в'яжучого збільшувалась відповідно на 20 і 30 %. Руйнування скловидної оболонки золи завдяки помелу або обробці хімічними реагентами забезпечує її більшу реакційну спроможність, а потенційні продукти взаємодії складових золи і кислот ($A1_2(SO_4)$, $FeSO_4$, $(Ca, Mg)SO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$, $(K_2, Na_2)SO_4$ та інші) виступають інтенсифікаторами гідратації мінерального в'яжучого.

Для оцінки впливу золи виносу на міцність автоклавного газобетону на стиск і згин контрольних зразків використані типові склади і сировинні компоненти автоклавного газобетону марки D400 і D300 компанії «Аерок». Як зола виносу використовувалась зола Бурштинської ТЕС. Для забезпечення тотожності складу силікатної маси під час формування суміші зберігалось В/Т, яке передбачене в технологічному регламенті промислового виробництва газобетону.

Експериментальний підбір складу суміші газобетону проводився в лабораторних умовах з використанням балочок типу 3ФБ-40 стандартної форми, без введення газоутворювача. В ході експериментів домішка золи виносу вводилась до складу газобетону разом з молотим піском, замінюючи частину піску, відповідно 5 %, 10 %, 15 % і 20 % від його маси. Результати впливу золи виносу на міцність зразків D400 на згин показані на рис. 2.

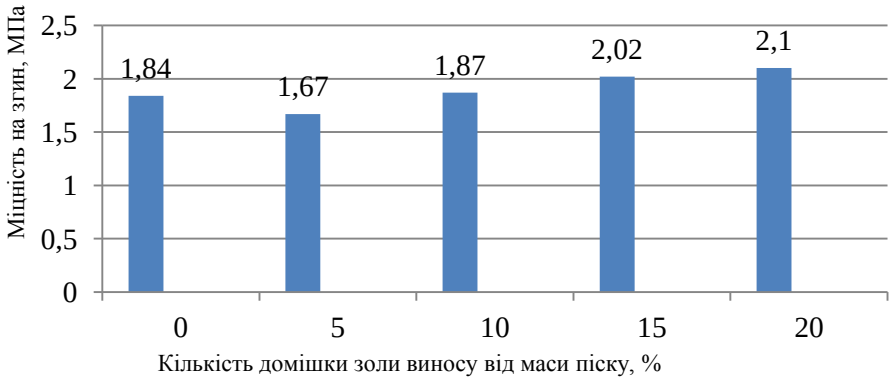

Рис. 2. Динаміка впливу вмісту домішки золи виносу на міцність на згин газобетонної суміші

Як видно з рис. 2, зі зростанням в складі кремнеземистого компонента золи виносу, міцність зразків марки D400 на згин у разі заміни 20 % кремнеземистого компонента зросла на 10 %. Заміна 20 % піску золою виносу в суміші марки D400 не є граничною і може бути збільшена.

На рис. 3 показані результати впливу домішки золи виносу на міцність зразків марки D400 на стиск.

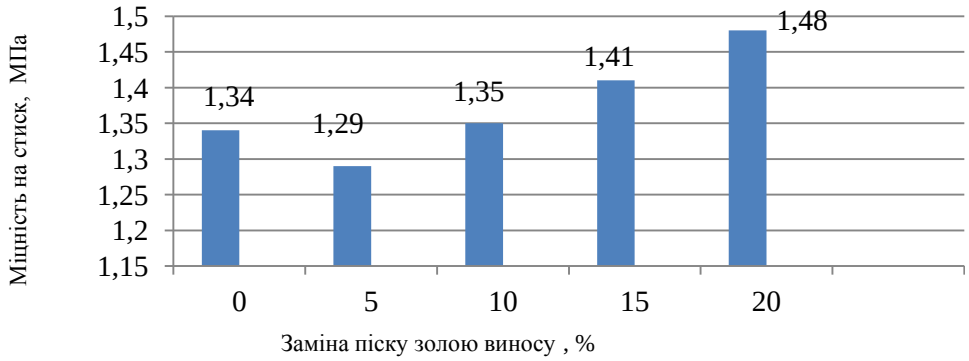

Рис. 3. Динаміка впливу заміни кварцового піску золою виносу на міцність на стиск газобетонної суміші марки D400

