

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛОГІЧНОГО СКЛАДУ, СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ЗОЛЬНИХ МІКРОСФЕР УКРАЇНИ

Демченко В. О., Сім'ячко О. І., Свідерський В. А.

1. Вступ

Розвиток промисловості, особливо в останні роки, вимагає створення нових будівельних матеріалів із поліпшеними властивостями. В першу чергу, ці матеріали повинні мати підвищену міцність, тепло- і термостійкість, знижену теплопровідність, а також нижчу вартість порівняно з аналогами, присутніми на будівельному ринку України.

З розвитком науково-технічного прогресу все більш актуальним стає систематичне виявлення факторів, які визначають експлуатаційні властивості та вартість будівельних матеріалів та, як наслідок, потенційні можливості їх регулювання [1].

Значний інтерес в цьому напрямі представляють зольні мікросфери. Це – порожнисті зольні кульки розміром в середньому від 20 до 500 мкм із суцільними непористими стінками товщиною від 2 до 10 мкм. Зольні мікросфери заповнені сумішшю азоту і діоксиду вуглецю під зниженим тиском (близько 0,3 атмосфер). Такі характеристики можуть дозволити використовувати їх в промисловості (зокрема і в будівельній). Мікросфери утворюються в результаті високотемпературного факельного спалювання твердого палива на ТЕС та специфічної грануляції розплаву мінеральної частини вугілля шляхом її дроблення на окремі дрібні краплини і роздуву останніх через збільшення об'єму газових включень. Під дією високих температур при спалюванні вугілля створюються умови для формування закритої структури, так званих зольних мікросфер. Вказані матеріали мають низьку теплопровідність, щільність, усадку та водопоглинання, компакту укладку частинок, високу текучість, міцність, термостійкість та стабільність до дії факторів зовнішнього середовища. Саме вищенаведені властивості визначають потенційну здатність мікросфер до використання в якості наповнювача для будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктами досліджень було обрано зольні мікросфери Придніпровської, Криворізької, Трипільської, Бурштинської та Курахівської ТЕС (Україна).

Зольні мікросфери знайшли застосування майже в усіх сферах промисловості, зокрема, в будівництві, нафтовій і газовій, хімічній промисловості. У 2015 р. обсяг реалізації золошлакових матеріалів (в тому числі і зольних мікросфер) становив 348,2 тис. т, а виручка від продажу – 5 млн. дол. При цьому 31,5 тис. т зольних мікросфер реалізовано серед клієнтів на експортних ринках. Протягом останніх років спостерігається тенденція збільшення експорту та зменшення імпорту зольних мікросфер, що, в цілому, позитивно відображається на ринку промисловості України.

Використання зольних мікросфер в комерційних цілях має екологічний ефект. На даний момент золовідвали українських ТЕС заповнені на 50 %, а в деяких випадках – на 95 %. Вторинна переробка та використання зольних мікросфер дозволяє знизити негативний вплив існуючих золовідвалів на навколишнє середовище за рахунок зменшення обсягів їх складування.

Сьогодні вироби із застосуванням золошлакових відходів теплоелектростанцій набули широкого застосування як в українській промисловості, так і в промисловості країн Європи та СНД. Використання золошлакових відходів (в тому числі і зольних мікросфер) ТЕС у виробництві бетонних і залізобетонних виробів дозволяє скоротити витрати цементу на 10,2 %; поліпшити фізико-механічні та експлуатаційні властивості будівельних матеріалів; скоротити витрати на створення і експлуатацію відвалів [2–8].

Склад і властивості зольних мікросфер, отриманих із золи-виносу ТЕС, визначаються видом вугілля. Тому, дослідження їх структури і властивостей поверхні є одним з пріоритетних завдань, яке визначає доцільність і можливості використання останніх в якості наповнювача з підвищеними теплоізоляційними властивостями [7].

