

УДК 66.022.32-042.2:691.53

**ДЕМЧЕНКО Валентина,**  
аспірант кафедри товарознавства та митної справи  
Київського національного торговельно-економічного університету

## ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПОВНЮВАЧІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ МУРУВАННЯ

Наведено порівняльну характеристику хімічного складу наповнювачів сумішей для мурування і результати досліджень їх властивостей. Показано переваги зольних мікросфер порівняно з натрійборосилікатними (НБС) і перлітом. Розроблено склади сумішей для мурування на основі зольних мікросфер. Досліджено їхні фізико-механічні та теплоізоляційні властивості.

*Ключові слова:* зольні мікросфери, перліт, натрійборосилікатні мікросфери, змочуваність поверхні, ефективна питома поверхня, умовний тангенс кута діелектричних втрат, коефіцієнт теплопровідності, суміш для мурування.

*Демченко В. Оценка свойств наполнителей смесей для кладки. Приведена сравнительная характеристика химического состава наполнителей и результаты исследований их свойств. Показаны преимущества зольных микросфер в сравнении с натрийборосиликатными и перлитом. Разработаны составы смесей для кладки на основе зольных микросфер. Исследованы их физико-механические и теплоизоляционные свойства.*

*Ключевые слова:* зольные микросферы, перлит, натрийборосиликатные микросферы, смачиваемость поверхности, эффективная удельная поверхность, условный тангенс угла диэлектрических потерь, коэффициент теплопроводности, смесь для кладки.

**Постановка проблеми.** Асортимент наповнювачів для будівельних матеріалів досить обмежений. Останнім часом до їх числа увійшли зольні мікросфери. Адже сумарна площа відвалів відходів українських ТЕС досягає 200 га, а загальний обсяг золошлакових відходів становить майже 387 млн т на рік. Територія, що відводиться для таких цілей, втрачає свою придатність для подальшого використання на десятки років. Зола у відвалах також забруднює атмосферу. Це робить актуальним утилізацію та переробку відходів українських ТЕС.

Хімічний склад і властивості зольних мікросфер, що утворюються унаслідок високотемпературного факельного спалювання вугілля на ТЕС України, визначають перспективи використання цього матеріалу як наповнювача для будівельних матеріалів із заданими властивостями, включаючи суміші для мурування з підвищеними теплоізоляційними характеристиками. Окрім того, однією з переваг зольних мікросфер є їх низька собівартість порівняно з такими матеріалами, як перліт та натрійборосилікатні мікросфери [1; 2].

© Демченко Валентина, 2018

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останнім часом як наповнювачі для будівельних матеріалів використовуються перліт і рідше – НБС мікросфери. Q. Wang, D. Wang, H. Chen доводять, що введення останніх уможливує отримувати вихідні матеріали із підвищеною міцністю, тепло- та звукоізоляцією тощо [3].

Дослідження Д. В. Керш [4], Т. Н. Теряевой, О. В. Костенко та ін. [5] щодо властивостей перліту та НБС мікросфер показують ефективність цих матеріалів у будівельній промисловості.

Проте порівняльна характеристика властивостей поверхні та хімічного складу зольних мікросфер з НБС та перлітом уможливить виявити їхні переваги й шляхом модифікування забезпечити ефективне використання їхніх потенційних властивостей у складі сумішей для мурування, зокрема підвищення експлуатаційних властивостей останніх.

*Мета роботи* – на основі порівняльної оцінки якості сумішей для мурування та виявлення переваг зольних мікросфер розробити композиції з підвищеними теплоізоляційними та експлуатаційними властивостями.

**Матеріали та методи.** Об'єкти дослідження – зольні мікросфери з українських ТЕС (Бурштинської, Курахівської, Придніпровської, Трипільської та Криворізької), перліт і натрійборосилікатні мікросфери. Зразки зольних мікросфер отримано на підприємстві *UMG Holding Ukraine*. Як модифікатор обрано гідролізат етилсилікату, функціональну добавку – *Tylose 30000 UP*. Відбір проб зольних мікросфер здійснено за ДСТУ Б В.2.7-128:2006 [6]. Хімічний склад визначено рентгено-флуоресцентним аналізом на *EXPERT-3L* та ІЧ-спектроскопією [7]. Властивості поверхні (ефективна питома поверхня, змочуваність) досліджено за методом Дерягіна [8; 9], коефіцієнт теплопровідності – стаціонарним методом циліндра за ДСТУ В.2.7-182:2009 [10], умовний тангенс кута діелектричних втрат – за допомогою мосту змінного струму Р5083 на робочій частоті 1000 Hz [11], міцність на стиск – за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [12]. Методику визначення адгезійної міцності обрано із врахуванням рекомендацій, викладених у спеціальній літературі [13; 14] на зразках у формі хрестовини.