Як видно з рис. 2 і рис. 3 заміна 20 % піску золою виносу в газобетоні марки D400 позитивно впливає на міцність силікатної зв'язки (газобетону без газоутворювача) і може бути збільшена, але при цьому має бути врахований вплив домішки на морозостійкість та усадку газобетону.

На рис. 4 і 5 показані результати від заміни піску золою виносу на міцність на стиск та згин газобетону марки D300.

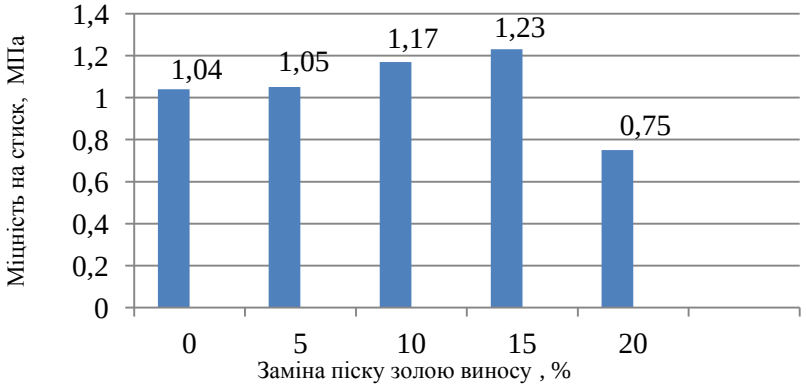

Рис. 4. Динаміка впливу заміни кварцового піску золою виносу на міцність на стиск газобетонної суміші D300 без газоутворювача

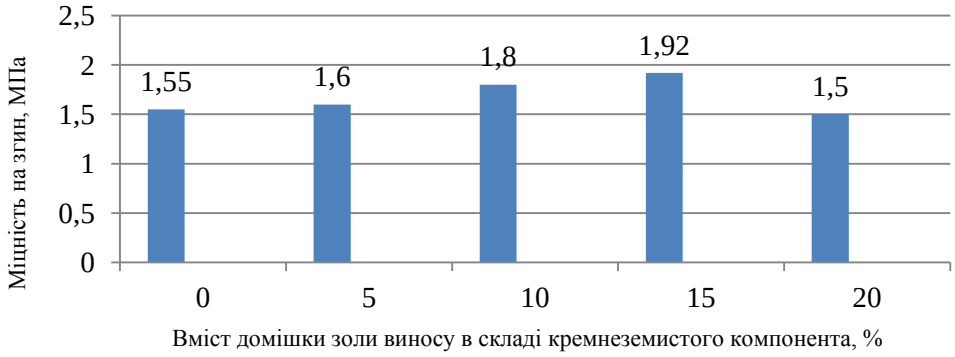

Рис. 5. Динаміка впливу домішки золи виносу на міцність на згин газобетонної суміші марки D300

Аналогічні тенденції незначного зростання міцності автоклавного газобетону відбуваються і на прикладі газобетонної суміші марки D300 до дозування 15 %. Заміна 15 % кварцового піску золою виносу забезпечує зростання міцності на стиск на 18 %, але у разі заміни кварцового піску 20 % золою виносу відбувається значний спад міцності. Таким чином, дія домішки золи виносу на газобетон низької густини D300 є відчутнішою і має бути обмежена 20 %. Кладка з газобетонних блоків класу міцності С1,5 і вище на розчинах і клеях характеризується тимчасовим опором осьовому розтягу (нормальне зчеплення) кладки з газобетонних блоків в інтервалі від 0,1 до 0,29 МПа.

