

ISSN 2521-6694 (Print)  
ISSN 2521-6708 (Online)

Міжнародний науково-виробничий журнал

# **КЕРАМІКА: наука і життя**

International Journal of Research and Production

# **CERAMICS: Science and Life**

КИЇВ 2020

# Міжнародний науково-виробничий журнал «КЕРАМІКА: наука і життя»

Заснований в 2007 році.

## Проблематика:

технології, обладнання, матеріали, тепломасообмінні процеси і апарати, теорія і практика сушіння, енергоефективність процесів, екологія, контрольно-вимірювальні прилади, автоматизація виробництва.

## Періодичність видання:

4 рази на рік.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №13065-1949Р від 13.08.2007 року.

Журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук

(Додаток 7 до Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 №1714).

Індексується у електронних бібліотеках, каталогах, репозиторіях та наукометричних базах даних:

Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, JIFACTOR, International Scientific Indexing (ISI), Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського, Cosmos Impact Factor, Scillit, DRJI, Citefactor.

## Мови видання:

українська, англійська.

## Засновники:

- Державне підприємство «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики НАН України
  - Інститут технічної теплофізики НАН України
  - ТОВ «Українська асоціація кераміки»

## Головний редактор

академік НАН України Долінський Анатолій Андрійович

## Заступник головного редактора

чл.-кор. НАН України Авраменко Андрій Олександрович

## Відповідальний секретар

д.т.н., с.н.с. Недбайло Олександр Миколайович

## Члени редакційної колегії:

Dr.-Ing., professor Hans-Bertram Fisher (Німеччина); Ph.D., professor Yang Changhui (Китай);  
professor Cristina Leonelli (Італія); чл.-кор. НАН України Снежкін Ю.Ф.; чл.-кор. НАН України Авраменко А.О.;  
д.т.н., професор Кривенко П.В.; чл.-кор. НАН України Басок Б.І.; д.т.н., професор Гоц В.І.;  
д.т.н., професор Черняк Л.П.; д.т.н., професор Пушкарьова К.К.; д.т.н., професор Петровський В.Я.;  
к.т.н., професор Захарченко П.В.; д.т.н., професор Письменний Є.М.; д.т.н., професор Корнієнко Я.М.;  
д.т.н., с.н.с. Петрова Ж.О.; д.т.н., с.н.с. Ободович О.М.; д.т.н., професор Акуліч О.В. (Беларусь);  
д.т.н., професор Джерембаєва Н.Е. (Казахстан); д.т.н., професор Назаренко І.І., д.т.н., доц. Кузьмінець М.П.;  
к.т.н., с.н.с. Чайка О.І.; к.т.н. Тельников Є.Я.; Чернишин О.Г.

## Адреса редакції:

ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України, вул. Булаховського, 2, корпус 2,  
м. Київ, 03164, Україна.

Тел.: +380444240279, т/ф +380444243283.

E-mail: icsushka@gmail.com

ISSN 2521-6694 (Print)

ISSN 2521-6708 (Online)

Key title: Keramika: nauka i zizn'  
Abbreviated key title: Keram.: nauka zizn'  
Parallel title: Keramika: nauka i zitta  
Parallel title: Ceramics: science and life  
URL: <https://ceramic-journal.org.ua>

Наклад – 200 екземплярів.

Видавництво: ТОВ «АГЕНТСТВО «УКРАЇНА»»,

01054, Україна, м. Київ, вул. Гончара, 55

Свідоцтво про реєстрацію серії ДК № 265 від 30.11.2000 р.

# **International Journal of Research and Production «CERAMICS: Science and Life»**

Founded in 2007 year.

## **Topics:**

technology, equipment, materials, heat and mass transfer processes and devices, the theory and practice of drying, the energy efficiency of processes, environment, instrumentation, automation of production.

## **Frequency of publication:**

4 times a year.

**Certificate of state registration KB №13065-1949P from 13.08.2007 year.**

**The journal is included in the List of scientific professional editions of Ukraine on technical sciences** (Annex 7 to the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 28.12.2017, No. 1714).

**Indexed in electronic libraries, catalogs, repositories and international scientometric databases:**

Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, JIFACTOR, International Scientific Indexing (ISI), Vernadsky National Library of Ukraine, Cosmos Impact Factor, Scillit, DRJI, Citefactor.

## **Publishing languages:**

Ukrainian, English.

## **Founders:**

- The State Enterprise «Engineering Center «Drying» of Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
  - Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
  - LLC «Ukraine Ceramics Association»

## **Chief Editor**

Academician of the NAS of Ukraine Anatoliy Dolinskiy

## **Deputy Editor**

Corresponding member NAS of Ukraine Andriy Avramenko

## **Executive secretary**

Sc.D., Senior scientist Alexandr Nedbailo

## **Members of the editorial board:**

Dr.-Ing., Professor Hans-Bertram Fisher (Germany); Ph.D., Professor Yang Changhui (China); Professor Cristina Leonelli (Italy); Corresponding member NAS of Ukraine Yu. Snezhkin; Corresponding member NAS of Ukraine A. Avramenko; Sc.D., Professor P. Kryvenko; Corresponding member NAS of Ukraine B. Basok; Sc.D., Professor V. Gots; Sc.D., Professor L. Chernyak; Sc.D., Professor K. Pushkarova; Sc.D., Professor V. Petrovskiy; Ph.D., Professor P. Zakharchenko; Sc.D., Professor Ye. Pysmenny; Sc.D., Professor Ya. Kornienko; Sc.D., Senior Scientist Zh. Petrova; Sc.D., Senior Scientist A. Obodovich; Sc.D., Professor A. Akulich (Belarus); Sc.D., Professor N. Dzherembaeva (Kazakhstan); Sc.D., Professor I. Nazarenko, Sc.D., Ass.Professor M. Kuzminec; Ph.D., Senior Scientist O. Chaika; Ph.D. E. Telnikov; O. Chernyshyn

## **Editorial address:**

The State Enterprise «Engineering Center «Drying» Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine.

**Tel.:** +380444240279, tel./fax +380444243283.

**E-mail:** icsushka@gmail.com

**ISSN 2521-6694 (Print)**

**ISSN 2521-6708 (Online)**

Key title: Keramika: nauka i zizn'  
Abbreviated key title: Keram.: nauka zizn'  
Parallel title: Keramika: nauka i zitta  
Parallel title: Ceramics: science and life  
**URL:** <https://ceramic-journal.org.ua>

Circulation - 200 copies.

Publishing: LLC «Agency «Ukraine»,  
01054, Ukraine, Kyiv, Gonchara str., 55

Certificate of state registration: DK №265, 30.11.2000.



Директор «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України  
Олександр **ЧЕРНИШИН**

Шановні читачі!

Розроблення, модернізація енергоощадних приладів та обладнання є основою науково-практичної діяльності Державного підприємства «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України).

У зв'язку із нагальною необхідністю підвищення енергетичної ефективності адміністративної будівлі Інституту технічної теплофізики НАН України, провідні фахівці підприємства активно долучилися до проекту реконструкції існуючої системи теплотапобезпечення. Запропоновані технічні рішення базуються на використанні товстоплівкових нагрівальних елементів

в складі проточного нагрівача розробки ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України, що дозволяють прогнозовано скоротити питомі енергетичні витрати на опалення в середньому на 15 %. Такий підхід у розв'язанні проблеми зменшення споживання енергоресурсів демонструє можливості широкого застосування нагрівальних елементів, в тому числі, в сфері житлово-комунального господарства.

Зазначаємо, що ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України висловлює свою готовність до співпраці з науковими установами та виробничими підприємствами в сфері подальшого підвищення якісних характеристик різноманітної теплотехнічної продукції.

Будемо раді подальшій співпраці!

**Зміст журналу**  
**«КЕРАМІКА: наука і життя» № 3(48), 2020**

**Технології**

- Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова**  
Теплонасосні технології низькотемпературного  
сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми ..... 7
- Л.І. Мельник, Л.П. Черняк, О.В. Козловець**  
Композиційний матеріал на основі андезиту Закарпаття ..... 13
- В.В. Собченко, В.А. Жайворонок, Г.О. Собченко**  
Трепел як основа одержання геополімерного матеріалу ..... 18
- О.М. Недбайло, О.Г. Чернишин**  
Технологічні властивості пористого  
бетону автоклавного та неавтоклавного твердіння ..... 23

**Contents of the journal**  
**«CERAMICS: science and life» № 3(48), 2020**

**Technologies**

<b>Yu.F. Snezhkin, V.M. Paziuk, Zh.O. Petrova</b> Heat pump technologies of low temperature drying of capillary-porous materials spherical shape .....	7
<b>L.I. Melnyk, L.P. Chernyak, O.V. Kozlovets</b> Composite material based on andesite of Transcarpathia .....	13
<b>V.V. Sobchenko, V.A. Zhaivoronok, H.O. Sobchenko</b> Rottenstone as a basis for obtaining geopolymer material .....	18
<b>O.M. Nedbailo, O.G. Chernyshyn</b> Technological properties of porous concrete autoclave and non-autoclave hardening .....	23

## Heat pump technologies of low temperature drying of capillary-porous materials spherical shape

Yu.F. Snezhkin, V.M. Paziuk, Zh.O. Petrova

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine  
Tel.: +380444249638  
E-mail: vadim\_pazuk@ukr.net*

*Article info: received 30.07.2020, revised 31.08.2020, accepted 18.09.2020*

*Snezhkin, Yu.F., Pazyuk, V.M., Petrova, Zh.O. (2020) Heat pump technologies of low temperature drying of capillary-porous materials spherical shape, 3(48), doi: 10.26909/csl.3.2020.1*

Heat pump technologies have become widely used in space heating and air conditioning systems, and the heat pump can be used for low-temperature drying of capillary-porous materials.

Recuperative and condensing heat pumps, which allow both drying and cooling of the material, have become the most widespread.

The developed condensing heat pump drying unit with a mine chamber implements a low-temperature drying process of spherical capillary-porous materials at a drying agent temperature of 40 - 50 °C with a decrease in material humidity by 11 % to a final humidity of 8 %.

Experimental studies on a heat pump drying unit for drying capillary-porous materials of spherical shape indicated a significant reduction in average energy costs per process up to 3700 - 4100 kJ/kg of evaporated moisture. The increase in energy consumption increases significantly in the second part of the second period, where heat consumption can reach 5000 - 5350 kJ/kg of evaporated moisture.

The use of condensing heat pumps for low-temperature drying of capillary-porous materials has shown high energy efficiency compared to existing drying technologies.

Key words: capillary-porous materials, drying kinetics, heat pump technologies, regression equation, multivariate experiment.

## Теплонасосні технології низькотемпературного сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми

Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

Теплонасосні технології набули широкого використання в системах опалення та кондиціонування приміщень, також тепловий насос можна застосовувати для низькотемпературного сушіння капілярно-пористих матеріалів.

Найбільше розповсюдження набули рекуперативні та конденсаційні теплові насоси, що дають можливість як висушувати, так і охолоджувати матеріал.

Розроблена конденсаційна теплонасосна сушильна установка з шахтною камерою реалізує низькотемпературний процес сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми при температурі сушильного агента 40 - 50 °C із зниженням вологості матеріалу на 11 % до кінцевої вологості 8 %.

