

**Валентин СВДЕРСЬКИЙ,
Валентина ДЕМЧЕНКО**

ХІМІЧНИЙ СКЛАД І ДИСПЕРСНІСТЬ ЗОЛЬНИХ МІКРОСФЕР

Досліджено властивості зольних мікросфер вітчизняних ТЕС. Вивчено хімічний склад, дисперсність та умовний тангенс кута діелектричних втрат мікросфер, отриманих при спалюванні вугілля Донецького (Трипільська, Курахівська, Криворізька, Придніпровська ТЕС) та Львівсько-Волинського вугільних басейнів (Буришинська ТЕС).

Ключові слова: зольні мікросфери, гранулометричний склад, вугілля, золошлакові відходи, дрібнодисперсний матеріал, умовний тангенс кута діелектричних втрат.

Свидерский В., Демченко В. Химический состав и дисперсность зольных микросфер. Исследованы свойства зольных микросфер отечественных ТЭС. Изучен химический состав, дисперсность и условный тангенс угла диэлектрических потерь микросфер, полученных при сжигании угля Донецкого (Трипольская, Кураховская, Криворожская, Приднепровская ТЭС) и Львовско-Волинского угольных бассейнов (Буришинская ТЭС).

Ключевые слова: зольные микросферы, гранулометрический состав, уголь, золошлаковые отходы, мелкодисперсный материал, условный тангенс угла диэлектрических потерь.

Постановка проблеми. Унікальні властивості складу та будови зольних мікросфер, одержуваних із відходів спалювання вугілля на теплових електростанціях, визначили їх використання у виробництві теплоізоляційних будівельних матеріалів. Із мікросфер можна спікати міцні агломерати з високими теплоізоляційними властивостями, які не поступаються пінопласту. Навіть більше, теплоізоляція з мікросфер витримує температури до 1000–1200 °С, тоді як пінопласт починає плавитися при 300 °С [1].

Зольні мікросфери – це тонкодисперсний порошок, який складається з частинок, розміром від декількох мікрометрів до десятих частин міліметра. Така структура уможливорює використовувати золу-винесення без додаткового помелу. Зольні мікросфери вловлюються електрофільтрами під час спалювання твердого палива на ТЕС. В сухому стані вони відбираються за допомогою золівідбірника на виробничі потреби, або разом із водою і шлаком відправляються на

золівідвал. Їх будова й склад залежать від виду та морфологічних властивостей твердого палива, яке спалюється, хімічного складу його мінеральної частини, температури та часу горіння тощо.

Проблемам вивчення складу, фізико-хімічних властивостей зольних мікросфер та їх застосування як наповнювачів присвячено дослідження науковців, зокрема М. І. Холдаєвої [1], М. В. Панкової [2], Ехаба Мохамеда Хосни Рагаба [3].

Поєднання таких властивостей, як невисока вартість, наявність ресурсів, висока міцність і хімічна стійкість, уможливорює використовувати зольні мікросфери як наповнювачі для теплоізоляційних будівельних матеріалів. Дослідження гранулометричного та хімічного складу зольних мікросфер можуть сприяти оптимальному підбору цієї сировини для вирішення конкретних технічних завдань. При використанні зольних мікросфер як наповнювача досягається низька щільність і теплопровідність теплоізоляційних будівельних матеріалів [1].

Зольні мікросфери – дрібнодисперсний продукт, завдяки якому не порушується однорідність розчину. Широкий діапазон діаметрів і майже сферична форма мікросфер забезпечують компактне укладання за рахунок мінімального відношення площі поверхні до об'єму [2; 3]. Проте основні характеристики зольних мікросфер, наведені в літературі, описують переважно їхню щільність, міцнісні параметри, температуру плавлення, що не є достатнім для оцінки їх як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів.

Мета роботи – дослідження властивостей зольних мікросфер для використання їх як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів, зокрема газобетонів.

Матеріали та методи. Об'єктами досліджень обрано зольні мікросфери Придніпровської, Криворізької, Трипільської, Курахівської ТЕС (Донецький кам'яновугільний басейн) та Бурштинської ТЕС (Львівсько-Волинський вугільний басейн), які мають різну мінеральну складову твердого палива. Гранулометричний склад зольних мікросфер визначено ситовим методом за ДСТУ ISO 2591-1:2004 [4], хімічний склад – на аналізаторі "EXPERT-3L", умовний тангенс кута діелектричних втрат – за допомогою мосту змінного струму P5083 на робочій частоті 1000 Hz.