На основі аналізу попередніх досліджень і вивчення структури та властивостей поверхні зольних мікросфер необхідно визначити принцип застосування цих матеріалів в сумішах на основі мінеральних в'язучих.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – встановити можливість використання поверхні зольних мікросфер Придніпровської, Криворізької, Трипільської, Бурштинської та Курахівської ТЕС для наповнення композиційних будівельних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

1. Проаналізувати мінералогічний склад українських зольних мікросфер.
2. Дослідити властивості поверхні та структуру зольних мікросфер.
3. Оцінити рівень теплопровідності досліджуваних зольних мікросфер.
4. Оцінити ступінь відповідності зольних мікросфер вимогам, які ставляться до наповнювачів теплоізоляційних будівельних матеріалів.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Останні досягнення в технології наповнення, які за рахунок регулювання густини упакування наповнювача у вихідному матеріалі дозволяють підвищувати теплоізоляційні властивості будівельних матеріалів, ще не знайшли широкого висвітлення в літературі та використання на практиці [9–17]. У більшості випадків виготовлення будівельних виробів без наповнювачів технічно менш обґрунтовано, ніж з наповнених. Тому очевидно, що з розвитком технології введення останніх буде збільшуватись ефективність використання наповнювачів у складі будівельних матеріалів [3].

Аналіз літературних джерел по властивостях наповнювачів композиційних матеріалів засвідчив можливість використання зольних мікросфер в складі будівельних матеріалів для підвищення їх теплоізоляційних та експлуатаційних властивостей [5, 6].

Досвід роботи заводів ряду країн показав, що економічно доцільно вводити зольні мікросфери до складу бетонних сумішей. Відомо, що при заміні частини цементу зольними мікросферами покращується зручність вкладення бетонної суміші. Це відбувається, за рахунок гладкої поверхні і сферичної форми зольних частинок, при чому, чим тонші ці частинки, тим більша кількість їх необхідна. Відповідно до цієї залежності зменшується і кількість води для отримання необхідної консистенції бетонної суміші та поліпшуються її показники: підвищується пластичність, однорідність і щільність. Зольні мікросфери дозволяють поліпшити гранулометрію піску, в якому відсутні дрібні фракції. Особливо доцільно їх додавати в важкооброблювані бетонні суміші з малою кількістю цементу. В той же час сфери застосування обмежені внаслідок відсутності інформативності відносно властивостей поверхні зольних мікросфер [9–13].

5. Методи досліджень

Мінералогічний склад зольних мікросфер та кількісне співвідношення між фазами визначали методом рентгеноструктурного аналізу (дифрактометр ДРОН-2, Російська Федерація) та оптичної мікроскопії [8].

Крайовий кут змочування, пористість, питома поверхня, та коефіцієнт ліофільності визначали із використанням води та ксилолу, теплопровідність – стаціонарним методом циліндра [4].

6. Результати досліджень

Зольні мікросфери утворюються при пиловугільному спалюванні твердого палива, після чого вловлюються електрофільтрами та в сухому стані відбираються за допомогою золівідбірника на виробничі потреби, або ж, разом із водою і шлаком відправляються на золівідвал. Таким чином, мінералогічний склад зольних мікросфер залежить від виду твердого палива, яке спалюється на ТЕС.

Встановлено, що основними складовими мікросфер є склофаза, муліт та кварц. У вигляді домішок також присутні гематит, польовий шпат, магнетит, гідрослюди та оксид кальцію.

У складі досліджуваних мікросфер переважаючою є кристалофаза, за винятком Курахівської ТЕС. Представлена вона в основному мулітом (43–98 мас. %). Його мінімальна кількість (43 мас. %) виявлена для вищезгаданої станції, а максимальна (98 мас. %) – Трипільської ТЕС (табл. 1).

Таблиця 1

Мінералогічний склад зольних мікросфер, мас. %

ТЕС	Склофаза		Кристалофаза		Показник переломлення склофази
	Скло	Опал-кристобаліт	Мулiт	Кварц	
Бурштинська	2	–	95	3	1,519
Криворізька	6	–	93	1	1,512
Придніпровська	3	1	91	5	1,512
Трипільська	1	–	98	1	1,516
Курахівська	14	37	43	6	1,518

Вміст кварцу у кристалофазі мікросфер становить 1–6 мас. %. На рентгенограмах зміщення рефлексів кварцу в бік його викривленої модифікації свідчать про наявність домішок. Вміст останнього в мікросферах різної насипної густини відрізняється.

Підвищений вміст склофазы характерний для зольних мікросфер з золиносу ТЕС, що спалюють донецькі антрацити (Криворізька, Придніпровська, Курахівська ТЕС) – 4–51 мас. %. Вміст склофазы у мікросферах, що утворюються при спалюванні кам'яного вугілля Львівсько-Волинського басейну (Бурштинська ТЕС), становить лише 2 мас. %.