**Результати дослідження.** Зольні мікросфери – дрібнодисперсний порошок з частинками розміром від декількох мікрометрів до десятих частин міліметра, що утворюються внаслідок спалювання твердого палива (вугілля) на ТЕС. Дрібнодисперсна структура уможливує використовувати цей матеріал у будівельній промисловості без додаткового подрібнення, що значно знижує собівартість продукції [15].

Перліт – це різновид вулканічного скла, що утворюється внаслідок виносу із надр землі природного кислого силікатного магматичного розплаву, який у результаті втрати значної кількості летких компонентів вилився на поверхню у вигляді лави. Характерна особливість перліту – наявність концентричних мікротріщин, що утворюють перлітову структуру [16].

НБС мікросфери являють собою сипучий дрібнодисперсний матеріал, що складається з окремих пористих частинок сферичної форми. На відміну від зольних мікросфер і перліту натрійборосилікатні мікросфери утворюються штучно шляхом варки склоутворюючих компонентів за температури 1100 °С.

Пористі НБС мікросфери виготовляються зі скла, в якому попередньо створена мікро- або наноліквіаційна структура шляхом їх кислотного вилуговування. Дослідження показали, що хімічний склад НБС мікросфер попередньо визначається і містить оксиди натрію, бору та силіцію (табл. 1) [17].

Таблиця 1

Хімічний склад наповнювачів сумішей для мурування

Наповнювач	Хімічний склад, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	FeO	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Перліт	72.15	17.35	0.38	0.15	3.70	0.56	4.07	0.9	0.08	–
Натрійборосилікатні мікросфери	49.10	Відсутні			28.14	Відсутні				22.76
Зольні мікросфери	60.68	34.24	1.67	1.19	0.62	1.75	6.42	1.01	1.25	–

Побудовано автором за [16; 17].

Установлено, що SiO<sub>2</sub> є основним елементом хімічного складу як перліту, НБС, так і зольних мікросфер. Оксид алюмінію (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) у своєму хімічному складі містить лише перліт і зольні мікросфери. Оксид титану (TiO<sub>2</sub>) в незначній кількості міститься також лише в складі перліту та зольних мікросфер, де його вміст майже у 8 разів вищий, ніж у складі перліту. Вміст оксиду натрію (Na<sub>2</sub>O) характерний як для перліту, так і для зольних і НБС мікросфер. У складі перліту та зольних мікросфер Na<sub>2</sub>O виступає як домішка, тому його вміст у цих матеріалах незначний.

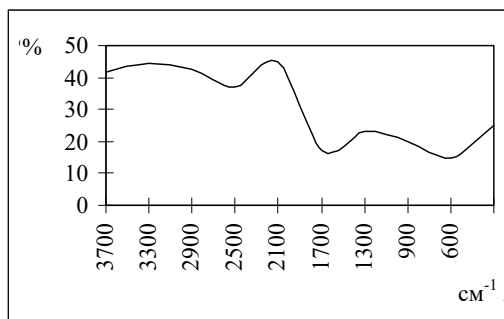
Вміст FeO, K<sub>2</sub>O, CaO та MgO є характерним лише для хімічного складу перліту та зольних мікросфер. Вищий вміст оксиду кальцію в складі останніх зумовлює їх високу міцність і низьку теплопровідність. Цей факт уможливує припустити, що суміші для мурування на основі зольних мікросфер, порівняно з НБС і перлітом, матимуть вищі теплоізоляційні властивості та міцність.

Вміст оксиду бору (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) характерний лише для хімічного складу НБС мікросфер.