Результати дослідження. Для того щоб оцінити перспективи використання зольних мікросфер як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів (зокрема, для газобетонів), необхідно охарактеризувати склад вугілля, яке спалювалося на зазначених ТЕС. На Бурштинській, Трипільській, Криворізькій і Придніпровській – це антрацитове вугілля, Курахівській ТЕС – кам'яне. Оскільки зольні мікросфери – мінеральна складова твердого палива після високо-температурних перетворень, то хімічний склад цих матеріалів (табл. 1) є підґрунтям для подальших досліджень.

Хімічний склад зольних мікросфер

ТЕС	Хімічний склад зольних мікросфер, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	Pb ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₂	CuO	CaO
Бурштинська	56.44	32.54	5.54	1.08	0.04	0.01	5.21	0.08	0.01	–
Криворізька	57.12	30.48	5.02	1.05	0.05	0.01	6.06	0.12	0.01	–
Придніпровська	52.91	36.11	3.01	0.69	0.04	0.01	6.42	–	0.01	0.6
Трипільська	60.68	34.24	1.67	1.19	–	–	0.95	0.26	–	1.01
Курахівська	56.2	30.01	4.09	0.98	–	–	5.11	0.26	–	3.35

Переважаючими компонентами хімічного складу досліджених зольних мікросфер є оксиди кремнію (Трипільська ТЕС) і алюмінію (Придніпровська та Трипільська ТЕС).

Не менш важливим компонентом зольних мікросфер є оксид кальцію. Перспективи використання мікросфер як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів зумовлені тим, що при змішуванні з водою зразки з найвищим вмістом оксиду кальцію будуть тверднути, тим самим підвищуючи свою міцність і знижуючи теплопровідність.

Унаслідок порівняно невеликої гідралічної активності зольних мікросфер використання останніх у газобетонах поліпшує їх теплоізоляційні властивості. Гідралічна активність зольних мікросфер зумовлена наявністю СаО. Максимальну кількість оксиду кальцію містять зольні мікросфери Курахівської ТЕС. У мікросферах Бурштинської та Криворізької ТЕС оксид кальцію відсутній, що ставить під сумнів їх використання як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів. За хімічним складом досліджені мікросфери з вугілля Донецького басейну відрізняються від Львівсько-Волинського більш високим вмістом оксиду алюмінію та меншим оксиду заліза.

Хіміко-мінералогічний склад зольних мікросфер зазвичай відповідає складу мінеральної частини палива, що спалюється. Таким чином, при згорянні твердого палива зола являє собою дегідратовану й амортизовану (обпечену) глинисту речовину з включенням дисперсних частинок кварцового піску [5; 6].

Аналіз хімічного складу наведених вище зольних мікросфер дає підставу вважати, що їхні властивості схожі між собою, однак певні відмінності присутні й зумовлені мінералогічним складом. Саме тому для детальнішої характеристики хімічного складу зольних мікросфер його досліджено методом ІЧ-спектроскопії (табл. 2).