Встановлено, що показники переломлення склофазы мікросфер знаходяться в інтервалі 1,512–1,519, що відповідає склу з вмістом кремнію від 56,8 до 60,2 мас. %.

Дослідження з використанням оптичної мікроскопії показали, що зольні мікросфери мають форму, близьку до сферичної, і гладку зовнішню поверхню, а з використанням скануючого електронного мікроскопу виявило на їх зовнішній поверхні нерівності різної форми і розмірів. Встановлена також наявність закритої пористості оболонок на сколах у окремих мікросфер (рис. 1).

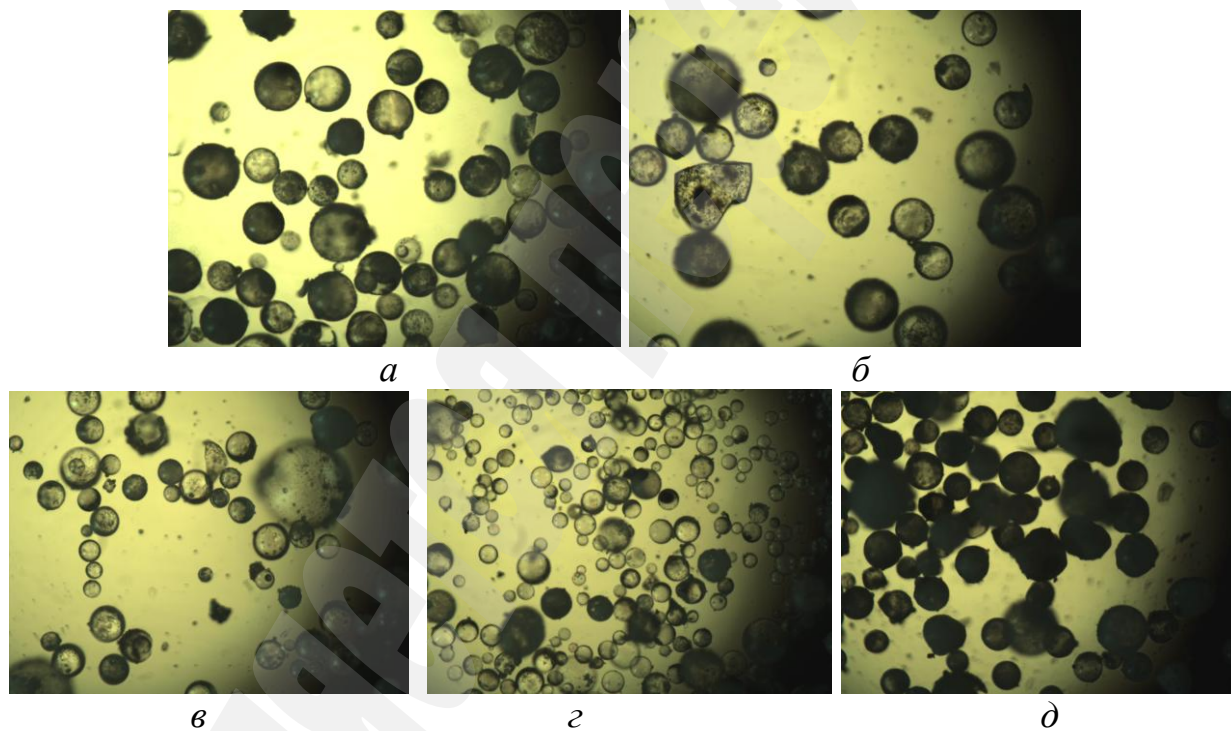


Рис. 1. Мікроструктура зольних мікросфер українських ТЕС:
а – Бурштинської; *б* – Криворізької; *в* – Курахівської; *г* – Придніпровської;
д – Трипільської

У немагнітних зольних мікросферах, отриманих у результаті трьохстадійного розділення, що містять у своєму складі як перфоровані, так і неперфоровані мікросфери, поряд з фазою кварцу присутня також незначна (не більше 5 мас. %) кількість муліту. Останній знаходиться тільки у перфорованих мікросферах, у той час як неперфоровані містять лише фазу кварцу (рис. 1).