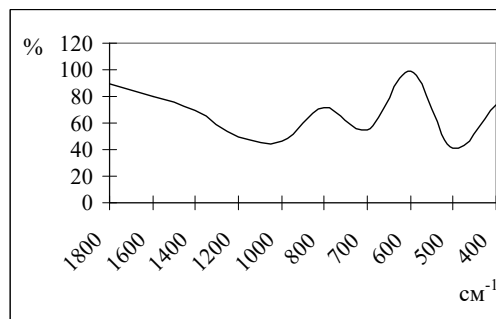
Загальний вигляд ІЧ-спектрів перліту (рисунк, а) в інтервалі 400–1400 см<sup>-1</sup> характерний для лужного алюмосилікатного скла. В спектрах спостерігається низка інтенсивних смуг поглинання, що відповідають валентним коливанням груп Si–O; Si–O–Si та поверхневим гідроксильним групам гідратованих кремнеземистих матеріалів.

За результатами ІЧ-спектроскопічних досліджень НБС мікросфер (рисунк, б), спостерігається зменшення інтенсивності смуги поглинання в інтервалі 760–770 см<sup>-1</sup>, яка належить гідроксильним групам, що входять до складу цього матеріалу.

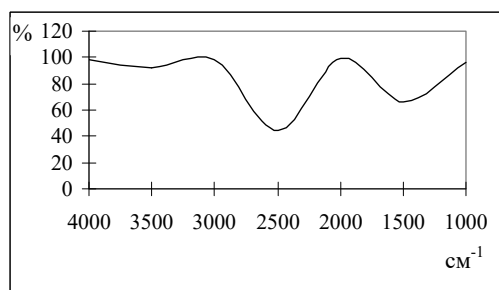
Для ІЧ-спектрів зольних мікросфер (рисунк, в) характерні ділянки, які відповідають смугам поглинання молекули  $H_2O$ , валентним коливанням зв'язку Si–O–Si та деформаційним коливанням Si–O.



а)



б)



в)

ІЧ-спектри:

а) – перліту; б) – натрійборосилікатних мікросфер; в) – зольних мікросфер

Побудовано автором за [16; 17].

Не менш важливими властивостями, що визначають потенційну здатність використання перліту, НБС і зольних мікросфер як наповнювачів сумішей для мурування, є властивості їхньої поверхні.

Порівняно низька здатність до змочуваності зольних мікросфер пов'язана з їхніми морфологічними особливостями (сферична форма, гладка поверхня), що знижує адсорбційну здатність.

Ефективна питома поверхня дисперсної фази досліджуваних матеріалів визначає характер її взаємодії з в'язучою речовиною (портландцементом) – поверхню контакту і розподіл частинок у дисперсному середовищі. Найвище значення ефективної питомої поверхні по воді мають НБС мікросфери –  $5.5 \text{ м}^2/\text{г}$ , що в 4 рази вище, ніж для перліту, й у 3 рази – для зольних мікросфер (табл. 2).

При змочуванні досліджуваних матеріалів неполярними рідинами (ксилол і бензол) значення ефективної питомої поверхні збільшується. По бензолу для перліту вона майже вдвічі вище, ніж при змочуванні водою. Особливий інтерес становить ефективна питома поверхня зольних мікросфер, яка при змочуванні ксилолом збільшилася в 3 рази порівняно з цим показником при змочуванні водою. Найвищий коефіцієнт ліофільності характерний для зольних мікросфер.

Таблиця 2

## Властивості поверхні наповнювачів сумішей для мурування

Показник	Вид наповнювача		
	перліт	НБС	зольні
		мікросфери	
Змочуваність:			
- вода	0.0140	0.1045	0.0872
- неполярні розчинники	0.0220	0.8691	0.5878
Ефективна питома поверхня, м <sup>2</sup> /г:			
- по воді;	1.3	5.5	1.7
- по неполярних розчинниках	2.4	6.2	5.1
Коефіцієнт ліофільності ( $\beta$ )	0.064	0.120	0.148

Побудовано автором за [16; 17].

Ураховуючи той факт, що дослідження властивостей перліту, НБС і зольних мікросфер проведено з метою визначення потенційних здатностей цих матеріалів до використання як наповнювачів сумішей для мурування з підвищеними теплоізоляційними властивостями, визначення коефіцієнта теплопровідності є одним з основних показників. При цьому – що нижчий коефіцієнт теплопровідності, то вищими будуть теплоізоляційні властивості матеріалу.