Характеристика ІЧ-спектрів поглинання зольних мікросфер

ТЕС	Смуга поглинання, cm^{-1}	Параметри смуги поглинання (I_0/I)	Віднесення
Бурштинська	444.2	0.76	δ Si-O ⁻
	553.8	0.45	δ Si-O-Al
	828.6	1.74	ν Si-O-Al
	1028.6	$6.71; \Delta^{-}\nu_{1/2} = 928.6 \text{ cm}^{-1}$	валентні Si-O-(Si)
	3436.8	0.52	і Si-O ⁻ коливання ν адсорбованої води
Криворізька	451.7	$1.19; \Delta^{-}\nu_{1/2} = 35.7 \text{ cm}^{-1}$	δ Si-O ⁻
	618.8	0.13	ν Si-O-Al
	797.6	1.17	ν Si-O-(Si) і Si-O ⁻
	1095.6	0.11	ν адсорбованої води
Придніпровська	449.7	1.72	δ Si-O ⁻
	588.8	0.24	δ Si-O-Al
	790.6	$1.12; \Delta^{-}\nu_{1/2} = 785.7 \text{ cm}^{-1}$	ν Si-O-Al
	1040.8	5.70	ν Si-O-(Si) і Si-O ⁻
	1192.9	0.38	ν адсорбованої води
Трипільська	463.2	$1.58; \Delta^{-}\nu_{1/2} = 85.7 \text{ cm}^{-1}$	δ Si-O ⁻
	546.2	$0.81; \Delta^{-}\nu_{1/2} = 429 \text{ cm}^{-1}$	δ Si-O-Al
	828.6	0.60	ν Si-O-Al
	914.3	0.67	δ -Al-OH
	1097	0.03	ν Si-O-(Si) і Si-O ⁻
	3435.7	0.17	ν адсорбованої води
Курахівська	452.0	$1.11; \Delta^{-}\nu_{1/2} = 71.4 \text{ cm}^{-1}$	δ Si-O ⁻
	552.8	0.10	δ Si-O-Al
	797.8	1.06	ν Si-O-Al
	875.9	$1.25; \Delta^{-}\nu_{1/2} = 628.6 \text{ cm}^{-1}$	δ -Al-OH
	1080.2	0.08	ν Si-O-(Si) і Si-O ⁻
	3429.8	0.04	ν адсорбованої води

Очевидно, що суттєвих відмінностей між спектрами усіх досліджуваних зразків немає. В діапазоні $3600\text{--}3200 \text{ cm}^{-1}$ міститься смуга поглинання молекули H_2O . Крім цього, в проміжку $1470\text{--}1400 \text{ cm}^{-1}$ спостерігаються деформаційні коливання гідроксильних груп, що розташовані у вершинах кремнекисневих тетраедрів.

У діапазоні $1250\text{--}830 \text{ cm}^{-1}$ міститься широка смуга поглинання, що відповідає валентним коливанням зв'язку Si-O-(Si), а в $500\text{--}400 \text{ cm}^{-1}$ – деформаційним коливанням Si-O. Також зафіксовано вузькі смуги в діапазонах $810\text{--}770 \text{ cm}^{-1}$ та $770\text{--}730 \text{ cm}^{-1}$, що відповідають кільцевим силікатам, утвореним із шести та трьох кремнекисневих тетраедрів відповідно. Це дає підстави стверджувати, що переважна частина силікатів у структурі зольних мікросфер представлена кільцевими силікатами відповідної будови.

За отриманими даними (див. *табл. 2*) можна зробити висновок, що мікросфери Бурштинської та Придніпровської ТЕС мають вищий вміст води, ніж решта. Завдяки цьому при використанні зольних мікросфер як наповнювача зменшується щільність теплоізоляційних будівельних матеріалів.

Важливою характеристикою зольних мікросфер, що визначає їх застосування як наповнювача, є розмір частинок і відсоткове співвідношення їх фракцій – гранулометричний склад (*рис. 1, 2*) [7].

Виявлено, що найбільший вміст серед досліджених зольних мікросфер має фракція з розміром частинок 60–200 мкм. Вміст фракції зольних мікросфер 100–160 мкм знижується, а 63–100 мкм займає домінуюче положення. Фракції, крупніші за попередні, мають значно нижчий вміст. Найбільша фракція 400–630 мкм відсутня в досліджуваних зразках зольних мікросфер. Найдрібніша – менше 63 мкм – має невисокий відсоток вмісту.