Основною відмінністю магнітних мікросфер від немагнітних є поява в їх складі поряд з кварцом фази магнетиту Fe_3O_4 . Необхідно також відзначити від-

сутність суттєвих відмінностей у мінералогічному складі перфорованих і неперфорованих мікросфер, де реєструються фази кварцу, магнетиту і муліту (останні на межі виявлення). У той же час муліт не проявляється у всіх досліджуваних золах з густиною 0,52 г/см³.

Можливості використання зольних мікросфер як наповнювача в значній мірі визначаються здатністю цього матеріалу змочуватись різними рідинами з утворенням стійких стабільних дисперсних систем. В цих системах рідина змочування виступала б дисперсійним середовищем, а зольні мікросфери – дисперсною фазою [10].

Так, з метою встановлення доцільності застосування зольних мікросфер як наповнювача теплоізоляційних будівельних матеріалів, визначалась їх змочуваність полярною та неполярною рідинами: досліджуваною рідиною (вода) та рідиною порівняння, величина в'язкості та поверхневого натягу якої є дуже низькою – ксилол. Результати дослідження наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Властивості зольних мікросфер

Показник	Бурштинська ТЕС	Придніпровська ТЕС	Криворізька ТЕС	Трипільська ТЕС	Курахівська ТЕС
Змочуваність: – вода; – ксилол	0,0872 0,5878	0,0523 0,6018	0,1045 0,6691	0,0872 0,7771	0,0349 0,5736
Ефективна питома поверхня, м ² /г	1,7	1,9	1,5	2,0	2,3
Коефіцієнт ліофільності (β)	0,148	0,087	0,156	0,112	0,061
Умовний тангенс кута діелектричних втрат: – висушені; – витримані у вологому середовищі	0,021 0,027	0,025 0,040	0,026 0,031	0,024 0,075	0,016 0,018

Встановлено, що зольні мікросфери значно краще змочуються неполярними рідинами (ксилол, C₈H₁₀), ніж полярними (вода, H₂O). При чому, досліджуваний матеріал змочується погано (кут змочування в точці зіткнення трьох фаз становить 50–90°) [11, 12].

Найбільшою змочуваністю як по воді, так і по ксилолу характеризуються зольні мікросфери, отримані шляхом спалювання вугілля Курахівської (0,0349 – по воді та по ксилолу – 0,5736) та Придніпровської ТЕС (по воді – 0,0523 та 0,0349 – по ксилолу). Найменша змочуваність характерна для зольних мікросфер по воді – Криворізької ТЕС (0,1045), по ксилолу – Трипільської ТЕС (0,7771) [13, 14].

Коефіцієнт ліофільності є найвищим у зольних мікросфер, отриманих при спалюванні вугілля Бурштинської ТЕС, і становить 0,148, а найнижчим – у зольних мікросфер Курахівської ТЕС (0,061).

Окрім змочуваності, не менш важливою характеристикою при вивченні властивостей порошкоподібних матеріалів, у даному випадку зольних мікросфер, є їх питома поверхня.

Питома поверхня дисперсної фази визначає характер її взаємодії з матрицею та залежить від поверхні контакту і розподілу частинок у дисперсійному середовищі.

Зольні мікросфери мають відносно низьку питому поверхню (табл. 2). Це безпосередньо пов'язано з їх гранулометричним складом: загальною крупністю фракції, вмістом фракцій підвищеної крупності (300–500 мкм), розподілом частинок в об'ємі; а також з його мінерально-фазовим складом.

Так, найвищу питому поверхню мають зольні мікросфери, отримані при спалюванні вугілля Трипільської та Курахівської ТЕС (2,0 та 2,3 м²/г). Найнижча величина даного показника у зразків з Криворізької ТЕС.

Зольні мікросфери проявляють властивості типового діелектрика. Висушений матеріал характеризується порівняно низькими значеннями умовного тангенса кута діелектричних втрат.

Однак, адсорбувавши на свою поверхню певну кількість вологи, tgδ збільшується на порядок. Це свідчить про те, що діелектричні властивості зольних мікросфер залежать від властивостей їх поверхні: потенційної енергії, полярності некомпенсованих енергетичних потенціалів, адсорбційної здатності поверхні та адсорбованих нею речовин. Чим вище значення tgδ, тим вище гідрофільність і нижчу гідрофобність мають досліджувані матеріали.