Досліджено теплофізичні (коефіцієнт теплопровідності) та діелектричні (умовний тангенс кута діелектричних втрат) характеристики перліту, НБС і зольних мікросфер (табл. 3).

Таблиця 3

## Теплофізичні та діелектричні властивості наповнювачів

Показник	Вид наповнювача		
	перліт	НБС	зольні
		мікросфери	
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0.192	1.13	0.184
Умовний тангенс кута діелектричних втрат:			
- висушені	0.490	0.049	0.021
- витримані у вологому середовищі	0.498	0.051	0.027

Побудовано автором за [16; 17].

Серед досліджуваних матеріалів найнижчий коефіцієнт теплопровідності мають зольні мікросфери, що робить їх перспективними наповнювачами сумішей для мурування з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

Установлено, що діелектрична проникність досліджуваних матеріалів залежить від частоти електромагнітного поля, природи матеріалів, а також кількості вологи, адсорбованої на їхній поверхні. Після видалення вологи з поверхні величина умовного тангенса діелектричних втрат знижується внаслідок відсутності руху зарядів по диполях води. Саме тому величина цього показника визначалася у двох випадках: для матеріалів, з поверхні яких видалена волога (шляхом висушування до постійної маси), та для таких, що протягом 24 год адсорбували вологу.

Висушені зольні мікросфери (порівняно з перлітом і НБС мікросферами) характеризуються низьким значенням умовного тангенса кута діелектричних втрат ( $tg\delta$ ). Проте, адсорбувавши на свою поверхню певну кількість вологи,  $tg\delta$  зростає. Це свідчить про те, що діелектричні властивості зольних мікросфер значною мірою залежать від властивостей їхньої поверхні: ефективної питомої поверхні, змочуваності, коефіцієнта ліофільності, адсорбційної здатності поверхні та адсорбованих нею речовин.

Загалом, для досліджуваних матеріалів можна констатувати, що між ефективною питомою поверхнею, кількістю адсорбованої вологи та умовним тангенсом кута діелектричних втрат існує прямий зв'язок. Саме тому зі збільшенням ефективної питомої поверхні матеріалів збільшується і енергетичний потенціал їхньої поверхні.

Зазначені дані дають підставу припустити, що зольні мікросфери за своїми технічними характеристиками й потенційним промисловим ресурсом можуть конкурувати з широко використовуваними НБС мікросферами та перлітом.

На основі наведених досліджень розроблено склади сухих будівельних сумішей (і розчинів на їх основі), в яких в'язучою речовиною виступав портландцемент марки М500 (ПрАТ "Дікергофф Цемент Україна"), а наповнювачем – зольні мікросфери (табл. 4).

Таблиця 4

Склад сумішей для мурування, мас. %

Вміст компонентів у складі композиції, кг	Cerezit CT-21	Номер композиції		
		1	2	3
Портландцемент М500	34.00	84.60	83.50	85.4
Зольні мікросфери ТЕС	–	25.00	30.00	20.00
Гідролізат етилсилікату	–	0.002	0.002	0.002
Tylose 30000 UP	–	0.40	0.50	0.60
Пісок	66.00	–	–	–

Розробку оптимальних складів розчинів необхідних властивостей здійснено з урахуванням міцності та адгезії мікросфер. До уваги бралась також їх висока гідрофобність і, як наслідок, погане змочування цементним розчином. Саме тому зольні мікросфери попередньо модифікували в сухому стані гідролізатом етилсилікату

Отримані склади композиції порівнювалися з контролем (Cerezit CT-21). Для дослідження фізико-механічних і теплоізоляційних показників сумішей для мурування їх розбавляли водою до робочої консистенції.

Результати оцінки межі міцності при стиску розроблених сумішей на основі зольних мікросфер (зразки розміром 30×30×30 мм) після 7 діб тверднення свідчать, що вона зростає у 1.7–1.8 раза в композиції № 3 порівняно з іншими зразками (табл. 5). Після 28 діб тверднення динаміка зміни міцності при стиску має дещо інший вигляд. Міцність усіх розроблених систем зростає і становить від 9.9 до 13.0 МПа. Максимум зафіксовано для композиції № 3, а мінімум – для № 1.