Експериментальні дослідження на теплонасосній сушильній установці при сушінні капілярно-пористих матеріалів сферичної форми вказали на суттєве зменшення середніх енергетичних витрат на процес до 3700 - 4100 кДж/кг вип. вологи. Збільшення енергетичних витрат суттєво збільшується в другій частині другого періоду, де витрати теплоти можуть досягати 5000 - 5350 кДж/кг вип. вологи.

## Вступ

Вибір раціонального способу перетворення первинної енергії (споживання палива) направлений на збільшення віддачі енергії кінцевому споживачу. Основним узагальнюючим критерієм ефективності є коефіцієнт використання первинної енергії палива. Він визначається як відношення корисної теплоти до теплотворної здатності витраченого палива [1] (табл. 1).

Таблиця 1.

Коефіцієнт використання первинної енергії палива

Вид палива	Коефіцієнт використання
Електропідігрівання	0,27 - 0,35
Спалювання палива в теплогенераторі	0,75 - 0,95
Парокомпресійний тепловий насос з електроприводом	0,6 - 1,35
Парокомпресійний тепловий насос з тепловим двигуном	1,37 - 2,3

Співставлення альтернативних варіантів нагріву теплоносія за ступенем використання первинної енергії показує, що найменш енергоефективним є прямий електричний нагрів ( $K_{ЕЛ} = 0,27 - 0,35$ ), тому що на тепловій електростанції при виробленні електричної енергії на транспортування мережами втрачається в середньому 70 % первинної енергії.

Нагрів теплоносія в теплогенераторі шляхом прямого спалювання палива в котельні призводить до втрат в середньому біля 15 % первинної енергії. Значне коливання коефіцієнту первинної енергії залежить від конструкції теплогенератора і виду палива.

Для парокомпресійних теплових насосів з електроприводом коефіцієнт використання первинної енергії ( $K_{ТН}$ ) дорівнює добутку коефіцієнта перетворення теплового насосу  $\mu$  і коефіцієнта використання первинної енергії при виробленні електроенергії ( $K_{ЕЛ}$ )

$$K_{ТН} = \mu \cdot K_{ЕЛ} \quad (1)$$

Коефіцієнт перетворення теплового насосу  $\mu$  залежить від різниці необхідної температури теплоносія і температури холодного джерела, термодинамічних властивостей робочої речовини і особливостей термодинамічного циклу та технічної досконалості конструкції.

В залежності від схеми підключення теплового насосу в циркуляційний контур, сушарки можна поділити на рекуперативні та конденсаційні.

## Матеріали та методи дослідження

Основний вплив на кінетику процесу сушіння капілярно-пористих матеріалів має температура та швидкість сушіння, а також початкова вологість матеріалу.

Рекуперативна сушарка 1 з тепловим насосом складається з випарника 2, який встановлюється в вихідному патрубку, та з конденсатора 3 на вхідному патрубку (рис. 1).

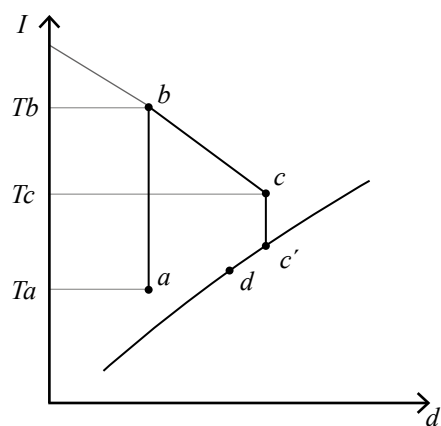
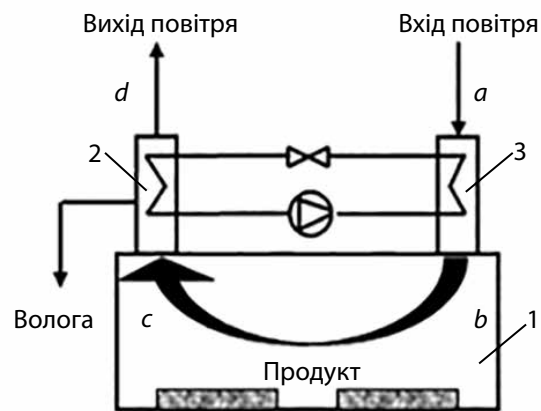


Рис. 1. Схема рекуперативної сушарки з тепловим насосом:

1 – сушарка; 2 – випарник; 3 – конденсатор

Процес сушіння в  $I - d$  діаграмі показаний на рис. 1. Повітря через вхідний патрубок надходить на конденсатор 3 теплового насосу і підігрівается (лінія нагрівання  $a - b$ ). Потім надходить в сушильну камеру 1, де відбувається сушіння продукту (лінія  $b - c$ ) з зменшенням температури та збільшенням вологості теплоносія на виході з сушарки (лінія  $c - c'$ ).



Теплоносій на виході з сушарки охолоджується та зневоднюється на випарнику 2 (лінія  $c' - d$ ) з відбором теплоти на нагрівання в конденсаторі 3 через цикл теплового насосу.

Конденсаційна сушарка з тепловим насосом – замкнений циркуляційний контур, в якому теплоносій циркулює через випарник 2, конденсатор 3 і продукт, що висушується (рис. 2).

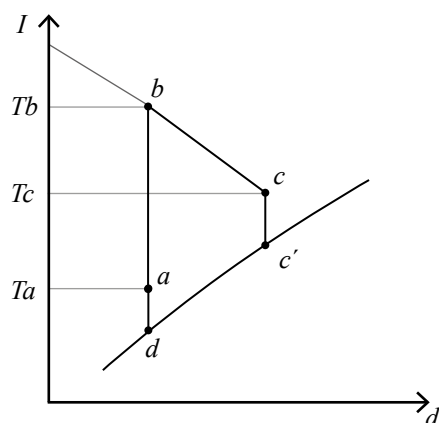
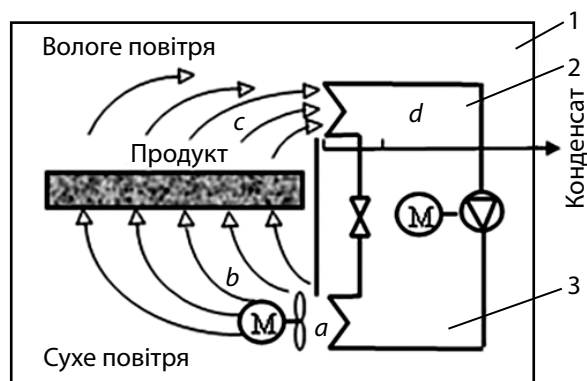


Рис. 2. Схема конденсаційної сушарки з тепловим насосом:

1 – сушарка; 2 – випарник; 3 – конденсатор.

Зволоження та охолодження теплоносія відбувається на випарнику 2 теплового насосу і через цикл теплового насосу зневоднений теплоносій підігрівається на конденсаторі 3.

Більш детально процес сушіння капілярно-пористих матеріалів представлений в  $I - d$  діаграмі. Теплоносій надходить на сушарку, прогрівається (лінія  $a - b$ ). За допомогою вентилятора потік підігрітого повітря направляється на сушіння продукту (лінія  $b - c$ ). Теплоносій на виході з сушарки охолоджується та зневоднюється на випарнику 2 (лінія  $c' - d$ ) з відбором теплоти на нагрівання в конденсаторі 3 через цикл теплового насосу з рециркуляцією теплоносія.

Для дослідження процесу сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми була застосована вдосконалена схема конденсаційної сушарки з тепловим насосом (рис. 3).

Вдосконалена схема конденсаційної сушарки передбачає додаткове встановлення регенеративного теплообмінника 3 та встановлення додаткового вентилятора 6 для стабільної роботи компресора 1 (рис. 3).

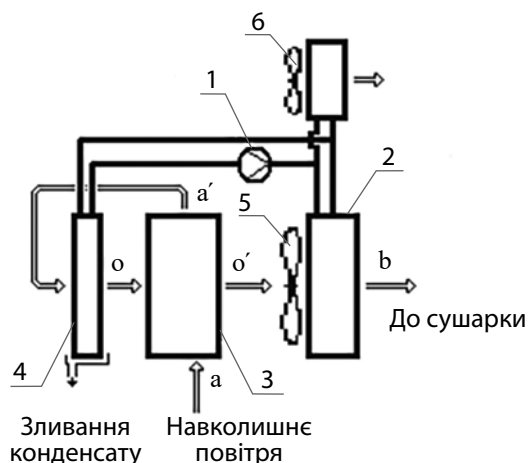


Рис. 3. Вдосконалена схема роботи конденсаційної сушарки із тепловим насосом для сушіння капілярно-пористих матеріалів:  
1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – регенеративний теплообмінник; 4 – випарник; 5, 6 – відповідно, основний і допоміжний вентилятори.  
 $a - a'$  – охолодження повітря в регенеративному теплообміннику;  
 $a' - o$  – зневоднення підігрітого теплоносія в конденсаторі теплового насоса;  
 $o - o'$  – часткове відновлення температури повітря;  
 $o' - b$  – нагрівання теплоносія в конденсаторі

Повітря циркулюючим вентилятором з оточуючого середовища всмоктується на вхід до регенеративного теплообмінника 3 ( $a - a'$ ), частково підігрівається і направляється до випарника 4, де осушується за рахунок охолодження нижче температури роси, а скраплена волога відводиться до збірника конденсату ( $a' - o$ ).

Зневоднене повітря прямує до регенеративного теплообмінника 3, частково відновлює свій температурний потенціал ( $o - o'$ ) і направляється до конденсатора 2, де нагрівається до заданої температури ( $o' - b$ ). Нагріте зневоднене повітря через повітропровід поступає до сушильної камери, де вступає в тепломасообмінний контакт з матеріалом. Проходячи крізь шар вологого матеріалу, гаряче сухе повітря забирає зайву вологу і викидається в зовнішнє середовище.

Експериментальна установка складається з теплонасосного агрегату 1, шахти 5 та контрольно-вимірвальних приладів, регулятора швидкості 6, лічильника електроенергії 7, напільних терезів 8 з цифровим табло 11 (рис. 4).

### Результати та їх обговорення

Результати проведених досліджень впливу температури на кінетику процесу сушіння в експериментальній установці із тепловим насосом показали, що збільшення температури на 10 °С (40 - 50 °С) зменшує тривалість сушіння на 12 % (рис. 5).

Отримані експериментальні дані зміни вологості капілярно-пористого матеріалу від часу сушіння описані за допомогою поліномів 2 ступеня при достовірності апроксимації  $R^2 = 0,999$ .

Для температури теплоносія 40 °С:

$$W_{40} = 0,0008\tau^2 - 0,1969\tau + 19,325. \quad (2)$$

Для температури теплоносія 50 °С:

$$W_{50} = 0,0006\tau^2 - 0,1783\tau + 19,359. \quad (3)$$

Процес низькотемпературного сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми на експериментальній установці із тепловим насосом проходить в три етапи: прогрівання, період постійної та період спадаючої швидкості сушіння (рис. 6).

Максимальна швидкість сушіння при температурі теплоносія 50 °С в точці  $K_1$  становить 0,181 %/хв., а при температурі 40 °С – 0,155 %/хв. В періоді падаючої швидкості сушіння спостерігається друга критична точка  $K_2$  при вологості 11,5 - 12 %.