Отримані дані показали, що найвище значення tgδ у зольних мікросфер Трипільської ТЕС, також високі показники для відходів Криворізької та Придніпровської ТЕС. Мінімальне його значення для зол Бурштинської та Курахівської ТЕС. З вищезазначеного слідує, що зольні мікросфери двох останніх ТЕС мають, відповідно, і мінімальне вологопоглинання серед досліджуваних матеріалів.

Основні властивості теплоізоляційних матеріалів визначаються їх пористістю: повітряні пори різко знижують теплопровідність матеріалу. Крім того, від пористості залежать щільність, міцність, газопроникність теплоізоляційних матеріалів.

Важливе значення має рівномірний розподіл повітряних пор у мікросферах і характер пор, а також хімічний склад і молекулярна будова каркасу та умови застосування даного матеріалу. Особливо це необхідно враховувати при виборі матеріалів для високотемпературної ізоляції.

Більш високі теплоізоляційні властивості при однаковій пористості мають матеріали, що мають дрібні замкнуті пори внаслідок зменшення передачі теплоти конвекцією та випромінюванням.

Оцінка пористості зольних мікросфер за методом з використанням рідин різної полярності показана у табл. 3.

Найвища вона у випадку Трипільської та Криворізької ТЕС (50 % та 45,2 % відповідно), а найнижча – Курахівської ТЕС (38,8 %).

Враховуючи те, що властивості мікросфер досліджувалися з метою доведення доцільності використання їх як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів, то на даному етапі важливим буде навести результати дослідження теплопровідності зольних мікросфер різних ТЕС України [9].

Таблиця 3

Пористість зольних мікросфер, %

ТЕС	Вода	Ксилол
Бурштинська	43,5	44,2
Придніпровська	39,4	41,3
Криворізька	45,2	47,1
Трипільська	50,0	51,8
Курахівська	38,8	39,6

Результати визначення коефіцієнта теплопровідності (λ) наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Коефіцієнт теплопровідності зольних мікросфер, Вт/(м·К)

Показник	Бурштинська ТЕС	Придніпровсь- ка ТЕС	Криворізь- ка ТЕС	Трипільсь- ка ТЕС	Курахівсь- ка ТЕС
Коефіцієнт теп- лопровідності (λ)	0,184	0,162	0,173	0,190	0,177

Найвищий коефіцієнт теплопровідності мають зольні мікросфери, отримані з Трипільської та Бурштинської ТЕС (0,190 та 0,184 Вт/(м·К) відповідно), а найнижчий – Придніпровської ТЕС. Оскільки, нижчий коефіцієнт теплопровідності зумовлює менший теплообмін внутрішнього середовища з зовнішнім, то більш високими теплоізоляційними властивостями володіють зольні мікросфери Придніпровської, Криворізької та Курахівської ТЕС.

На основі отриманих даних з використанням незалежних методів фізико-хімічного аналізу встановлено, що в складі досліджуваних зольних мікросферах знаходиться муліт, кварц, скло та опал-кristобаліт. Їх кількість визначається особливостями технологічних процесів отримання зольних мікросфер та родовища вугілля.

Вивчення мінералогічного складу зольних мікросфер дозволяє визначити основні напрями реалізації їх потенційних можливостей. Для отримання більш повної картини необхідно охарактеризувати зв'язок мінералогічний склад наповнювачів – властивості поверхні [13].

Змочуваність водою пов'язується з кристалохімічною будовою зольних мікросфер, молекулярною природою поверхні і наявністю на ній таких центрів чи радикалів, що приєднують до себе молекули води за допомогою водневих зв'язків. Отже вихідні властивості поверхні сировинних компонентів необхідно враховувати при практичному застосуванні зольних мікросфер в якості наповнювача для будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

Наявність деяких розбіжностей при оцінці взаємодії зольних мікросфер з водою (за показником змочуваності та умовним тангенсом кута діелектричних втрат) зумовлено, окрім відмінностей в мінералогічному складі, і різним ступенем розвитку питомої поверхні. В цьому зв'язку експериментально встановлено (табл. 2), що дослідна проба зольних мікросфер Криворізької ТЕС відрізняється від Курахівської ТЕС більшою змочуваністю полярною (водою) і неполярною (ксилолом) рідиною. А також вищезазначені зразки відрізняються коефіцієнтом

ліофільності (0,156 для Криворізької ТЕС проти 0,061 для Курахівської ТЕС) при дещо меншій ефективній питомій поверхні.