Для з'ясування причин зростання міцності газобетону у разі заміни частини практично «ідеального» кварцового компонента (98,46 % SiO_2) на золу виносу, необхідно врахувати наявність в су-

міші низки інгредієнтів, які безпосередньо можуть впливати на фазовий склад новоутворень та зростання міцності матеріалу.

Як відомо, в умовах автоклавного синтезу новоутворень найбільшу міцність автоклавному газобетону забезпечують низькоосновні гідросилікати кальцію (ксонотліт, гідроліт, гідросилікати тоберморітового ряду), які характеризуються високою міцністю і морозостійкістю. Вони присутні в складах сумішей за C/S, рівних від 2/3 до 3/1, і в дуже широкому інтервалі температур — від 20 °С до 350 °С. Гідросилікати кальцію CSH становлять приблизно 70 % від обсягу гідратованого цементного тіста.

Високоосновні (двокальцієві) гідросилікати нестійкі і за температури 100 °С переходять в стійкіші сполуки CSH (B) і $Ca(OH)_2$. Наявність в складі автоклавного газобетону низькоосновних гідросилікатів кальцію і не зв'язаної $Ca(OH)_2$ забезпечує підвищення карбонізаційної стійкості газобетону та служить додатковим захистом арматури в газобетоні.

Алюмінати кальцію, які присутні в складі цементу та в складі золи виносу (24,08 % AI_2O_3), сприяють утворенню гідрогранатів, які не мають певної формули і мають змінний склад. Тому алюмосилікатні суміші $CaO : SiO_2 : A1_2O_3$ в залежності від умов автоклавної обробки та співвідношення оксидів впливають на властивості автоклавного газобетону. Оксиди заліза (12,17 %), як відомо, являються інтенсифікаторами утворення низькоосновних гідросилатів кальцію.

Разом з тим слід врахувати і те, що наявність гіпсового каменю у складі сировинної суміші на стадії формування газобетонної суміші приводить до утворення еттрингіту, який виконує функцію армувальної домішки на стадії формування суміші. За підвищених температур він втрачає воду і перетворюється в моносульфатну форму ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$). Враховуючи високе значення внутрішньої пористості (B/T = 0,67) силікатної маси не відбувається руйнування силікатної зв'язки. Очевидно, що утворений карбоалюмінат $C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O$ переходить в низькокарбонатну форму $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ і, за аналогією з моносульфатом, при руйнації ущільнює мікроструктуру матеріалу і підвищує міцність суміші після її автоклавування.

Перераховані інгредієнти з високим B/T сумішей газобетону марки D300 (0,72) зі зростанням домішки золи виносу (5; 10; 15 %) сприяють зростанню міцності на стиск і на згин, але зі збільшенням домішки до 20 %, стрімко падає міцність газобетону D300 на згин — 22 %, на стиск — 40 % .

Висновки

Автоклавний газобетон потіснив на будівельному ринку традиційні енергоємні у виробництві стінові матеріали (цеглу глиняну і силікатну, керамзит і керамзитобетон, інші стінові матеріали). Його питома вага в структурі стінових матеріалів України станом на 2020 рік зросла до 53 %, в європейських країнах 40…60 %. Технологічні зміни виробництва цементу — основного компоненту газобетону, прогнозують те, що у Європі в 2050 році, вміст клінкеру в цементі в середньому буде складати 70 %.

Зола виносу Бурштинської ТЕС є ефективною мінеральною домішкою і має перспективи впровадження в технологію виробництва автоклавних газобетонів. За використання гібридного кремнеземистого компонента, що містить 15 % золи виносу і 85 % кварцового піску забезпечується зростання міцності силікатної зв'язки газобетону марки D400 і D300 до 20 % .