Визначення питомих витрат теплоти в процесі сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми при різній температурі теплоносія приведені на рис. 7. Спостерігається загальна тенденція у наведеній залежності питомих витрат теплоти від параметрів сушіння: на початку процесу витрати

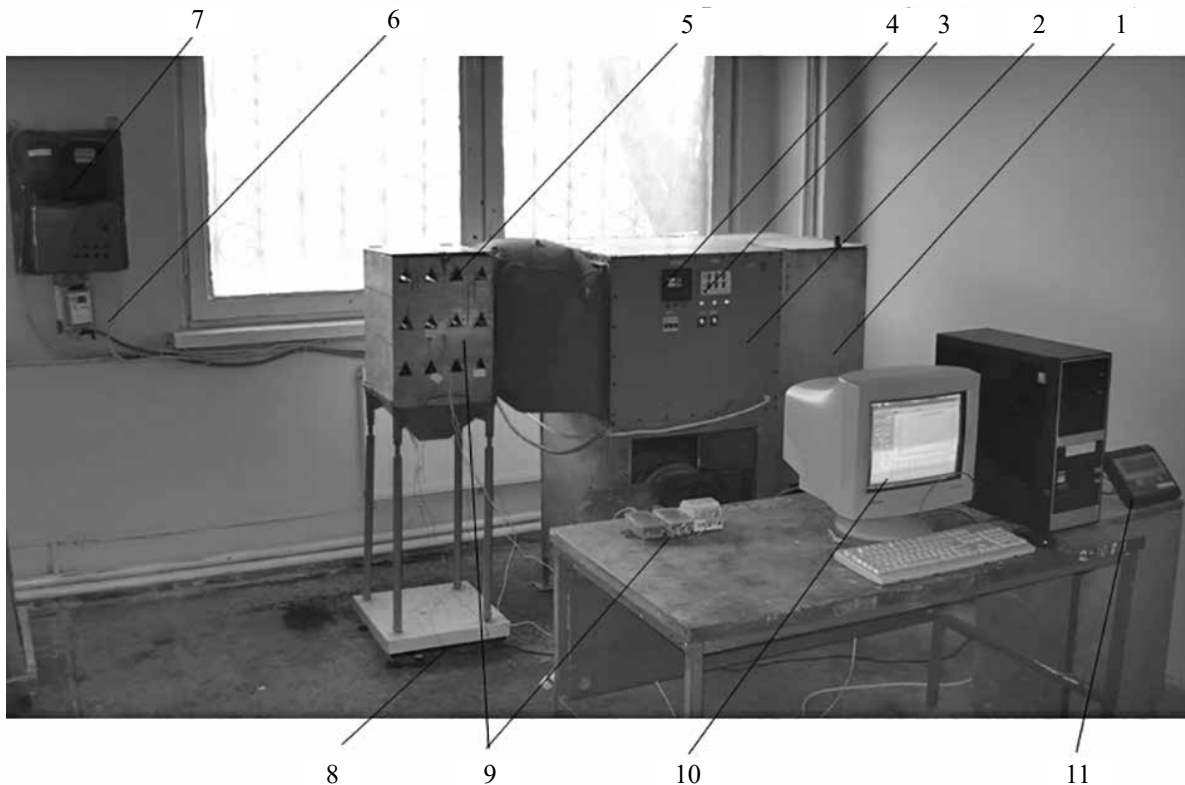


Рис. 4. Експериментальна установка із тепловим насосом для низькотемпературного сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми:  
1 – теплонасосний агрегат; 2 – щит керування; 3 – реле часу; 4 – термореле; 5 – сушильна шахта;  
6 – регулятор швидкості; 7 – лічильник електроенергії; 8 – терези;  
9 – аналоговий цифровий перетворювач *i-7018*, конвертор-інтерфейс *i-7520*  
та хромель-копелеві термоелектричні перетворювачі; 10 – комп'ютер; 11 – цифрове табло терезів

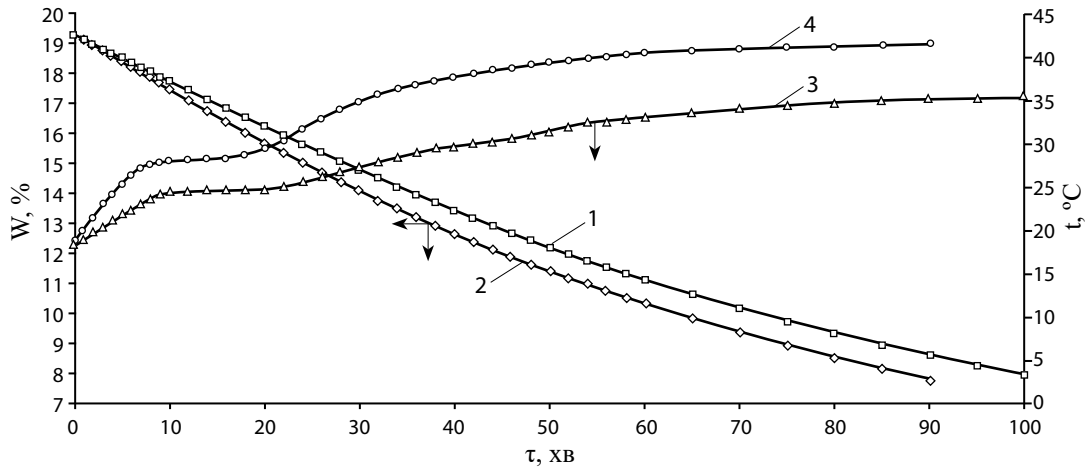


Рис. 5. Вплив температури теплоносія на тривалість низькотемпературного сушіння капілярно-пористих матеріалів при різній температурі теплоносія:  $V = 1,5$  м/с,  $\delta = 40$  мм,  $W_n = 19,2$  %,  $d = 6$  г/кг с. п., 1, 3 – 40 °С; 2, 4 – 50 °С.

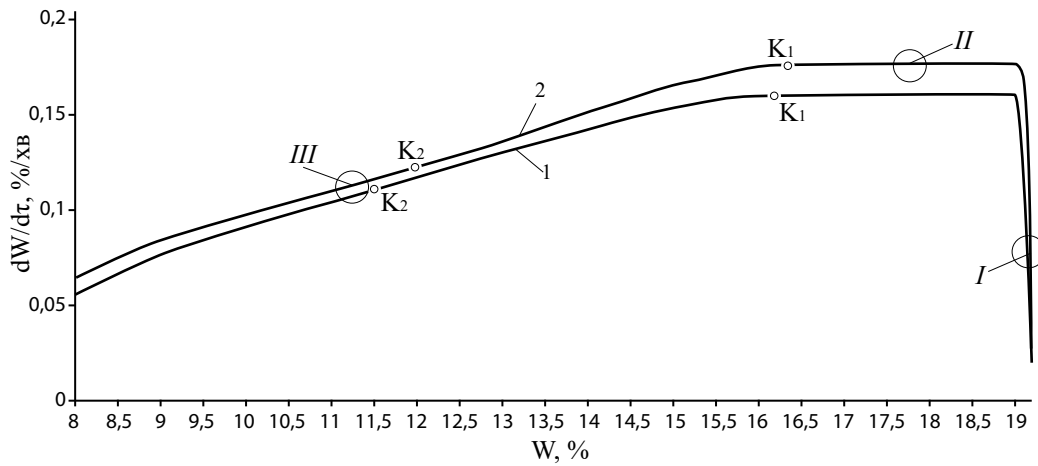


Рис. 6. Криві швидкості сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми при різній температурі теплоносія:  $V = 1,5$  м/с,  $\delta = 40$  мм,  $W_n = 19,2$  %,  $d = 6$  г/кг с. п., 1 – 40 °С; 2 – 50 °С.

Періоди: I – прогрівання; II, III – постійної та спадаючої швидкості сушіння

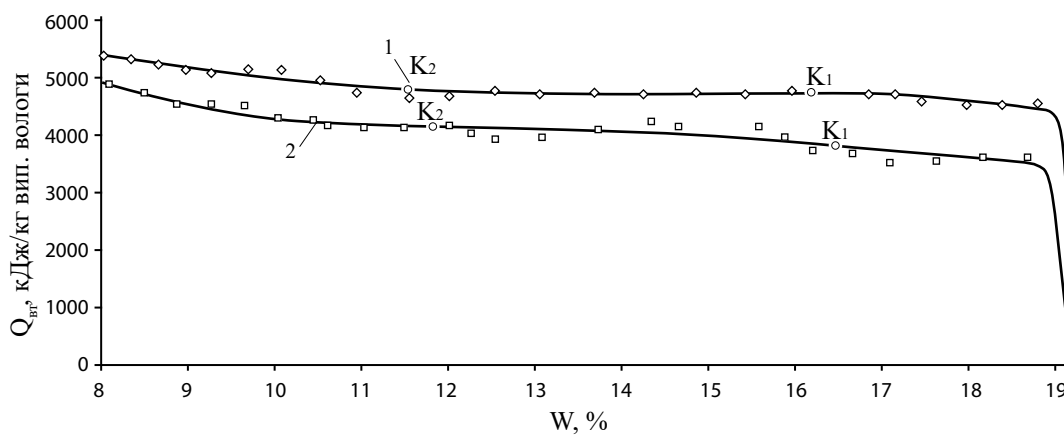


Рис. 7. Питомі витрати теплоти при сушінні капілярно-пористих матеріалів сферичної форми при різній температурі теплоносія:  $V = 1,5$  м/с,  $\delta = 40$  мм,  $W_n = 19,2$  %,  $d = 6$  г/кг с. п., 1 – 40 °С; 2 – 50 °С

теплоти мінімальні і складають 4100 - 4800 кДж/кг, поступове збільшення втрат відбувається до вологості 11,5 - 12 %, що відповідає критичній точці  $K_2$ , і свідчить про ефективність процесу сушіння на рівні 4100 - 4900 кДж/кг вип. вологи.

Після цього питомі витрати різко збільшуються і при вологості матеріалу 8 % становлять від 5000 - 5350 кДж/кг вип. вологи, що є досить високими. Видалення 2 - 3 % в самому кінці сушіння насіння ріпаку збільшує енергетичні витрати на 6 - 12 % від середніх питомих витрат на процес.

Для порівняння ефективності застосування теплових насосів при сушінні капілярно-пористих матеріалів сферичної форми були проведені додаткові дослідження із сушінням на електричному теплогенераторі (рис. 8).

Середні питомі витрати теплоти в тепловому насосі в 3,97 раз менше ніж при нагріванні електронагрівом при сушінні з температурою теплоносія 50 °С.

Використання теплових насосів аргументовано їхньою енергоефективністю і можливістю їх засто-

сування при низькотемпературному сушінні капілярно-пористих матеріалів сферичної форми.

## Висновки

Використання конденсаційних теплових насосів для низькотемпературного сушіння капілярно-пористих матеріалів показало високу енергоефективність в порівнянні з існуючими технологіями сушіння.