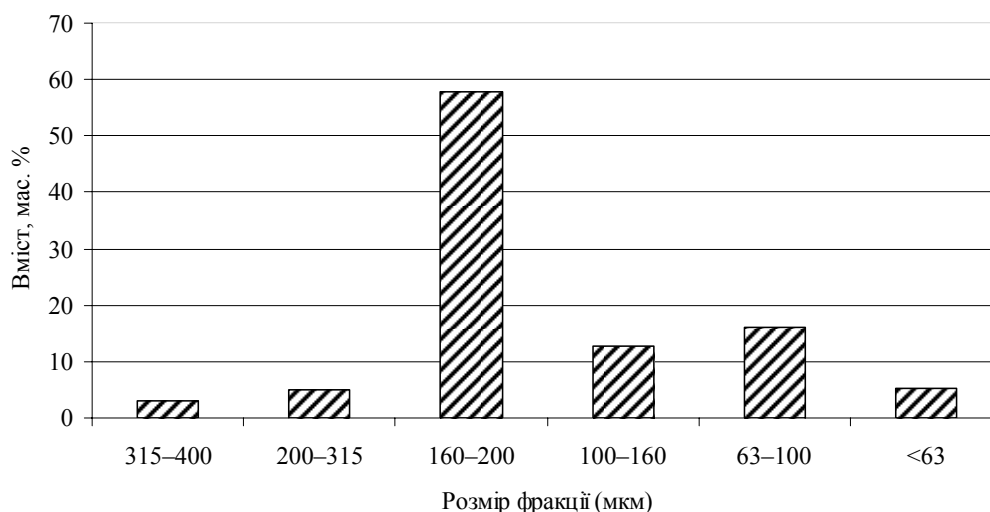


Рис. 1. Розподіл частинок за фракціями зольних мікросфер Бурштинської ТЕС

Окремо слід зазначити зольні мікросфери Трипільської ТЕС. Гранулометричний склад цього зразка відрізняється від решти повною відсутністю фракції 200–315 мкм. Цей факт можна пояснити тим, що в котлах Трипільської ТЕС майже відсутній киплячий шар і перебування розплаву мінеральної фракції там значно скорочене в часі. Зниження часу на сфероутворення, а також різке охолодження золошлакових відходів позначається на крупності зольних мікросфер – вони значно менші й відрізняються структурою поверхні.

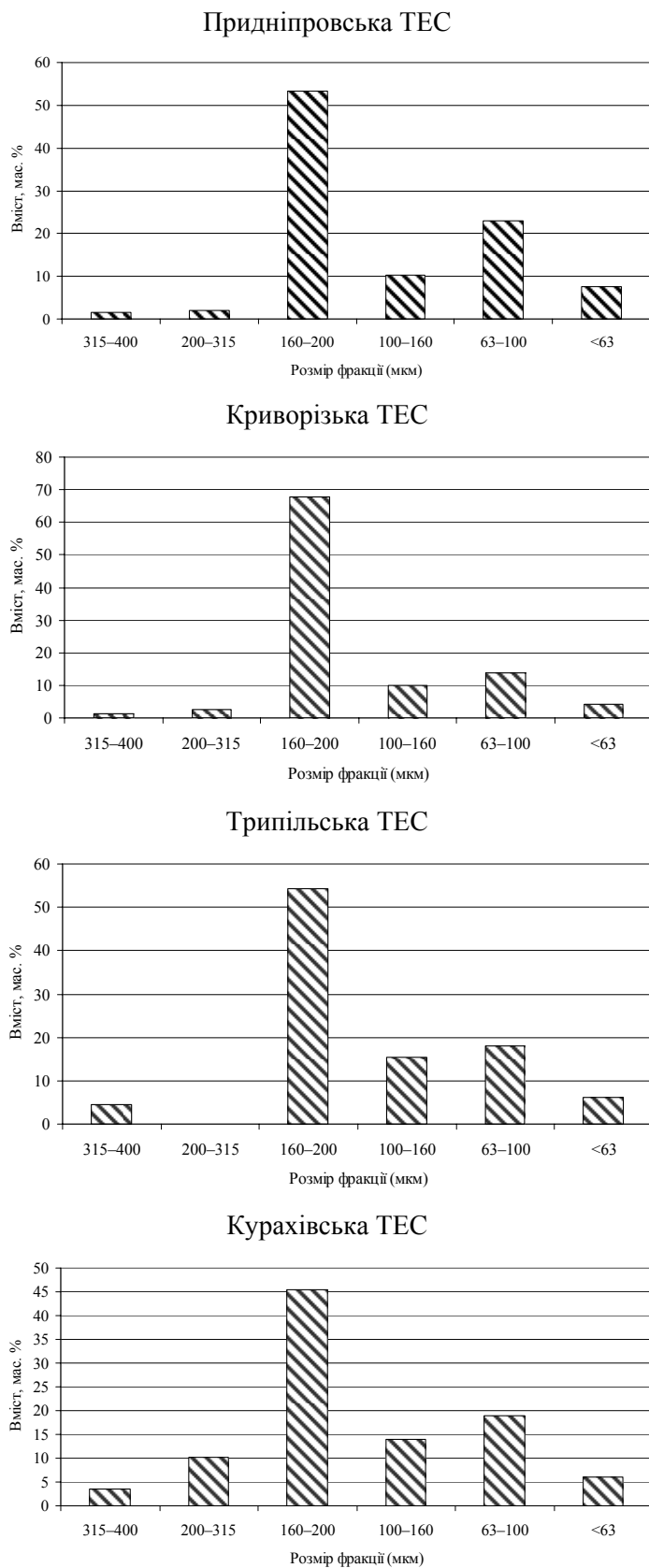


Рис. 2. Розподіл частинок за фракціями зольних мікросфер ТЕС Донецького вугільного басейну