**Межа міцності при стиску та адгезійна міцність композицій  
для мурування, МПа**

Номер композиції	Межа міцності при стиску через, діб		Адгезійна міцність через, діб		Характер процесу руйнування адгезійного контакту через, діб	
	7	28	7	28	7	28
1	7.0	9.9	7.31	7.40	Руйнування матеріалу шва (когезійне) або газобетону без пошкодження шва	
2	7.4	10.4	6.32	7.32	Відрив по межі з'єднання, іноді руйнування газобетону	
3	12.5	13.0	7.24	7.25	В 1-му з 3-х випадків руйнування бетону, в інших – відрив по шву	Руйнування газобетону, шов цілий
<i>Cerezit CT-21</i>	7.1	10.8	7.30	7.40	В 1-му з 3-х випадків руйнування балочки	Адгезійне руйнування системи "розчин-газобетон"

Досліджено розраховані склади по адгезійній міцності з'єднання (товщина шва – 3 мм, розміри балочок газобетону 40×40×80 мм) за таких само термінів тверднення.

Співставляючи результати оцінки адгезійної міцності розроблених композицій після 7 діб тверднення з їх міцністю при стиску за такий само проміжок, необхідно констатувати відсутність будь-якого зв'язку. Максимальна адгезія складів понад 7.3 МПа (більш високі значення неможливо зафіксувати внаслідок руйнування газобетону) відмічена у складах № 1 та для суміші *Cerezit CT-21*, а мінімальна – у складі № 2. Збільшення терміну тверднення до 28 діб зумовлює незначні зміни адгезійної міцності.

Визначуно теплопровідність запропонованих композицій при стаціонарному тепловому режимі, які показали, що використання зольних мікросфер як наповнювача суміші для мурування уможливує зниження тепловитрат у 3 рази.

**Висновки.** Дослідженнями хімічного складу, властивостей поверхні та теплоізоляційних характеристик перліту, натрійборосилікатних і зольних мікросфер виявлено визначальну роль кількості адсорбованої води на змочуваність досліджуваних матеріалів і доведено доцільність модифікування зольних мікросфер.

Установлено, що серед всіх розроблених складів за такими показниками, як міцність при стиску, адгезійна міцність і коефіцієнт теплопровідності, найкращим є склад № 2.

Зольні мікросфери, порівняно з натрійборосилікатними та перлітом, мають найбільші перспективи використання як наповнювачів сумішей для мурування, що підтверджується найнижчим коефіцієнтом їх теплопровідності.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Данилович И. Ю., Сканава Н. А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов. М. : Высш. шк., 1988. 33 с.
2. Кац Г. С., Милевски Д. В. Наполнители для полимерных композиционных материалов. М. : Химия, 1981. 736 с.
3. Wang Q., Wang D., Chen H. The role of fly ash microsphere in the microstructure and macroscopic properties of high-strength concrete. *Cement and Concrete Composites*. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, China, 2017. P. 125–137.
4. Керш Д. В. Гіпсові композиції з зольними мікросферами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Одеса, 2015. 14 с.
5. Теряева Т. Н., Костенко О. В., Исмагилов З. Р., Шикина Н. В., Рудина Н. А., Антипова В. А. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер. *Вестн. КузГТУ*. 2013. № 5 (99). С. 86–90.
6. ДСТУ Б В.2.7-128:2006. Добавки активні мінеральні та добавки наповнювачі до цементу. Технічні умови. Київ : Інститут "УкрДЦемент", 2013. 8 с.
7. Свідерський В. А., Черняк Л. П., Сальник В. Г. Інструментальні методи хімічного аналізу силікатних систем : навч. посіб. Київ : "Політехніка", 2017. С. 91–98.
8. Дерягин Б. В., Захаев М. Н., Талаев М. В. Прибор для определения коэффициента фильтрации и капиллярной пропитки пористых и дисперсных тел. *Новые методы физико-химических исследований*. М. : Изд-во АН СССР, 1957. С. 102–107.
9. Дерягин Б. В., Захаева Н. Н., Талаев М. В., Филипповский В. В. Определение удельной поверхности порошкообразных тел по сопротивлению фильтрации разреженного воздуха. М. : Изд-во АН СССР, 1957. 60 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-182:2009. Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації і теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів в розрахункових та стандартних умовах. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 23 с.
11. Походун А. И., Шариков А. В. Экспериментальные методы исследований : учеб. пособ. СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2006. С. 87–90.
12. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками : Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 43 с.
13. Мовсисян Г. В. Справочник по клеям. М. : Изд-во АН СССР, 1980. 304 с.
14. Берлин Л. А., Басин В. Б. Основы адгезии полимеров. М. : Феникс, 1974. 397 с.
15. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности : учеб.-справ. пособ. Ростов н/Д. : Феникс, 2007. 368 с.
16. Пащенко А. А., Воронков М. Г., Крупа А. А., Свидерский В. А. Гидрофобный вспученный перлит. Київ : Наук. думка, 1977. С. 5–10.
17. Huang W., Day D. E., Kittiratanapiboon K., Rahaman M. N. Kinetics and mechanisms of the conversion of silicate (45S5), borate, and borosilicate glasses to hydroxyapatite in dilute phosphate solutions. *J. Mater. Sci. : Mater. Med.* 2006. N 17. P. 583–596.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2018.