При збільшенні температури теплоносія від 40 до 50 °С тривалість сушіння зменшується на 12 хв. Процес сушіння проходить в 3 періоди: прогрівання, періоди постійної та падаючої швидкості сушіння. До критичної точки  $K_2$  при вологості матеріалу 11,5 % питомі витрати енергії складають 4100 - 4800 кДж/кг, інтенсивність процесу різко знижується, енерговитрати збільшуються.

## References

1. Теплові насоси в системі теплохолодопостачання. Ю.Ф. Снежкін, Д.М. Чалаєв, В.С. Шаврин, Н.О. Дабіжа. – К.: ТОВ «Поліграф – Сервіс». – 2008. – 104 с.

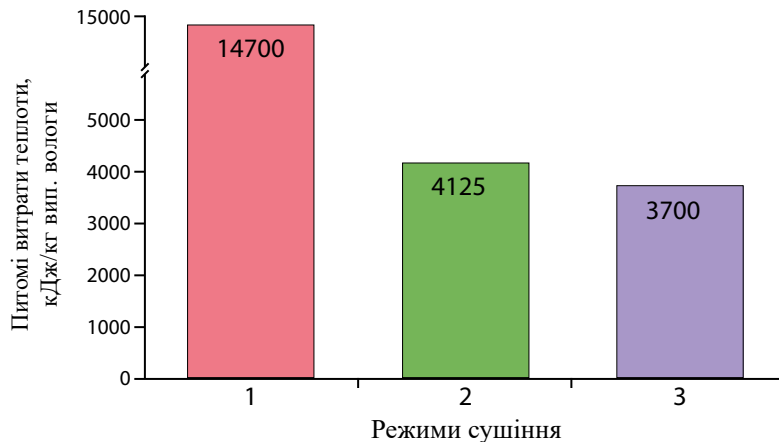


Рис. 8. Середні питомі витрати теплоти від режиму сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми та способу підготовки теплоносія:

з електронагрівом: 1 –  $t = 50$  °С,  $V = 1,5$  м/с,  $\delta = 40$  мм,  $d = 10$  г/кг с. п.;

з тепловим насосом: 2 –  $t = 40$  °С,  $V = 1,5$  м/с,  $\delta = 40$  мм,  $d = 6$  г/кг с. п.;

3 –  $t = 50$  °С,  $V = 1,5$  м/с,  $\delta = 40$  мм,  $d = 6$  г/кг с. п

## Composite material based on andesite of Transcarpathia

L.I. Melnyk (ORCID 0000-0001-5139-3105), L.P. Chernyak (ORCID 000-0001-8479-0545), O.V. Kozlovets

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", av. Peremogy, 37, Bldg. 21, Kyiv, 03056, Ukraine*

*Tel.: +380637238179, +380672985775, +380685137118*

*E-mail: luba\_xtkm@ukr.net, lpchernyak@ukr.net, okozlovets@icloud.com*

*Article info: received 07.09.2020, revised 15.09.2020, accepted 30.09.2020*

*Melnyk, L.I., Chernyak, L.P., Kozlovets, O.V. (2020) Composite material based on andesite of Transcarpathia 3(48), doi: 10.26909/csl.3.2020.2*

Composite materials for various purposes are made on the basis of initial mixtures of fillers and bonding components. The varieties of these components and their quantitative ratio determine the qualitative indicators of the composite. This causes rosettes of the raw material base for the production of composites, including the use of by-products of mineral extraction, which meets the objectives of resource saving.

This paper presents the results of the study of composite materials on the basis of by-products of extraction of igneous rocks of Transcarpathia – siftings of andesite as a filler and copolymer Latex 2012 as a matrix. The analysis of chemical and mineralogical composition of andesite siftings from Khust quarry was carried out.

An analysis of the dependence of the main physical and mechanical characteristics of the studied composites on the concentration of andesite in the range of 55 - 85 wt. % and of the corresponding change in the quantitative ratio of filler and copolymer is performed. Differences in parameters using andesite samples with different particle size distribution (the poly-fractional with particle size < 3 mm and the dispersion one with particle size < 0.5 mm) were determined.

The peculiarities of the formation of the pore structure of the composite material obtained using andesite samples of different granulometry connected with the increasing degree of dispersion associated with the increase in the number of filler particles in the composite, increasing adhesion forces in the copolymer-filler system and increasing of surface energy of andesite particles are shown.

The possibility of increasing the abrasive resistance of the composite material when using the initial mixture based on the andesite-copolymer system has been experimentally confirmed.

Key words: composite, filler, andesite, concentration, granulometry, polymer matrix, porosity, properties.

## Композиційний матеріал на основі андезиту Закарпаття

Л.І. Мельник, Л.П. Черняк, О.В. Козловець

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна*

Композиційні матеріали різних напрямків призначення виготовляють на основі вихідних сумішей армуючого (наповнювача) та в'язучого компонентів. Різновиди цих компонентів та їх кількісне співвідношення визначають якісні показники композиту. Це обумовлює розвиток сировинної бази виробництва композитів, в тому числі із використанням супутніх продуктів видобутку мінеральної сировини, що відповідає задачам ресурсозбереження.

В даній роботі подано результати дослідження композиційних матеріалів на основі супутніх продуктів видобутку магматичних порід Закарпаття – відсівів андезиту, як наповнювача та сополімеру Latex 2012, як матриці. Проведено аналіз хімічного та мінералогічного складу відсівів андезиту Хустського кар'єру.

Проведено аналіз залежності основних фізико-механічних характеристик досліджуваних композитів від концентрації андезиту в інтервалі 55 - 85 мас. % та відповідної зміни кількісного співвідношення наповнювача та сополімеру. Визначено відмінності у показниках при використанні проб андезиту різного гранулометричного складу: поліфракційного з розміром частинок < 3 мм та дисперсного з розміром частинок < 0,5 мм.

Показано особливості утворення порової структури композиційного матеріалу, отриманого з використанням проб андезиту різної гранулометрії, що при збільшенні ступеню дисперсності пов'язується із зростанням у композиті числа контактів частинок наповнювача, із зростанням сил адгезії у системі сополімер-наповнювач при збільшенні вільної енергії поверхні частинок андезиту.

Експериментально підтверджено можливість підвищення абразивної стійкості композиційного матеріалу при застосуванні вихідної суміші на основі системи андезит-сopolімер.

## Вступ

Розвиток науково-технічних засад технології полімерних композиційних матеріалів є предметом численних досліджень [1, 2]. Визнано значну роль наповнювачів композитів, використання яких дозволяє суттєво зменшити кількість необхідних полімерів – в'язучих, та підвищити властивості матеріалів [3].

Як дисперсні наповнювачі, головним чином, застосовуються природні матеріали – крейда, каолін, графіт [4, 5]. Одним із напрямків розширення сировинної бази наповнювачів стали роботи по вивченню та використанню порід вулканічного походження різних родовищ [6 - 8]. В цьому зв'язку привертають увагу розробки щодо застосування андезиту як наповнювача в композиційних матеріалах, в тому числі будівельних [9 - 11].

Відповідно до положення сучасного матеріалознавства про зв'язок склад → структура → властивості характеристики композитів залежать від різновидів наповнювача і матриці, технології та параметрів виготовлення. При цьому ступінь зв'язку компонентів, їх концентрація та рівномірність об'ємного розподілу визначають параметри структури, загальні фізико-механічні та спеціальні властивості композитів.

При застосуванні як наповнювача сировини різного генезису, в тому числі супутніх продуктів та відходів виробництва, з'являється можливість комплексного вирішення питань якості композитів і екології. В цьому зв'язку серед природної сировини привертають увагу відходи нерудної промисловості – відсівів видобутку та подрібнення магматичних порід, зокрема андезиту.

*Мета роботи.* Розробки по застосуванню андезиту потребують урахування особливостей його фізико-хімічного складу як фактору впливу на характеристики досліджуваних систем і властивості продукту виробництва. Це стало метою даної роботи стосовно композитів на основі андезиту з полімерним в'язучим.

## Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження стали композиційні матеріали на основі системи сополімер-відсівів андезиту при варіюванні концентрації наповнювача.

Методика роботи передбачала поєднання фізико-хімічних методів аналізу сировини та композитів на її основі з технологічними тестуваннями властивостей матеріалу:

- аналіз хімічного складу сировинних компонентів за стандартними методиками;
- рентгенофазовий аналіз (порошковий препарат) за допомогою дифрактометру ДРОН-3М (випромінювання Cu K $\alpha$  1-2, напруга 40 kV, струм 20 mA, швидкість 2 град/хв.);
- абразивну стійкість зразків визначали у відповідності до ДСТУ Б.В.2.7-212:2009 на крузі стирання типу Беме;
- механічні властивості, визначали на випробувальній машині TIRAtest-2151.

Як в'язучий компонент використовували різновид сополімерів – водну дисперсію стирол-бутадієнову марки Latex 2012 (табл. 1), хімічний склад якого характеризується сполученням із стиролом (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> – CH = CH<sub>2</sub>) у випадку Latex 2012 бутадієну (CH<sub>2</sub> = CH – CH = CH<sub>2</sub>).

Таблиця 1.  
Характеристики сополімеру

Показники	Сополімер
	Latex 2012
Хімічний склад	Стирол-бутадієн
Вміст стиролу, %	30
Фізичний стан	Водна дисперсія білого кольору
Вмістом сухого залишку, %	51.0
Розмір часток, нм	140
В'язкість, МПа•с	200
pH	5.5
Температура (МТПУ), °C	< 5

Як наповнювачі використовували відсівів андезиту Хустського кар'єру Закарпатської області. За хімічним складом проба відсівів андезиту характеризується підвищеним вмістом SiO<sub>2</sub> при кількісному співвідношенні SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3,5, оксидів заліза, лужноземельних і лужних оксидів типу RO + R<sub>2</sub>O = 11,47 мас. % (табл. 2).

## Результати та їх обговорення

За мінералогічним складом проба відсівів андезиту як різновид магматичних порід характеризується розвиненими кристалічними фазами, розподіленими у склофазі (рис. 1).

Технологія виготовлення композиту на основі системи сополімер-наповнювач складалась з послідовного виконання наступних операцій:

- механоактивація наповнювача і в'язучого в кульовому млині (20 хвилин);
- визрівання композиції (48 годин при кімнатній температурі);

- виготовлення заготовок (дозування наважок масою 5,0 г та закладання їх у форми);
- термообробка заготовок (поступове підвищення температури та витримка 1 година при 80 °С);
- пресування (P = 10 МПа) зразків циліндричної форми з діаметром 16 мм.

В даній роботі досліджено системи з сополімером Latex 2012 як в'язучим при диференціації гранулометрії та концентрації андезиту як наповнювача. При цьому використовували проби Аф поліфракціонованого андезиту та Ам2 із тонкодисперсними частинками розміром < 0,5 мм (табл. 3).

Таблиця 2.

Хімічний склад наповнювача

Назва проби	Вміст оксидів, 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>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	в.п.п
Андезит	59,70	16,97	8,42	0,72	5,76	1,21	-	2,68	1,82	1,11

Таблиця 3.