В інших чотирьох матеріалах спостерігається певна закономірність у фазовому складі: частинок крупністю 400–630 мкм взагалі не зафіксовано, середній вміст частинок розміром 315–400 мкм становив 2.79 мас. %, вміст фракції розміром 200–315 мкм – 3.96 мас. %. Припускається, що формування цієї фракції відбувається на етапі локального утворення рідкої фази – розплаву з відносно високою в'язкістю та порівняно невисоким вмістом газів.

Більш суттєвий вміст має фракція, крупність якої коливається в межах 160–200 мкм – 55.72 мас. %, що є найбільшою часткою аналізованого матеріалу. Кількісна характеристика останніх двох фракцій вказує на те, що в зольних мікросферах значну частину становлять мікросфери з діаметром близько 200 мкм. Далі спостерігається різке зниження вмісту фракції розміром 100–160 мкм – 12.51 мас. %. Значно більшу частину займає фракція 63–100 мкм – 17.93 %. Фракція з розміром частинок менше 63 мкм становить 5.86 %. Отримані дані свідчать про досить чітку зміну складу зольних мікросфер із збільшенням їх розмірів: зростає вміст SiO_2 , TiO_2 , MnO_2 , знижується вміст Al_2O_3 та Fe_2O_3 .

Ще однією особливістю гранулометричного складу представлених зразків є те, що в зольних мікросферах, отриманих спалюванням вугілля з Донецького басейну (Трипільська, Криворізька та Придніпровська ТЕС), майже відсутня фракція крупністю 200–315 мкм, чого не спостерігається в зразках, взятих з Львівсько-Волинського басейну. Ця особливість може бути пов'язана з мінеральною складовою супутньої вугільної породи: підвищений вміст карбонатів у мінеральній фракції вугілля із Донецького басейну призводить до зниження розплаву, наслідком якого є зростання крупності мікросфер.

Знаючи розподіл частинок за їх гранулометричним складом можна обчислити середній діаметр частинки: (1)

$$d_{\text{сеп}} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i \cdot n_i}{100 \%}; \quad (1)$$

де d_i – середній діаметр i -тої фракції, мкм;
 n_i – вміст i -тої фракції, % [8; 9].

Тоді:

$$d_{\text{сеп}} = \frac{630 \cdot 0.00 + 515 \cdot 2.79 + 357.5 \cdot 3.96 + 257.5 \cdot 55.72 + 180 \cdot 12.51 + 130 \cdot 17.93}{100 \%} + \frac{81.5 \cdot 5.86}{100 \%} = 222.61 \text{ мкм.}$$

Ще однією характеристикою зольних мікросфер, що впливає на їх використання як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів, є умовний тангенс кута діелектричних втрат – $\text{tg}\delta$ (характеристика ізоляційних властивостей діелектриків) [4]. Його величина визначалася для мікросфер, з поверхні яких була видалена волога та після 24 год перебування у вологому середовищі. Прогнозується, що після видалення вологи з їхньої поверхні $\text{tg}\delta$ знижується внаслідок відсутності руху зарядів по диполям води (табл. 3).

Таблиця 3

**Умовний тангенс кута діелектричних втрат
зольних мікросфер, $\text{tg}\delta$**

Мікросфери	Зольні мікросфери з ТЕС				
	Бурштин- ської	Придніпров- ської	Криво- риської	Трипіль- ської	Курахів- ської
Висушені	0.02111	0.02520	0.026314	0.02363	0.01604
Витримані у вологому середовищі	0.02692	0.04020	0.03053	0.07497	0.01790

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, $\text{tg}\delta$ на порядок збільшується. 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 $\text{tg}\delta$, тим вищу гідрофільність і нижчу гідрофобність мають досліджувані матеріали.