З метою визначення доцільності використання зольних мікросфер в якості наповнювачів для будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями необхідно охарактеризувати зв'язок мінералогічний склад – пористість – теплопровідність досліджуваних вітчизняних мікросфер.

Окрім згаданих факторів, фізико-хімічні властивості поверхні зольних мікросфер в певній мірі визначаються параметрами їх порової структури.

Її кількісна оцінка з використанням води і ксилолу засвідчила наявність значної диференціації. Так, мінімальний об'єм пор для досліджуваних матеріалів складає 38–43 % в залежності від виду рідини (вода), а максимальний 47–51,8% (ксилол). Зразки зольних мікросфер Бурштинської ТЕС відрізняються приблизно однаковою пористістю як по воді, так і по ксилолу. Причиною такого явища може бути мінералогічний склад вугілля, що виступає сировиною для отримання зольних мікросфер [14].

Величина пористості значною мірою впливає на міцність зольних мікросфер. В даному випадку, при збільшенні пористості зменшується маса матеріалу, зменшується його теплопровідність, істотно змінюється міцність, водопроникність, морозостійкість тощо.

Явище змочування характеризує молекулярну взаємодію між рідиною та зольними мікросферами і суттєво впливає на перспективи використання зольних мікросфер в якості наповнювача для будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

Найкраща змочуваність при натіканні спостерігається для зольних мікросфер Криворізької, Бурштинської та Трипільської ТЕС, найгірша – для Курахівської ТЕС. Відносно мінералогічного складу слід відмітити, що в перших трьох випадках переважає муліт, а в останньому – складові (муліт та опалкристобаліт) варіюються практично в однаковому співвідношенні.

Взаємозв'язок між мінералогічним складом зольних, їх енергетичним станом (умовний тангенс кута діелектричних втрат) та змочуваністю водою теж чітко відстежується. Максимальні значення $\text{tg}\delta$ спостерігається у випадку поганого змочування. З покращенням змочування умовний тангенс кута діелектричних втрат зменшується [15].

Теплоізоляційні властивості будівельних матеріалів перш за все залежать від об'ємної маси наповнювача (щільності). Деякий вплив на теплопровідність спричиняють також структура пор і мінералогічний склад цього наповнювача (зольних мікросфер) [16, 17].

Коефіцієнт теплопровідності досліджуваних зольних мікросфер коливається в межах 0,162–0,190 Вт/(м·К). Звідси слідує, що найвищими теплоізоляційними властивостями володіють зразки, отримані з Трипільської ТЕС, а найнижчими – Придніпровської ТЕС.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Серед сильних сторін даного дослідження необхідно відмітити обґрунтований вибір сировинної бази для використання зольних мікросфер в

якості наповнювача для будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями: золошлакові відходи твердопаливних теплоелектростанцій (Бурштинської, Придніпровської, Криворізької, Трипільської та Курахівської), бо на сьогодні такі дані відсутні.

Дослідження мінералогічного складу, структури і властивостей поверхні вітчизняних зольних мікросфер дозволить розширити сфери використання цього матеріалу в якості наповнювача для композиційних матеріалів (в тому числі і будівельних). До того ж, зольні мікросфери – це альтернативна сировина, яка виробляється під час високотемпературного спалювання вугілля на ТЕС та не потребує додаткової обробки, і, як наслідок, фінансових затрат в цьому напрямку. Зольні мікросфери володіють досить високими теплоізоляційними властивостями, а тому даний матеріал має перспективу використання в якості наповнювача для будівельних матеріалів (зокрема, і для будівельних сумішей).

Weaknesses. Слабкою стороною даних досліджень є те, що вивчення мінералогічного складу, структури і властивостей зольних мікросфер є недостатнім для повної та всебічної оцінки даних матеріалів для використання останніх в якості наповнювача будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

Ще одним недоліком даного дослідження є те, що науковий експеримент проводиться протягом тривалого періоду експлуатації в режимі реального часу. В результаті цього можуть виникнути неприпустимі похибки, зумовлені фактором суб'єктивізму. Тому для запобігання зазначеного недоліку слід особливу увагу приділяти чистоті самої процедури дослідження на всіх її етапах. Для запобігання такого недоліку необхідно чітко дотримуватися методики досліджень та чистоти експерименту.