Гранулометричний склад андезиту

Код проби	Вміст фракцій матеріалу (мм), %				
	3 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,2	< 0,2
Аф	10	20	25	25	20
Ам2	-	-	-	100	

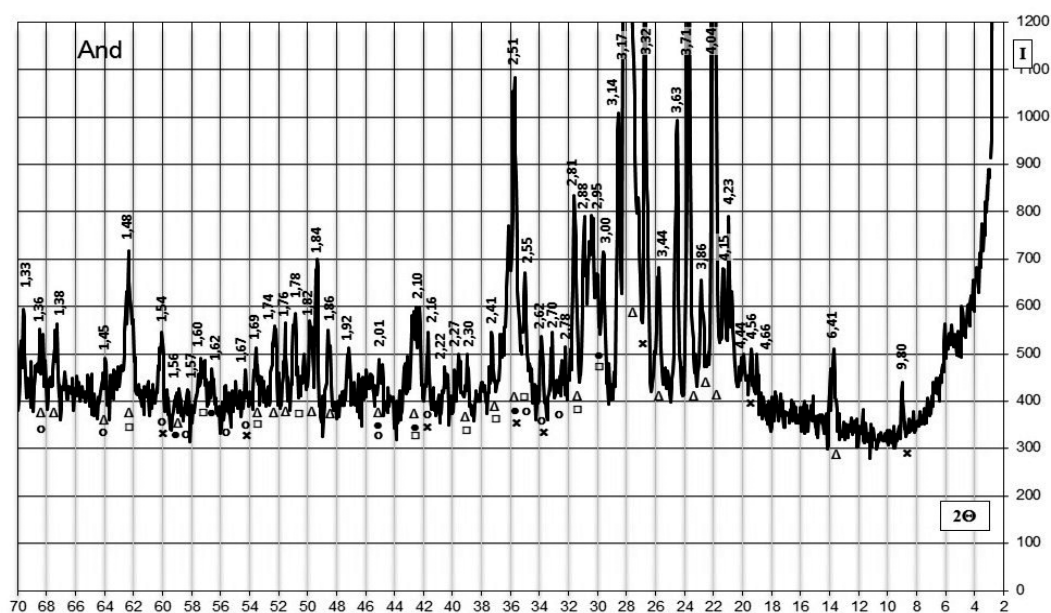


Рис. 1. Дифрактограма проби андезиту.

Позначення: Δ – олигоклаз-андезин, ● – авгіт, □ – магнетит, ○ – рогова обманка, x – біотит

Як свідчать результати випробувань показники фізико-механічних властивостей композиту суттєво залежать від співвідношення концентрації наповнювача – андезиту. При цьому із збільшенням концентрації наповнювача спостерігається загальна закономірність зростання густини та зменшення водопоглинання. Разом із тим, показники вказаних властивостей залежать від гранулометрії наповнювача.

Так, при використанні дисперсного андезиту Ам2 у порівнянні з поліфракціонованим Аф зразки композиту характеризуються більшим водопоглинанням – 8,8 - 2,1 проти 5,6 - 1,8 % та меншою густиною – 1,33 - 1,85 проти 1,43 - 1,98 г/см<sup>3</sup> (рис. 2).

Структурні відмінності дослідних зразків композиту визначаються характеристиками порової структури. За розрахунками на основі результатів тестувань встановлено, що при використанні дисперсного андезиту у порівнянні з поліфракційним має місце зменшення загальної та відкритої пористості (табл. 4).

Відзначене при використанні дисперсного андезиту зменшення кількості та питомої частки відкритих пор пов'язується:

- із зростанням у композиті числа контактів частинок наповнювача [12];
- із зростанням у композиті сил адгезії [13] у системі сополімер-наповнювач при збільшенні дисперсності та, відповідно, вільної енергії поверхні частинок андезиту.

Вказані структурні відмінності обумовлюють визначені фізико-механічні (густина, водопоглинання, модуль пружності) та експлуатаційні (стиранність) показники властивостей композиційного матеріалу на основі закарпатського андезиту.

### Висновки

1. Встановлено особливості введення до складу композиційних матеріалів відсівів андезиту як наповнювача в кількості 55 - 85 мас. % при використанні сополімеру Latex 2012 як матриці.

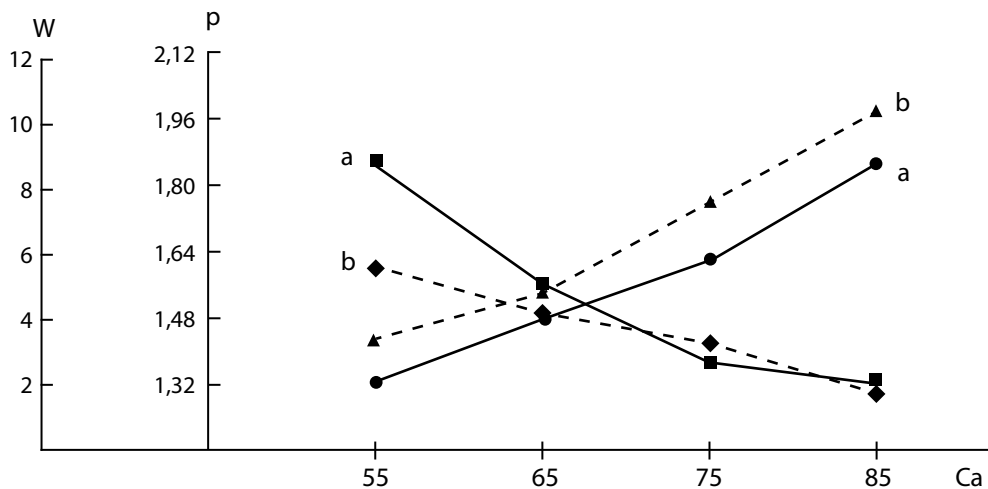


Рис. 2. Залежність густини (ρ, г/см<sup>3</sup>) та водопоглинання (w, %) зразків з Latex 2012 від концентрації андезиту Аф (a) і дисперсного Ам2 (b)

Таблиця 4.

Характеристики зразків композиту

Параметри	Композит з андезитом	
	Аф	Ам2
Загальна пористість, %	11,8 - 4,0	7,8 - 3,4
Відкрита пористість, %	8,8 - 2,4	5,4 - 1,8
Питома частка відкритих пор	0,74 - 0,60	0,69 - 0,53
Стиранність, г/см <sup>2</sup>	0,01 - 0,02	0,005 - 0,015
Модуль пружності, E, Па/мм <sup>2</sup>	44 - 83	57 - 72



2. Визначено відмінності хіміко-мінералогічного складу та гранулометрії відсівів Закарпатського андезиту як факторів впливу на показники фізико-механічних і експлуатаційних властивостей композиту.
3. Розглянуто вплив концентрації та гранулометричного складу андезиту на порову структуру та властивості композиту з полімерною матрицею. При цьому відмічено можливість підвищення абразивної стійкості отриманого матеріалу.

## References

1. *Melnyk, L.* Research of electrical properties of epoxy composite with carbon fillers. Technology audit and production. – 2017. – V. 3(1/35). – P. 1539 - 1641.
2. *Suprakas Sinha Ray, Masami Okamoto.* Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. Progress in Polymer Science. – 2003. – V. 28. – Is. 1(35). – P. 4 - 10.
3. *Sokolov, I.I., Troshkin, I.V.* Effect of the Chemical Nature of Fabric Mineral Fillers on the Properties of Polymer Composite Materials. Glass and Ceramics. – 2016. – V. 73. – Is. 5 - 6. – P. 231 - 233.
4. *Rothon, R.N.* Particulate fillers for polymers. Rapra Rev. Rep. – 2001. – P. 12:16 - 17.
5. *Мельник, Л.І.* Закономірності формування і застосування термостійких струмопровідних силоксан-графітових матеріалів. Автореферат дисертації. – 2009. – 22 с.
6. *H. Kuno.* Origin of andesite and its bearing on the Island arc structure. Bulletin Volcanologique. – 1968. – Vol. 32. – P. 141 - 176.
7. *S.S. Sarkar, S.K. Nag, S. Basu Mallik.* The origin of andesite from Rajmahal traps, eastern India: A quantitative evaluation of a fractional crystallization model. Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1989. – Vol. 37. – Is. 3 - 4. – P. 365 - 378.
8. *Черняк, Л.П.* Структурні зміни та властивості магматичних порід Західної України. Кераміка: наука і життя. – 2016. – № 4(33). – С. 4 - 12.
9. *İsmail Uzun, Serdal Terzi.* Evaluation of andesite waste as mineral filler in asphaltic concrete mixture / Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 31. – P. 284 - 288.
10. *Самошина, Е.Н., Шитова, И.Ю.* Выбор наполнителя для получения химически стойкого композита на основе серного вяжущего. Фундаментальные исследования. – Пенза: Изд. Дом «Академия Естествознания». – 2016. – № 4 - 1. – С. 107 - 111.
11. *Ulku Soydal, Suheyra Kocaman, Mustafa Esen Marti, Gulnare Ahmetli.* Study on the reuse of marble and andesite wastes in epoxy-based composites Polymer Composites. – 2018. – Vol. 39. – Is. 9. – P. 3081 - 3091.
12. Физико-химическая механика дисперсных минералов. С.П. Ничипоренко, Н.Н. Круглицкий, А.А. Панасевич, В.В. Хилько; под общ. ред. С.П. Ничипоренко. – К.: Наукова думка. – 1974. – 246 с.
13. *Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В.П. Смилга.* Адгезия твердых тел. – М.: Наука. – 1973. – 280 с.

## Rottenstone as a basis for obtaining geopolymer material

V.V. Sobchenko (ORCID 0000-0002-8575-7584), V.A. Zhaivoronok (ORCID 0000-0002-9669-2843),  
H.O. Sobchenko (ORCID 0000-0002 2411-9562)

*The Gas Institute of the NAS of Ukraine, str. Degtyarivska, 39, Kyiv, 03113, Ukraine*

*Tel.: +380962972878*

*E-mail: via\_sobchenko@ukr.net*

*Article info: received 02.09.2020, revised 25.09.2020, accepted 29.09.2020*

*Sobchenko, V.V., Zhaivoronok, V.A., Sobchenko, H.O. (2020) Rottenstone as a basis for obtaining geopolymer material 3(48), doi: 10.26909/csl.3.2020.3*

The possibility of obtaining perspective geopolymer materials for use in the building industry was shown. Geopolymer materials are used with such advantages as high strength, density, water resistance, heat and heat resistance, environmental friendliness, durability, and high corrosion resistance. The raw material is rottenstone, a rock with a high silica content, which is widespread in Ukraine. Rottenstone is characterized by a ratio of  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  equal to 16...20, which provides a high strength of the final material. It was indicated that physico-chemical processes that take place during polymerization are similar to those that take place in thin pellicles of the released  $\text{SiO}_2$  gel, cements the particles, and thus promotes hardening. As a result of the treatment of raw materials with alkali solution at temperatures of 80 - 120 °C, a monolithic solid material of olive color with a density of 1200 - 1700 kg/m<sup>3</sup>, humidity of 30 - 45 % was formed. Precipitations were observed on the surface of the material due to the presence of non-chemically bound sodium and potassium cations in the pores of the geopolymer. When dried, they diffuse to the surface of the geopolymer and are subjected to atmospheric carbonization. It was indicated that in order to obtain a high-strength geopolymer material, it is necessary to carry out final heat treatment at temperatures close to 100 °C. The behavior of geopolymer samples aged over time at room temperature during their heating was investigated. The samples of the material are melted due to the presence of  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  crystal hydrates, which melt at relatively low temperatures at 48 °C and 72 °C, respectively. The formation of building geopolymer materials should take into account this melting by placing it in molds was concluded. Indicators of moisture loss at a temperature of about 100 °C depending on the heat treatment time were obtained.