За отриманими даними найвище значення $\text{tg}\delta$ у зольних мікросфер Трипільської ТЕС, також високе воно у зразках Криворізької та Придніпровської ТЕС. Мінімальне – у зразках досліджуваних матеріалів Бурштинської та Курахівської ТЕС. Із викладеного слідує, що зольні мікросфери останніх двох ТЕС мають, відповідно, і найнижче вологопоглинання серед досліджуваних матеріалів.

Найбільшу теплопровідність мають матеріали, в яких тепло переноситься вільними електронами. Зольні мікросфери проявляють властивості діелектрика, тому в них немає вільних електронів, а тепло передається повільнішим коливанням атомів. Ураховуючи той факт, що зольні мікросфери – це матеріал, який містить порожнини, запов-

нені повітрям, то й величина умовного тангенса кута діелектричних втрат у них буде нижчою. Результати досліджень свідчать, що ці матеріали володіють досить високими теплоізоляційними властивостями.

Висновки. В сучасних умовах постає проблема утилізації золошлакових відходів, що утворюються в результаті спалювання вугілля ТЕС. Однак за своїми властивостями (гранулометричний, хімічний склад, умовний тангенс кута діелектричних втрат) зольні мікросфери є унікальним ресурсом, який широко використовується в будівельній промисловості.

Порівняння властивостей зольних мікросфер різних ТЕС за їхнім хімічним складом, дисперсністю та діелектричними властивостями дало змогу комплексно оцінити ці матеріали для прогнозування їх ефективного використання як наповнювача для теплоізоляційних будівельних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Холдаєва М. І.* Структура та властивості полістиролбетону з мікросферним наповнювачем : дис. канд. тех. наук : 09.02.2010. Одеса, 2010. 172 с.
2. *Панкова М. В.* Состав, строение и физико-химические свойства микросферических мембран и композитных сорбентов на основе узких фракций ценосфер : дис. канд. хим. наук : 02.04.2011. Красноярск, 2011. 143 с.
3. *Ехаб Мохамед Хосни Рагаб.* Жаростойкие легкие бетоны на композиционных вяжущих с полыми зольными микросферами : дис. канд. тех. наук : 03.05.2005. М., 2005. 119 с.
4. ДСТУ ISO 3310-1:2007. Решета та сита контрольні. Технічні вимоги та методи випробування. Ч. 1. Сита контрольні з металеві дротяної тканини. [Чинний від 2010—04—01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 24 с.
5. *Орловський В. М., Похило А. М., Крицький В. В.* Нові тампонажні композиції зниженої густини : зб. наук. праць. УкрДГРІ, 2016. № 4. 108 с.
6. *Дворкин Л. И., Дворкин О. Л.* Строительные материалы из отходов промышленности : уч.-справ. пособие. Ростов на Дону : Феникс, 2007. 368 с.
7. *Сугкоев А. И.* Теплоизоляционный материал с полыми стеклянными микросферами. М. : МГСУ, 2001. 146 с.
8. *Клочков А. В., Строкова В. В.* Теплоизоляционный цементный раствор с применением микросфер. Междунар. семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей : сб. докл. (27—28 окт. 2010 р., Москва). М. : Экспоцентр, 2010. С. 102—103.
9. ДСТУ ISO 2591-1:2004. Ситовий аналіз. Ч. 1. Методи з використанням контрольних сит з дротяної тканини і перфорованих металевих листів. [Чинний від 2004—07—01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 26 с.

Стаття надійшла до редакції 27.03.2017.

Sviderskyi V., Demchenko V. Chemical composition and dispersion of domestic ash microspheres.

Background. The unique properties of the composition and structure of ash microspheres obtained from waste of coal burning by thermal power plants determined their use in the production of insulating building materials.

Properties of ash microspheres depend on many factors, including the mineral component of solid fuel. The combination of properties such as low cost, availability of resources, high strength and chemical resistance allow to use ash microspheres as filler for insulating building materials. The study of particle size and chemical composition of ash microspheres may contribute to optimal selection of materials to solve specific technical problems.

The aim of the work is to study the properties of ash microspheres to use them as filler for insulating building materials, including porous concrete.