Opportunities. На перспективу доцільним є проведення інших досліджень, пов'язаних з визначенням фізико-хімічних, фізико-технічних та фізико-механічних властивостей зольних мікросфер. Такими властивостями можуть бути: хімічний склад матеріалу, густина, ІЧ-спектрометрія та інші. Дослідження вищенаведених властивостей зольних мікросфер дозволить більш глибоко визначити доцільність використання останніх як наповнювача для будівельних матеріалів (зокрема, сухих будівельних сумішей) з підвищеними теплоізоляційними властивостями. Дослідження у цьому напрямку розширять можливості застосування зольних мікросфер.

Threats. Складнощі у впровадженні отриманих результатів можуть бути пов'язані з тим, що даний матеріал не такий відомий як, наприклад, скляні мікросфери. Властивості останніх не дослідженні в повному обсязі, а використання їх в якості наповнювача для будівельних матеріалів не таке, поширене, як інші (наприклад, пісок). За рахунок невисоких міцнісних характеристик порівняно з іншими наповнювачами, для використання зольних мікросфер в будівельній промисловості необхідно їх модифікувати та вдосконалити.

Таким чином, SWOT-аналіз результатів дослідження дозволяє визначити основні напрямки щодо досягнення мети досліджень, а саме:

- провести комплексні дослідження з визначення впливу окремих властивостей на потенційну здатність використання зольних мікросфер для будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями;

- розробити методіку щодо додаткових досліджень властивостей зольних мікросфер;
- дослідити індивідуальні характеристики модифікованих зольних мікросфер з метою подальшої рекомендації їх використання у будівельній промисловості.

8. Висновки

1. З використанням методів рентгенофазового аналізу та оптичної мікроскопії досліджено п'ять зразків зольних мікросфер, отриманих з різних ТЕС України. Зафіксовано присутність в їх складі скла, опал-кристобаліту, муліту та кварцу.

2. Виявлено визначаючу роль кількості адсорбованої води на змочуваність досліджуваних зольних мікросфер. Представлена порівняльна кількісна оцінка їх змочуваності водою і ксилолом на рівні 0,0349–0,1045 та 0,5736–0,7771 відповідно та енергетичного стану поверхні.

3. Оцінено вплив питомої поверхні різних зольних мікросфер та характеру їх порової структури на фізико-хімічні властивості поверхні. Зокрема, від величини питомої поверхні залежить поглинальна здатність досліджуваного матеріалу. Також величина питомої поверхні характеризує дисперсність зольних мікросфер. Результати досліджень (табл. 2) підтверджують доцільність використання зольних мікросфер в якості наповнювача для будівельних матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

4. Досліджено теплопровідність та охарактеризовано її взаємозв'язок з мінералогічним складом та пористістю українських зольних мікросфер. Мінералогічний склад та пористість зольних мікросфер безпосередньо впливають на теплопровідність останніх. За результатами досліджень (табл. 1, 3) при однаковому або близькому хімічному складі теплопровідність матеріалів, що мають кристалічну будову, вище, ніж матеріалів аморфної і змішаної будови. При однаковій пористості (табл. 3) більш високими теплоізоляційними властивостями володіють матеріали, що мають дрібні замкнуті пори внаслідок зменшення передачі теплоти конвекцією та випромінюванням.