Key words: rottenstone, geopolymers, heat treatment.

## Трепел як основа одержання геополімерного матеріалу

В.В. Собченко, В.А. Жайворонок, Г.О. Собченко

*Інститут газу НАН України, Київ, Україна*

Показано можливість одержання перспективних геополімерних матеріалів для використання у будівельній індустрії. Геополімерні матеріали знаходять своє використання маючи такі переваги як висока міцність, густина, водостійкість, тепло та термостійкість, екологічність, довговічність та висока корозійна стійкість. Сировиною є розповсюджений на території України трепел, порода з високим вмістом кремнезему. Трепел характеризується відношенням  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  рівним 16...20, що забезпечує високий показник міцності кінцевого матеріалу. Вказано, що фізико-хімічні процеси, які протікають при полімеризації аналогічні тим, що проходять в тонких плівках. Гель  $\text{SiO}_2$ , що виділився, цементує частинки і таким чином сприяє твердінню. У результаті обробки сировини розчином лугу при температурах 80 - 120 °C утворюється монолітний твердий матеріал маслинового кольору густиною 1200 - 1700 кг/м<sup>3</sup>, вологістю 30 - 45 %. Спостерігається наявність висолів на поверхні матеріалу, що пояснюється наявністю в порах геополімера води та катіонів натрію і калію, хімічно з ним не зв'язаних. При сушінні вони дифундують на поверхню геополімеру та піддаються атмосферній карбонізації. Вказано, що для одержання геополімерного матеріалу високої міцності необхідно проводити кінцеву термообробку при температурах близьких до 100 °C. Досліджено поведінку витриманих у часі при кімнатній температурі зразків

геополімеру при їх нагріві. Проходить оплавлення зразків матеріалу, що обумовлено наявністю кристалогідратів  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , які плавляться при порівняно низьких температурах, при 48 °С і 72 °С відповідно. Зроблено висновок, що при формуванні будівельних геополімерних матеріалів слід враховувати це оплавлення шляхом його розміщення у формах. Одержано показники втрати вологи при температурі близько 100 °С в залежності від часу термообробки.

## Вступ

Будівництво є однією з найбільш матеріалоемних галузей. Для виробництва будівельних матеріалів в світі щорічно видобуваються мільярди тон мінеральної сировини з необхідністю використання портландцементу в якості в'язучого матеріалу. В Україні є актуальною необхідність розробки технологій виробництва вітчизняних високоякісних теплоізоляційних матеріалів з місцевої сировини для використання у будівництві.

Одним з прогресивних напрямків сучасного будівельного матеріалознавства є розробка та використання геополімерних в'язучих при виробництві високоякісних будівельних матеріалів [1, 2]. Геополімерні в'язучі одержують в результаті лужної обробки сировини природного та техногенного походження (каолінів, гірських порід, шлаків, зол ТЕС тощо).

Геополімерні матеріали мають такі переваги, як висока міцність, густина, водостійкість, тепло та термостійкість, екологічність, довговічність та висока корозійна стійкість. [2, 3] Вони розглядаються як перспективна альтернатива портландцементу. Відповідно класифікації геополімерні матеріали розділяють: геополімери на основі гірських порід, на основі золи-виносу, на основі шлаку, на основі феросилітів, на основі золи-виносу та шлаку. Davidovits J. підкреслює, що до геополімерних матеріалів можливо відносити лише ті алюмосилікати, твердіння яких активується лугами, коли відбувається синтез полімерної структури з мономерних силікатних та алюмінатних груп. [1]

Процеси утворення геополімерних матеріалів недостатньо досліджені [2]. В Україні займалися дослідженнями для створення умов розвитку геополімерних матеріалів В.Д. Глуховський, П.В. Кривенко та інші [4, 5]. При дослідженні геополімерів ставляться задачі оцінки впливу складу сировинних матеріалів і технологічних параметрів виробництва на їх фізико-хімічні та фізико-механічні властивості.

Інститутом газу НАН України проводяться дослідження процесів одержання теплоізоляційних матеріалів, в тому числі із лужноактивованої кремнеземної сировини з розробкою технологій їх виробництва [6, 7].

*Мета роботи.* Провести технологічні дослідження можливості одержання геополімерів на основі трепелу.

## Матеріали та методи дослідження

Серед сировинних матеріалів, які найбільш підходять для виробництва геополімерних в'язучих є водорозчинні силікати лужних металів. Відомо, що в природних умовах в результаті низькотемпературних гідротермальних реакцій утворюються атмосферостійкі гідроалюмосилікати – цеоліти, слюди і т.д.

Наявність природної сировини; невисока її вартість; можливість реалізації екологічно чистої і безвідходної технології отримання будівельного матеріалу; досвід досліджень матеріалів, які мають в складі кремнезем; можливість утворення водостійких з'єднань алюмосилікатів в лужних розчинах; твердження, що суміш розчину силікату натрію і доля колоїдного кремнезему в співвідношенні  $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O} = 10:1$  при 150 °С перетворюється в прозоре водостійке покриття, одержання геополімерів з найбільш високими показниками міцності забезпечується відношенням в сировині  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$  рівним 16...20 [2]. Ці факти стали основою для синтезу природного аналогу шляхом гідратації лужних і лужноземельних систем при частковому заміщенні лугів гідроксилами.

Для досліджень використано сировину трепел (на території України в наявності більше 3-х десятків розвіданих родовищ) – порода з вмістом до 75 % аморфного кремнезему (опала –  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) у виді частинок сферичної форми розміром 8 - 12 мкм, іноді 15 - 20 мкм, зцементованих тонким шаром (1 - 2 мкм) глинистої речовини, переважно, каолініту. Хімічний склад трепелу характеризується:  $\text{SiO}_2 - 79...85\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 5...6,7\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2,3...3,7\%$ ,  $\text{CaO} + \text{MgO} - 1,5...4,5\%$ . У трепелі присутні уламки кварцу розміром до 200 мкм у кількості близько 15 % і незначна кількість магнетиту.

Найбільш ефективно процес полімеризації протікає при PH-8, тому одержання геополімеру здійснювалося інтенсивним перемішуванням трепелу з водним розчином каустичної соди 42 - 48 % концентрації при температурі 80 - 120 °С протягом 15 - 30 хв. [8]. Далі проходить процес охолодження. У результаті утворюється матеріал у вигляді монолітної однорідної твердої маси маслинового кольору густиною 1200 - 1700 кг/м<sup>3</sup>, вологістю 30 - 45 %, що містить у собі кристалогідрати типу  $\text{Na}_2\text{O}\cdot m\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ . В ньому присутня також певна кількість непрореагованих частинок трепелу роз-

міром 0,5 - 2 мм. Фото одержаного матеріалу представлено на рис. 1.



Рис. 1. Фото одержаного гідросилікатного матеріалу

Дослідженнями [6] визначено, що в складі одержаного матеріалу 80 % води знаходиться в сорбованому стані, 19 % – хімічно зв'язана вода (кристалогідратна), 1 % – механічно включена. Матеріал являє собою ламку масу, що легко подрібнюється та плавиться навіть при адсорбції вологи повітря. Проходить поступове видалення рідкої фази – зневоднювання.

Повне видалення води зазвичай проходить після їх нагріву до температур більше 900 - 1000 °C чи довгої витримки [8]. Паралельно з дегідратацією проходить карбонізація, хоча і швидкість цього процесу досить мала і залежить від силікатного модуля. Швидкість карбонізації зростає з зменшенням силікатного модуля. Фізико-хімічні процеси, які протікають при полімеризації аналогічні тим, що проходять в тонких плівках: гель  $\text{SiO}_2$ , що виділився, цементує частинки і таким чином сприяє твердінню. Зразки одержаного матеріалу досліджувалися після витримки при кімнатній температурі. При візуальному огляді є присутність непрореагованих частинок трепелу розміром не більше 0,5 мм та наявність висолів на поверхні матеріалу. Поясненням є те, що в порах геополімера присутня вода та катіони натрію і калію, хімічно з ним не зв'язані. При сушінні вони дифундують на поверхню геополімеру та піддаються атмосферній карбонізації.

### Результати та їх обговорення

Концентровані розчини неорганічних полімерів нестійкі. Вони утворюються з виділенням гелів або перетворюються в коагуляти. Факторами, які обумовлюють процеси полімеризації є температура, рН, хімічна реакція тощо. Плавлення лужних роз-

чинів – це утворення полімерів з силікатних іонів чи молекул  $\text{SiO}_2$ , які конденсуються до формування частинок аморфного кремнезему. В'язучі властивості матеріалу визначаються полісилікатіонами, концентрація яких росте з збільшенням відношення  $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ . Процес конденсації закінчується затвердінням неорганічного полімеру.

Розрізняють два етапи розм'якшення: умовне і фактичне плавлення. Умовне плавлення обумовлене адсорбцією вологи повітря. Фактичне плавлення зв'язане з нагрівом геополімеру. В чистому вигляді матеріал при контакті з водою в неї не переходить, але проходить послаблення зв'язків між колоїдними частинками при нагріванні. Дійсно, при нагріванні до 100 °C матеріал починає розм'якшуватися, але не розтікається під власною вагою. В [2] показано, що міцність на стиск висушених зразків гідросилікату (при 105 °C на протязі 24 годин) вище, ніж міцність зразків без сушіння. Це пов'язано з тим, що сушіння при вказаній температурі прискорює швидкість дегідратації та геополімеризацію переходом гелю гідросилікату в кристалічну форму. До основних факторів, які впливають на міцність зразків геополімеру відносять час та температуру твердіння.

Для контролю розм'якшення зразка при його нагріві було виготовлено прилад. Схема приладу представлена на рис. 2. Для фіксації величини розм'якшення зразків і процесу спучування вага штока індикатора була зменшена до 1...2 г. Нагрів зразка геополімеру відбувався з швидкістю 7 - 10 °C/хв. При нагріві циліндричного зразка діаметром 5 мм і висотою близько 5 мм, вирізаного з глиби порожньої тили свердлом, починаючи з 50 - 60 °C проходить інтенсивний процес розм'якшення. З рис. 3 видно, що розм'якшення зразків не припиняється і при температурі більше 100 °C.

Це свідчить, що процес розм'якшення зразка обумовлений наявністю в геополімері кристалогідратів, які плавляться при порівняно низьких температурах. Наприклад,  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$  плавиться при 48 °C, а  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – при 72 °C [8].

Під тиском ваги штоку індикатора оплавлення матеріалу зразка (зменшення по висоті) закінчується при температурі  $\approx 135$  °C. Потім фіксується різкий підйом штоку – спучування деформованого (бочкоподібного) зразка і утворення сфери практично правильної форми. Після завершення процесу спучування при 150 - 160 °C проходить повторне опускання штоку, тобто зразок стає в'язким до температур близько 200 °C.