Material and methods. The objects of research were selected ash microspheres from Prydniprovsk, Krivyi Rog, Tripilska, Burshtynska and Kurakhivska TPP with different mineral component of solid fuel. Particle size content of ash microspheres was determined by sieve method according to DSTU ISO 2591-1: 2004, chemical composition was determined by the analyzer "EXPERT-3L", conditional dissipation factor was determined by the AC bridge R5083 on the working frequency of 1000 Hz.

Results. To assess the prospects of ash microspheres as filler for insulating building materials (particularly for aerated ones) we described the composition of coal, which was burned in the above mentioned TPP. Since the ash microspheres are the mineral component of the solid fuel that underwent the high-temperature conversion, the chemical composition of these materials became the basis for further research.

Analysis of the chemical composition of these mineral microspheres gave reason to believe that their properties are similar, but there are some differences due to mineralogical composition. Ash microspheres from Dniprovsk and Burshtynska TPP have relatively higher water content than others. This microspheres used ash as filler decreases the density of heat-insulating building materials.

An important characteristic of ash microspheres, which determines their use as filler, is particle size and is a percentage of their fractions – particle size composition.

Another characteristic of ash microspheres, that affects their use as filler for insulating building materials, is conventional dielectric loss tangent ($\text{tg } \delta$). Materials in which heat is transferred by free electrons have the highest thermal conductivity. Ash microspheres have dielectric properties, therefore they have no free electrons and heat is transferred by the slower vibrations of atoms. Given the fact that ash microspheres are a material that contains cavity filled with air, so their value $\text{tg } \delta$ is lower. That's why studies show that these materials have relatively high insulating properties.

Conclusion. Ash microspheres is a unique resource that is widely used in the construction industry. Comparison of various properties of ash microspheres from different TPP by their chemical composition, dispersion and dielectric properties enabled comprehensively evaluate these materials to predict their effective use as filler for insulating building materials.

Keywords: ash microspheres, particle size distribution, coal, ash and slag waste, fine dispersion material, conventional dielectric loss tangent.

REFERENCES

1. *Holdajeva M. I.* Struktura ta vlastyvoli polistyrolbetonu z mikro-sfernym napovnuvachem : dys. kand. teh. nauk : 09.02.2010. Odesa, 2010. 172 s.

2. Pankova M. V. Sostav, stroenie i fiziko-himicheskie svojstva mikro-sfericheskikh membran i kompozitnyh sorbentov na osnove uzkih frakcij cenosfer : dis. kand. him. nauk : 02.04.2011. Krasnojarsk, 2011. 143 s.
3. Ehab Mohamed Hossni Ragab. Zharostojkie legkie betony na kompozicionnyh vjzhushhih s polymi zol'nymi mikrosferami : dis. kand. teh. nauk : 03.05.2005. M., 2005. 119 s.
4. DSTU ISO 3310-1:2007. Resheta ta syta kontrol'ni. Tehnichni vymogy ta metody vyprobuvannja. Ch. 1. Syta kontrol'ni z metalevoi' drotjanoi' tkany-ny. [Chynnyj vid 2010—04—01]. Kyi'v : Derzhspozhyvstandart Ukrai'ny, 2004. 24 s.
5. Orlovs'kyj V. M., Pohylo A. M., Kryc'kyj V. V. Novi tamponazhni kompozycii' znyzhenoi' gustyny : zb. nauk. prac'. UkrDGRI, 2016. № 4. 108 s.
6. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. Stroitel'nye materialy iz othodov pro-myshlennosti : uch.-sprav. posobie. Rostov na Donu : Feniks, 2007. 368 s.
7. Sugkoev A. I. Teploizoljacionnyj material s polymi stekljannymi mikrosferami. M. : MGSU, 2001. 146 s.
8. Klochkov A. V., Strokova V. V. Teploizoljacionnyj cementnyj rastvor s primeneniem mikrosfer. Mezhdunar. seminar-konkurs molodyh uchenyh i aspirantov, rabotajushhih v oblasti vjzhushhih veshhestv, betonov i suhih smesej : sb. dokl. (27–28 okt. 2010 r., Moskva). M. : Jekspocentr, 2010. S. 102—103.
9. DSTU ISO 2591-1:2004. Sytovyj analiz. Ch. 1. Metody z vykorystannjam kontrol'nyh syt z drotjanoi' tkanyny i perforovanyh metalevyh lystiv. [Chynnyj vid 2004—07—01]. Kyi'v : Derzhspozhyvstandart Ukrai'ny, 2004. 26 s.