*Demchenko V. Evaluation of the properties of fillers of mixtures for masonry.*

**Background.** The range of fillers for building materials is quite limited. The chemical composition and properties of ash microspheres determine the prospects for using them as a filler for building materials with given properties.

*The aim* of the work is to develop compositions with increased thermal insulation and operational properties which are based on the comparative assessment of the quality of mixtures for masonry and the identification of the advantages of ash microspheres.

**Analysis of recent research and publications.** Perlite is used as filler for building materials. Sodium-borosilicate microspheres are rarely used as fillers for building materials. Q. Wang, D. Wang, H. Chen argue that the introduction of the latter makes it possible to obtain source materials with increased durability, heat and sound insulation, etc. [3]. Research by D. V. Kersh [4], T. N. Teryaeva, O. V. Kostenko and others [5] of the properties of perlite and sodium borosilicate microspheres shows the effectiveness of these materials in the construction industry.

**Material and methods.** As the objects of research were selected fly ash microspheres from Ukrainian TPPs obtained at UMG Holding Ukraine. Hydrolyzate of ethyl silicate was selected as a modifier, *Tylose 30000 YP* was a functional additive. Sampling of fly ash microspheres was carried out according to DSTU B V.2.7-128:2006 [6]. The chemical composition was determined by the method of X-ray fluorescence analysis; properties of the surface were determined by the method of Deryagin [8; 9]; coefficient of thermal conductivity was determined according to State Standard of Ukraine DSTU, V.2.7-182:2009 [10]; conditional tangent of the dielectric loss angle was determined using the bridge of the alternating current R5083 at a working frequency of 1000 Hz [11]; compressive strength was determined according to DSTU B V.2.7-214:2009 [12]; adhesion strength was determined according to [13; 14].

**Results.** Results of research of properties of fillers on the example of fly ash, sodium borosilicate microspheres and perlite are presented in the article. It has been established that  $\text{SiO}_2$  is the main element of the chemical composition of perlite, sodium borosilicate and fly ash microspheres. Aluminum oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) in its chemical composition contains only perlite and fly ash microspheres, due to the peculiarities of the raw material used in their formation. Advantages of fly ash microspheres in comparison with sodium borosilicate and perlite when they are used as fillers for building materials with increased thermal insulation properties have been shown. Relationship between chemical composition, surface properties (wettability, effective specific surface, coefficient of lyophilicity), thermophysical (thermal conductivity coefficient) and dielectric (conditional tangent of dielectric losses angle) properties of investigated materials have been established.

Based on the obtained researches formulations of mixtures for masonry have been developed. The obtained compositions were compared with the control (*Cerezit CT-21*) according to the following parameters: compressive strength, adhesion strength and coefficient of thermal conductivity.

**Conclusion.** It has been established by the research that among all the developed compositions according to indicators such as compressive strength, adhesion strength and coefficient of thermal conductivity, the best is the composition of number 2.

The fly ash microspheres, in comparison with sodium borosilicate and perlite, have the greatest prospects of using as fillers of mixtures for masonry. This is confirmed by the lowest coefficient of their thermal conductivity.