В таблиці 1. приведені результати втрати вологи зразка при 100 - 105 °C в залежності від часу термообробки в інтервалі 15 - 300 хв. Після 15 хв. термообробки в неоднорідній ізотропній фазі фіксується наявність дрібних кристалів, близьких до криста-

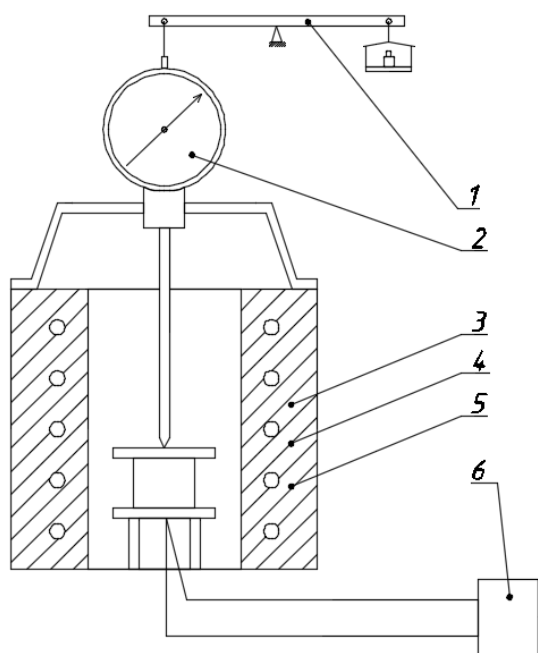


Рис. 2. Схема приладу для контролю розм'якшення зразка при його нагріві: 1 – ричаг-коромисло; 2 – індикатор; 3 – піч (електронагрівник); 4 – дослідний зразок; 5 – термоелектричний перетворювач; 6 – потенціометр

логідратів  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , а інший вид ідентифікується як  $\text{NaOH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Збільшення часу витримки зразків призводить до гомогенізації матеріалу. При витримці близько 300 хв візуально зникають скупчення відносно крупних кристалів  $\text{NaOH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Вважається, що проходить перекристалізація.

Нагрівання геополімеру при більш високих температурах супроводжується подальшою перекристалізацією гідросилікатів натрію з одночасною втратою води ізотропною фазою, що покращує водостійкість кінцевого матеріалу. Повне видалення води фіксується при температурі порядку  $550\text{ }^\circ\text{C}$ , а при температурі  $600\text{ }^\circ\text{C}$  – матеріал перетворюється в пористе скло.

Таблиця 1.

Втрата маси матеріалу від часу термообробки при температурі близько  $100\text{ }^\circ\text{C}$

Час, хв.	15	30	120	180	300
Втрата маси, %	14	15,55	20,93	22,48	23,34
	15,69	19,35	23,7	25,1	24,17
	12,2	17,43	21,86	23,83	24,77

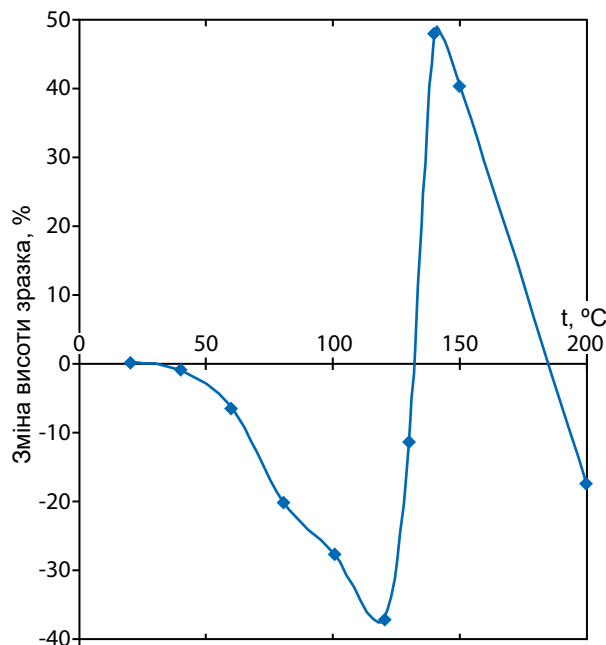


Рис. 3. Крива розм'якшення і спучування зразка геополімеру в залежності від температури нагрівання

## Висновки

Показана можливість одержання геополімерів на основі трепелу. При синтезі атоми кремнію та алюмінію створюють міцні розгалужені мережі  $\text{Si-O-Al-O}$ , завдяки яким матеріал має високі фізико-механічні властивості. Досліджено зразки витриманого в часі матеріалу при їх нагріві та одержано показники втрати вологи. Показано, що для одержання геополімерного матеріалу високої міцності необхідно проводити кінцеве термооброблення при температурах близьких до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Досліджено процес плавлення матеріалу та втрати вологи при вказаній температурі.

**References**

1. *Davidovits, J.* Geopolymer chemistry and applications // 3rd edition. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer. – 2011. – 614 p.
2. *Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин.* Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов. – Пенза: ПГУАС. – 2014. – 128 с.
3. *Корнеев, В.И.* Перспективы развития общестроительных вяжущих веществ. Геополимеры и их отличительные особенности / В.И. Корнеев, А.С. Брыков // Цемент и его применение. – 2010. – № 2. – С. 51 - 55.
4. *Глуховский, В.Д.* Вяжущие композиционные материалы контактного твердения / В.Д. Глуховский, Р.Ф. Рунова, С.Е. Максумов. – К: Вища школа. – 1991. – 243 с.
5. *Кривенко, П.В.* Щелочные алюмосиликатные полимеры / П.В. Кривенко, Ж.В. Скурчинская, О.А. Бродко, Г.В. Желудков // Материалы для строительных конструкций. 1СМВ'94: тез. докл. III междунар. науч. конф. – Днепропетровск. – 1994. – С. 13.
6. *Эйне, И.А., Хвастухин, Ю.И.* Кремнезит – новый энерго- и ресурсосберегающий строительный материал // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – №5, – С. 13 - 18.
7. *Костогриз, К.П.* Розвиток технології термічної обробки дисперсних матеріалів / Костогриз К.П., Хвастухін Ю.І., Орлик В.М., Собченко В.В., Максимук О.Б. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2019. – № 4. – С. 47 - 59.
8. *Г.В. Куколев.* Химия кремния и физическая химия силикатов. – М.: Высшая школа. – 1966. – 464 с.

## **Technological properties of porous concrete autoclave and non-autoclave hardening**

O.M. Nedbailo (0000-0003-1416-9651), O.G. Chernyshyn (0000-0001-7702-894X)

*The State Enterprise "Engineering Center "Drying"" Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine  
Tel.: +380444240279, tel./fax +380444243283  
E-mail: icsushka@gmail.com*

*Article info: received 17.09.2020, revised 28.09.2020, accepted 30.09.2020*

*Nedbailo, O.M., Chernyshyn, O.G. (2020) Technological properties of porous concrete autoclave and non-autoclave hardening 3(48), doi: 10.26909/csl.3.2020.4*

Some aspects of resource saving problem in the process of construction of heated construction installations are considered in the paper, also heat transfer problem in porous concrete. Is paid attention to necessity of application with mass construction of habitation of products from porous concrete, first of all – products from of cellular concrete.

In article the basic requirements of the standard documents regulating constructive properties of various building materials, including various concrete are analyzed.

The design a warm wall on the basis of products from porous concrete is considered. Its advantages in comparison with known designs of warm walls are shown.

In article changes of technological properties of various building materials are considered at influence on them of a moisture. The analysis of the standard-regulating documents, concerning operational qualities, concerning reliability and durability of designs is carried out.

The basic technical properties gas-concrete non-autoclave solidification on the basis of a waste stone machining are analyzed. Results of researches technology indicators cement cellular concrete non-autoclave solidification with offered filling material are resulted.

Key words: porous concrete autoclave, gas-concrete non-autoclave solidification.

## **Технологічні властивості пористого бетону автоклавного та неавтоклавного твердіння**

О.М. Недбайло, О.Г. Чернишин

*Державне підприємство «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна*

У статті розглянуті деякі аспекти проблеми економії ресурсів у процесі будівництва опалювальних будівельних установок, а також проблему теплопровідності в пористому бетоні. Звертається увага на необхідність застосування при масовому будівництві житла виробів з пористого бетону.

Проаналізовані основні вимоги типових документів, що регулюють технологічні властивості різних будівельних матеріалів, включаючи різні бетони. Розглядається конструкція теплої стіни на основі виробів з пористого бетону. Показані його переваги в порівнянні з відомими конструкціями теплих стін.

В роботі розглядаються зміни технологічних властивостей різних будівельних матеріалів при впливі на них вологи. Проведений аналіз нормативно-правових документів, що стосуються експлуатаційних якостей, щодо надійності та довговічності конструкцій.

Проаналізовані основні технологічні властивості газобетону неавтоклавного твердіння на основі механічного оброблення відходів. Наведені результати досліджень технологічних показників пористих бетонів автоклавного та неавтоклавного твердіння.

## Умовні позначення та скорочення

ГАТ – газобетон автоклавного твердіння; РФ – рідка фаза; КМО – комплект мобільного обладнання; МЗ – мікрозаповнювач; КР – коефіцієнт розм'якшення; ЦГБ – цементний газобетон; ЦПБ – цементний пінобетон.

## Вступ

Один з логістичних напрямків в області практичного енергозбереження пов'язаний із масовим застосуванням виробів з пористих композиційних матеріалів, зокрема – пористих бетонів. Пористі бетони – необпалювані (з температурою структуроутворення  $T < 573$  К), тверді композиційні матеріали із загальною пористістю не менше 50 %.

Пористі бетони застосовують в: енергоефективному, наприклад, житловому будівництві із заданим рівнем опору теплопередачі огорожувальних конструкцій  $R_t$  [1]; будівництві зі зменшеною матеріаломісткістю; теплових агрегатах.

До пористих відносять бетони на основі, як правило, мінеральних в'язучих речовин, що містять газоповітряні (газобетони) або піноповітряні (пінобетони) пори. Визначення показників пористих бетонів наведені також в роботах [2, 3].

Мета роботи полягає у аналізі технологічних властивостей пористого бетону автоклавного та неавтоклавного твердіння та їхній систематизації.

## Матеріали та методи дослідження

Як правило, практичними технологами, під макроструктурою розуміється система будови пористого бетону із розподілом пір за розмірами, що візуально оцінюється. Пори в бетонах можна класифікувати, наприклад, за розмірами (таблиця 1).

До огорожувальних конструкцій, наприклад, стінових і, відповідно, пористих бетонів висувається комплекс технічних і теплофізичних вимог. Найбільш важливими є такі критерії: міцність при різних видах деформацій, середня щільність у сухому стані  $\rho$ ;  $R_p$ , паропроникність (оцінюється ко-

ефіцієнтом паропроникності  $F$ ; за європейським стандартом EN771-4-2003 «Вимоги до будівельних блоків з автоклавного ніздрюватого бетону» регламентується і коефіцієнт дифузії водяної пари), експлуатаційна вологість  $W_c$ , сорбційна вологість  $W_s$ , морозостійкість  $M$ , ступінь ізотропності (характеризується ненормативним коефіцієнтом анізотропії  $A_j$ ) і ступінь однорідності (характеризується ненормативним коефіцієнтом однорідності  $D_j$ ) параметрів якості, усадка (карбонізаційна і при висиханні  $U$ ), теплопровідність  $\lambda$ , коефіцієнт розм'якшення КР, звукоізоляція, звукопоглинання, набухання, повзучість, повітропроникність, вогнестійкість.