Література

1. Chumakov, L. D. Tehnologiiia zapolnitelei betona (praktikum) [Text]: Handbook / L. D. Chumakov. – Moscow: ASV, 2006. – 48 p.
2. Danilovich, I. Yu. Ispol'zovanie toplivnyh shlakov i zol dlia proizvodstva stroitel'nyh materialov [Text] / I. Yu. Danilevich, N. A. Skanavi. – Moscow: Vysshiaia shkola, 1988. – 72 p.
3. Haluschak, M. O. Methods of Measuring the Thermal Conductivity of Bulk Solids and Thin Films (Review) [Text] / M. O. Haluschak, V. G. Ralchenko, A. I. Tkachuk, D. M. Freik // Physics and Chemistry of Solid State. – 2013. – Vol. 14, No. 2. – P. 317–345. – Available at: \www/URL: http://www.pu.if.ua/inst/phys_che/start/pcss/vol14/1402-03.pdf
4. Pashchenko, A. A. Gidrofobnyi vspuchennyi perlit [Text] / A. A. Pashchenko, M. G. Voronkov, A. A. Krupa, V. A. Svidersky. – Kyiv: Naukova dumka, 1977. – 204 p.
5. Kochergin, S. M. Betony. Materialy. Tehnologii. Oborudovanie [Text] / S. M. Kochergin. – Moscow: Stroiform; Rostov na Donu: Feniks, 2006. – 424 p.
6. Kats, G. S. Napolniteli dlia polimernykh kompozitsionnykh materialov [Text] / ed. by G. S. Kats, D. V. Milevski. – Moscow: Khimiia, 1981. – 736 p.

7. Teriaeva, T. N. Fiziko-himicheskie svoistva aliumosilikatnyh polyh mikrosfer [Text] / T. N. Teriaeva, O. V. Kostenko, Z. R. Ismagilov, N. V. Shikina, N. A. Rudina, V. A. Antipova // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. – 2013. – Vol. 5 (99). – P. 86–90.
8. Landel, R. F. Mechanical Properties of Polymers and Composites, Second Edition [Text] / R. F. Landel, L. E. Nielsen. – CRC Press, 1993. – 580 p.
9. Mironyuk, I. F. The Scientific Principles of Controlled Synthesis of Fumed Silica and its Physico-Chemical Properties [Text]: Thesis for a Doctor's Degree / I. F. Mironyuk. – Kyiv: The Institute for Surface Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2000. – 46 p.
10. Barthel, H. Fumed Silica – Production, Properties, and Applications [Text] / H. Barthel, L. Rosch, J. Weis // Organosilicon Chemistry II: From Molecules to Materials. – Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1996. – P. 761–778. doi:[10.1002/9783527619894.ch91](https://doi.org/10.1002/9783527619894.ch91)
11. Meyer, K. Fiziko-himicheskaia kristallografiia [Text] / K. Meyer, E. D. Shchukin, B. M. Summ. – Moscow: Metallurgiiia, 1972. – 480 p.
12. Wang, Q. The role of fly ash microsphere in the microstructure and macroscopic properties of high-strength concrete [Text] / Q. Wang, D. Wang, H. Chen // Cement and Concrete Composites. – 2017. – Vol. 83. – P. 125–137. doi:[10.1016/j.cemconcomp.2017.07.021](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.07.021)
13. Ivanov, M. G. Sorbtsiia formal'degida i tehnologiia polucheniia opoki, modifitsirovannoi silanom [Text] / M. G. Ivanov, O. B. Lihareva, A. I. Matern, O. V. Stoianov // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2017. – Vol. 20, No. 12. – P. 22–26.
14. Bodnar, R. T. Ekspres-metod vyznachennia kraiovoho kuta zmochuvannia porystykh til [Text] / R. T. Bodnar // Metody ta pryklady kontroliu yakosti. – 2016. – Vol. 1 (36). – P. 30–38. – Available at: \www/URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4256/1/5397p.pdf>
15. Dai, S. The sources, pathway, and preventive measures for fluorosis in Zhijin County, Guizhou, China [Text] / S. Dai, W. Li, Y. Tang, Y. Zhang, P. Feng // Applied Geochemistry. – 2007. – Vol. 22, No. 5. – P. 1017–1024. doi:[10.1016/j.apgeochem.2007.02.011](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.02.011)
16. Jow, J. Fly Ash-based Technologies and Value-added Products Based on Materials Science [Text] / J. Jow, Y. Dong, Y. Zhao, S. Ding, Q. Li, X. Wang, S. Lai // 2015 World of Coal Ash (WOCA) Conference in Nashville, May 5–7, 2015. – 26 p. – Available at: \www/URL: <http://www.flyash.info/2015/047-jow-2015.pdf>
17. Liu, H. Morphology and Composition of Microspheres in Fly Ash from the Luohuang Power Plant, Chongqing, Southwestern China [Text] / H. Liu, Q. Sun, B. Wang, P. Wang, J. Zou // Minerals. – 2016. – Vol. 6, No. 2. – P. 30. doi:[10.3390/min6020030](https://doi.org/10.3390/min6020030)