*Keywords:* fly ash microspheres, perlite, sodium borosilicate microspheres, wettability of a surface, effective specific surface area, chemical composition, conditional tangent of dielectric losses angle, coefficient of thermal conductivity.

#### REFERENCES

1. *Danilovich I. Ju.*, Skanavi N. A. Ispol'zovanie toplivnyh shlakov i zol dlja proizvodstva stroitel'nyh materialov. M. : Vyssh. shk., 1988. 33 s.
2. *Kac G. S.*, Milevski D. V. Napolniteli dlja polimernyh kompozicion-nyh materialov. M. : Himija, 1981. 736 s.
3. *Wang Q.*, Wang D., Chen H. The role of fly ash microsphere in the microstructure and macroscopic properties of high-strength concrete. Cement and Concrete Composites. Department of Civil Engineering, Tsinghua University. China, 2017. P. 125–137.
4. *Kersh D. V.* Gipsovi kompozycji' z zol'nymy mikrosferamy : avtoref. dys. ... kand. tehn. nauk : 05.23.05. Odesa, 2015. 14 s.
5. *Terjaeva T. N.*, Kostenko O. V., Ismagilov Z. R., Shikina N. V., Rudina N. A., Antipova V. A. Fiziko-himicheskie svojstva aljumosilikatnyh polyh mikrosfer. Vestn. KuzGTU. 2013. № 5 (99). S. 86–90.
6. DSTU B V.2.7-128:2006. Dobavky aktyvni mineral'ni ta dobavky napovnjuvachi do cementu. Tehnichni umovy. Kyi'v : Instytut "UkrDIcement", 2013. 8 s.
7. *Sviders'kyj V. A.*, Chernjak L. P., Sal'nyk V. G. Instrumental'ni metody himichnogo analizu sylikatnyh system : navch. posib. Kyi'v : "Politehnika", 2017. S. 91–98.
8. *Derjagin B. V.*, Zahaev M. N., Talaev M. V. Pribor dlja opredelenija koeficienta fil'tracii i kapilljarnoj propitki poristyh i dispersnyh tel. Nove metody fiziko-himicheskikh issledovanij. M. : Izd-vo AN SSSR, 1957. S. 102–107.
9. *Derjagin B. V.*, Zahaeva N. N., Talaev M. V., Filippovskij V. V. Opredelenie udel'noj poverhnosti poroshkoobraznyh tel po soprotivleniju fil'tracii razrezhennogo vozduha. M. : Izd-vo AN SSSR, 1957. 60 s.
10. DSTU B V.2.7-182:2009. Budivel'ni materialy. Metody vyznachennja terminu efektyvnoi' ekspluatacii' i teploprovodnosti budivel'nyh izoljacijnyh materialiv v rozrahunkovyh ta standartnyh umovah. Kyi'v : Minregionbud Ukrai'ny, 2010. 23 s.
11. *Pohodun A. I.*, Sharikov A. V. Jeksperimental'nye metody issledovanij : ucheb. posob. SPb. : SPb GU ITMO, 2006. S. 87–90.
12. DSTU B V.2.7-214:2009. Budivel'ni materialy. Betony. Metody vyznachennja micnosti za kontrol'nyy zrazkamy : Kyi'v : Minregionbud Ukrai'ny, 2009. 43 s.
13. *Movsisjan G. V.* Spravochnik po klejam. M. : Izd-vo AN SSSR, 1980. 304 s.
14. *Berlin L. A.*, Basin V. B. Osnovy adgezii polimerov. M. : Feniks, 1974. 397 s.
15. *Dvorkin L. I.*, Dvorkin O. L. Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti : ucheb.-sprav. posob. Rostov n/D. : Feniks, 2007. 368 s.
16. *Pashhenko A. A.*, Voronkov M. G., Krupa A. A., Sviderskij V. A. Gidrofobnyj vspuchennyj perlit. Kiiv : Nauk. dumka, 1977. S. 5–10.
17. *Huang W.*, Day D. E., Kittiratanapiboon K., Rahaman M. N. Kinetics and mechanisms of the conversion of silicate (45S5), borate, and borosilicate glasses to hydroxyapatite in dilute phosphate solutions. J. Mater. Sci. : Mater. Med. 2006. N 17. P. 583–596.