Отримані багатокомпонентні склади автоклавного газобетону з підвищеною міцністю, яка зумовлена використанням вапна (лужна активізація) і гіпсового каменю (сульфатна активізація). Вони певною мірою моделюють фазовий склад продуктів гідратаційного твердіння доменних гранульованих шлаків. Продуктами взаємодії пуцоланового компонента з $Ca(OH)_2$ в умовах надлишкового тиску перегрітої пари і за температури 200 °С, як відомо, є гідросилікати кальцію і гідроалюмосилікати кальцію (гідрогранати) з включенням до їхнього складу оксидів заліза.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Д. Г. Рудченко, «Газобетон автоклавного твердения с повышенным коэффициентом конструктивного качества,» *сборник докладов НПК «Современный автоклавный газобетон»*. Краснодар, 2013, с. 85-93.

[2] P. Israel, P. Boos, T. Neumann, and F. Wanzura, "Production of CEM II/B cements with optimized properties," *Cement International*, № 1, pp. 55-60, 2013.

[3] S. Lindner, H.-M. Ludwig, H. Muller, and H.-J. Wachtler, "Production and properties of CEM II/B-M portland composite cements," *VDZ congress*, 2002, pp. 37-41.

[4] Friedrich W. Locher, "Cement – Principles of production and use," *Verlag Bau+Technic Gmbh*, 2006, 536 p.

[5] Й. Штарк, и В. Бернд, *Долговечность бетона*, пер. с нем. А. Тулаганова, П. Кривенко, Ред. Киев, Украина: Оранта, 2004, 301 с.

[6] С. А. Галич, *Перспективы использования золошлаков ТЭС в качестве микроудобрения для почв*. Институт проблем машиностроения Национальной академии наук Украины, Харьков, Украина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://waste.ua/cooperation/2007/theses/galich.html .

[7] *Классификация отходов ТЭС*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00093796_0.html .

[8] *Анализ технологий и методов утилизации твёрдых продуктов десульфуризации и частиц золы*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ufpk.com.ua/files/p3/analiz.html .

[9] А. В. Степанов, и В. П. Кухарь, *Достижения энергетики и защита окружающей среды*. Киев, Украина: Наукова думка, 2004, 207 с.

[10] *Звіт щодо проведення аналізу ситуації з золошлаковими відвалами на території Львівської та Івано-Франківської областей* в рамках реалізації Проекту Програми Транскордонного Співробітництва Польща-Білорусь-Україна 2007, 2013, с. 4. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.institute.lviv.ua/doc/zvitzola2Final.pdf .

[11] Госстрой СССР, *Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона (СН 277-80)*. Москва: Стройиздат. 1981, 46 с.

[12] Клиф Фадж, «Применение автоклавного газобетона в Великобритании, НПК *Современный автоклавный газобетон*, октябрь 2019, с. 78-83.

[13] А. Г. Мальчик, и С. В. Литовкин, «Изучение золошлаковых отходов для использования в качестве вторичных ресурсов,» *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, № 9-1, с. 23-27, 2015.

[14] T. S. Rushad et al., *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 1(4), 2011.

[15] І. Ф. Миронюк, Т. Р. Татарчук, Г. В. Васильєва, І. П. Яремій, і І. М. Микитин, «Морфологія, фазовий склад та радіологічні властивості золи Бурштинської теплової електростанції,» *Фізика і хімія твердого тіла*, т. 19, № , с. 171-178, 2018.

[16] В. Р. Сердюк, і Майах Мізхер, «Безвипалювальні низькомарочні цементи на основі фосфогіпсу,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 36-38, 1994.

[17] В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, і В. О. Христич, «Золоцементне в'яжуче для виготовлення ніздрюватих бетонів,» *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, наук.-техн. журнал ВНТУ. Вінниця, № 1(10), с. 57-61, 2011.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 25.04.2021

Сердюк Василь Романович —д-р техн. наук, професор, професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: vasromvs@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Рудченко Дмитро Геннадійович — канд. техн. наук, генеральний директор;

Гудзь Дмитро Вікторович — інженер-технолог.

ТОВ «Аерок»

V. R. Serdiuk[1]
D. G. Rudchenko[2]
D. V. Hudz[2]

Use of Removal Ash Burshtynskaya TPP in Technology of Autoclave Concrete Production

[1]Vinnytsia National Technical University;
[2]LLC "Aerok"

This paper analyzes the trends in the production of autoclaved aerated concrete. Autoclaved aerated concrete is an effective structural and heat-insulating wall material. Its share in the wall materials of Ukraine is 53 % . Reducing the energy consumption of its production is primarily aimed at reducing the content of the clinker component in the mineral binder aerated concrete mixture. It is shown that in the conditions of growing ecological and energy requirements the production of cements with the increased content of mineral additives constantly grows. In the production of cement, additives of limestone, fly ash, blast furnace granulated slag are used. It is assumed that in the production of cement in 2050, the clinker content will average 70 %. The comparative experience of ash removal in European countries and Ukraine is given. There has been studied the effect of the addition of ash-removal in complex with quartz sand as a hybrid component of aerated concrete mixtures brand D400 and D300. The optimal amount of quartz component replacement with Burshtyn TPP removal

ash has been established. The increase in the compressive and bending strength of autoclaved aerated concrete obtained using a hybrid siliceous component is explained by the formation of a mixture of low-basic calcium hydrosilicates and hydrogarnets during autoclave treatment.

Keywords: autoclaved aerated concrete, use of removal ash, mineral additives.

Serdiuk Vasyl R. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Municipal Economy Construction and Architecture, e-mail: vasromvs@gmail.com ;
Rudchenko Dmytro G. — Cand. Sc. (Eng.), General Director;
Gudz Dmytro V. — Engineer-technologist

В. Р. Сердюк[1]
Д. Г. Рудченко[2]
Д. В. Гудзь[2]

Использование золы уноса Бурштынской ТЭС в технологии производства автоклавного газобетона

[1]Винницький национальный технический университет;
[2]ООО «Аэрок»

Проведен анализ тенденций производства автоклавного газобетона. Автоклавный газобетон является эффективным конструкционно-теплоизоляционным стеновым материалом. Его удельный вес в стеновых материалах Украины составляет 53 %. Снижение энергоемкости его производства, прежде всего, направлено на снижение содержания клинкерной составляющей в составе минерального вяжущего газобетонной смеси.

Показано, что в условиях растущих экологических и энергетических требований производство цементов с повышенным содержанием минеральных добавок постоянно растет. В производстве цемента используются добавки известняка, золы уноса, доменного гранулированного шлака. Предполагается, что в производстве цемента в 2050 году, содержание клинкера в среднем будет составлять 70 %. Приведен сравнительный опыт использования золы уноса в странах ЕС и в Украине.

Проведены исследования влияния добавки золы уноса в комплексе с кварцевым песком в качестве гибридного компонента газобетонных смесей марки D400 и D300. Установлено оптимальное количество замены кварцевого компонента золой уноса Бурштынской ТЭС. Использование гибридного кремнеземистого компонента при производстве автоклавного газобетона решает несколько важных задач: обеспечивает утилизацию золы уноса, улучшает физико-механические свойства материала и потенциально приводит к возможности сокращения расходов минерального вяжущего. Увеличение прочности на сжатие и изгиб автоклавного газобетона, полученного с использованием гибридного кремнеземистого компонента, объясняется образованием в процессе автоклавной обработки смеси низкоосновных гидросиликатов кальция и гидрогранатов.

Ключевые слова: автоклавный газобетон, использование золы уноса, минеральные добавки.

Сердюк Василий Романович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры, e-mail: vasromvs@gmail.com ;
Рудченко Дмитрий Геннадиевич — канд. техн. наук, генеральный директор;
Гудзь Дмитрий Викторович — инженер-технолог