До умовної групи «бетони автоклавного твердіння» можуть бути віднесені бетони, довговічна мікро(нано)структура яких формується тільки в процесі синтезу мінеральних новоутворень при підвищених тиску і температури в апаратах – автоклавах (посудинах, що працюють під тиском 1,0 - 1,4 МПа). Відзначимо, що термін «довговічність» вимагає визначення і конкретизації (в т.ч. в документації є тільки один стандартизований параметр довговічності – морозостійкість).

Не всі істотно значимі параметри якості нормовані в стандартах на бетони та вироби. Виготовлення пористих бетонів з необхідними фізико-технічними властивостями можливе при здійсненні промислових технологічних процесів, що включають хімічні та/або силові дії на сировинні матеріали та/або формувальні суміші, що призводять до отримання дисперсних систем з необхідною хімічною активністю. Обов'язкова активація сировинних компонентів сприяє формуванню мікро(нано)структури пористих бетонів, що характеризується підвищеними міцністю при стисканні  $R$ ,  $M$ ,  $D$ , ступенем ізотропності, зменшеними  $W_c$ ,  $\lambda$  і  $U$  [1, 4 - 7].

Таблиця 1.

Орієнтовна класифікація пір в бетонах

Різновид пір	Розмір пір $d$ , мкм	Походження пір (приблизні методи дослідження)
Мікро(нано)пори	$< 0,1$	Контракційні, капілярні пори (адсорбційні методи, ртутна порометрія)
Мезопори	$0,1 - 100$	Перехідні (проміжні) пори: контракційні, капілярні (адсорбційні методи, ртутна, гідравлічна порометрії)
Макропори	$> 100$	Газо-, піно-, газопінопори, повітряні пори (мікроскопічний аналіз, візуальна оцінка)



В країнах близького закордону виробли з пористих бетонів виготовляють, в основному, за різальною (т.зв. «струнною») технологією у вигляді збірних неармованих малорозмірних блоків з газобетону автоклавного твердіння (СТБ 1117-98 «Блоки з ніздрюватих бетонів стінові. Технічні умови», ГОСТ 21520-89); в європейській науково-технічній літературі - Autoclaved Aerated Concrete (AAC). Якісні пористі бетони мають прийнятне для будівельників співвідношення між параметрами  $\rho$  і  $R$ .

Блоки (монтажні елементи) можуть бути: призматичної форми, з пазогребінною конструкцією стиків, з отворами («кишенями») для захоплення, зі шпонками [8].

Сучасні технічні вимоги до виробів з AAC викладені в СТБ EN771-4 «Вимоги до будівельних блоків. Будівельні блоки з автоклавного ніздрюватого бетону», DIN4165 «Газосилікатні блоки і плоскі камені», DIN EN771-4 «Положення по будівельній цеглі. Блоки з пористого бетону» [8].

У технологіях виробництва бетонів автоклавного і неавтоклавного твердіння реалізовані різні принципи структуроутворення, тому ці бетони мають відмінні властивості. При цьому, якщо у газобетонів автоклавного твердіння (ГАТ) процес твердіння закінчується після закінчення автоклавовання, то, наприклад, в цементних газобетонах (ЦГБ) або цементних пінобетонах (ЦПБ) процес твердіння і набуття міцності носить довготривалий характер (практично до 2 років). Однак в цей період в умовах напруженого стану («передчасне» навантаження конструкцій) в ЦГБ і ЦПБ мають місце і деструктивні процеси.

Природа адгезійного зв'язку між цементуючою матрицею і мікрозаповнювачем (МЗ) у ГАТ, ЦГБ і ЦПБ різна [1]. У ЦГБ і ЦПБ можливе застосування в якості МЗ не тільки меленого кварцового піску, а й інших гірських порід і техногенних продуктів (шлаки, відходи каменевидобування і т.д.).

Технології виробництва виробів з пористих бетонів автоклавного і неавтоклавного твердіння – напрямки, що інтенсивно розвиваються. Діють, наприклад, стандарти ДСТУ Б В.2.7-45-96 «Бетони ніздрюваті, СТБ 1117-98 «Блоки з ніздрюватих бетонів стінові» та ін., в яких викладені вимоги до ніздрюватих бетонів автоклавного (в основному – до ГАТ-ААС) і неавтоклавного (в основному - ЦГБ і ЦПБ) твердіння і виробам з них.

В Україні, що практично не має в т.ч. промислового виробництва виробів з пористих бетонів, стрімко розвиваються непромислові способи виробництва виробів з ЦГБ і ЦПБ з незадовільними будівельно-технічними властивостями (застосовується обладнання, що має технічний рівень, що не піддається оцінюванню).

Внаслідок дефіциту якісних виробів з ГАТ ці ж неперспективні способи отримують розвиток і в Росії. Створено ряд машин і механізмів у вигляді комплектів мобільного обладнання (КМО) з річною продуктивністю до 40 тис. неармованих стінових блоків [1]. Очевидно, що серед пористих бетонів масового виробництва альтернативи ГАТ, як якісним стіновим і теплоізоляційним матеріалами немає і, в найближчому майбутньому, виходячи з досягнутого рівня світових знань в області пористих бетонів, не передбачається.

## Результати та їх обговорення

В останні роки виконаний ряд теоретичних і експериментальних досліджень, в яких запропоновані загальні якісні моделі міцності, теплопровідності і усадки пористих бетонів, розроблені технічні рішення збірних перегородок і теплих стін, а також отримали подальший розвиток технологічні прийоми по виробництву неавтоклавних цементних ніздрюватих бетонів з покращеними фізико-технічними властивостями [1, 4]. Показано, що можливе отримання ЦПБ з задовільними будівельно-технічними властивостями, зокрема – усадкою при висиханні.

Усадка як фізико-хімічний процес полягає в тому, що деформація цементуючої матриці відбувається не внаслідок наявності зовнішнього силового впливу, а є результатом досить тривалих процесів перетворення клінкерних фаз в кристалогідратні з'єднання в середовищі з певним газовим складом. Усадка супроводжується масообміном (зменшенням вмісту РФ) і загальної структурною перебудовою, глибина якої залежить від ступеня завершеності мікро(нано) структуроутворення штучного каменю [1].

Відомо, що ГАТ автоклавного походження, внаслідок практичної відсутності гелеподібної складової, схильні до усадки і набухання в меншій мірі, ніж ЦГБ – продукти гідратації мінералів клінкеру (має місце  $U \rightarrow U_{\min}$ ) [1 - 3]. Причиною підвищеної усадки бетонів неавтоклавного твердіння (ЦГБ і ЦПБ) є наявність підвищеної кількості аморфної колоїдної фази цементного каменю. Автоклавне оброблення сирцю перетворює таку фазу в кристалічну [3].

Процес усадки є руйнівним (в критичній ситуації ( $U > U_{\text{кр}}$ )). При цьому утворюються усадочні тріщини, що призводять до втрати бетоном несучої здатності в будівельних виробках певних критичних розмірів  $N$ .

У загальному випадку можна записати [1, 6]

$$U = \varphi(\rho, n, N, C, L, D_i, A_u),$$

де  $n$  – об'ємна доля цементуючої речовини;  $L$  – умовні параметри середовища експлуатації виробів;

$D_p$ ,  $A_u$  – коефіцієнти однорідності мікроструктури і анізотропії усадки (параметри якості суміші і бетону).

Теорія поверхневих сил в т.ч. не дозволяє робити точні розрахунки значень  $U$  і параметрів набухання виробів з пористих бетонів [1]. Не розроблена і методика розрахунку значень  $N = N_{\min}$ . Для забезпечення усадки  $U \leq U_{\text{кр}}$  необхідно насамперед при заданому значенні  $\rho$  зменшити, наприклад, в ЦГБ або ЦПБ кількість негідратованих частинок цементу. При  $n \rightarrow n_{\min}$  матиме місце не тільки підвищення  $R$  бетону, але і зменшення швидкості процесу усадки, що, в загальному випадку, залежить перш за все від факторів  $\rho$ , і  $L$ , і має найбільше значення у теплоізоляційних виробів.

Швидкість процесу усадки істотно залежить і від температури середовища експлуатації. Зменшення контракції можливо, якщо в процесі виробництва, наприклад, цементовмісних бетонів буде забезпечена висока якість суміші завдяки фізико-хімічній активації сировини [1, 4 - 8]. Крім усадки при висиханні має місце і недостатньо вивчена карбонізована усадка пористих бетонів (практично – карбонізаційне набухання).

У таблиці 2 наведені приблизні дані про властивості пористих бетонів автоклавного і неавтоклавного тверднення при  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$  (МЗ – кварцовий пісок, активований в кульовому млині). Слід зазначити, що криві повзучості ЦГБ і ЦПБ при різних напружених станах бетону в діапазоні температур  $233 \text{ К} < T < 313 \text{ К}$  практично не встановлені.

Номенклатура і області застосування виробів з ГАТ значно ширші, ніж у виробів з ЦГБ і ЦПБ, що можна застосовувати в енергоефективному та господарському будівництві з деякими відомими обмеженнями [1, 4 - 6].

При виготовленні продукції з ГАТ використовують комплекти обладнання, що дозволяють отримувати якісні збірні вироби з необхідними фізико-технічними властивостями. Разом з тим, на цьому ж обладнанні можливе отримання збірних виробів, наприклад, стінових блоків і з цементного пористого бетону неавтоклавного твердіння (деякі європейські фірми виробляють ГАТ без застосування вапна).

Наразі в Україні в Київському національному університеті будівництва та архітектури виконуються науково-практичні роботи, кінцевою метою яких є приведення існуючої нормативно-регуляторної документації у відповідність до основних положень гармонізованих стандартів Євросоюзу EN 771-4: 2003 і EN +1745: 2002 (Е), що діють в країнах, що входять в Європейську асоціацію виробників автоклавного ніздрюватого бетону (The European Autoclaved Aerated Concrete Association) [8]. Найбільш розвинену нормативну базу і високий

технічний рівень виробництва виробів з ГАТ має Республіка Беларусь.

Виходячи з відмінностей у фізико-технічних характеристиках (таблиці 2 і 3) і областей ефективного застосування доцільним є створення розвинутої незалежної (роздільної) нормативної бази для організації виробництва виробів з автоклавних і неавтоклавних пористих бетонів.

При оцінюванні якості пористих бетонів визначення марки за міцністю допустимо проводити не тільки шляхом випробування зразків бетону, але і шляхом випробування кінцевої продукції: блоків, плит (наприклад, стінових блоків і теплоізоляційних плит з цементного перлітобетону з  $\rho = 300 - 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

З огляду на функціональне призначення виробів з пористих бетонів, основним параметром якості слід вважати  $\rho$ , тому що цей показник в цілому корелює з теплопровідністю бетону. Прагнення щодо досягнення заданої міцності, як основного параметра якості, може призвести до зменшення обсягів виробництва виробів з бетону з  $\rho < 500 \text{ кг/м}^3$ . За проектні параметри пористого бетону доцільно приймати:  $R = R_{\min}$ ,  $\rho = \rho_{\min}$ ,  $U = U_{\max}$ .

## Висновки

1. Пористі бетони володіють такими фізико-технічними і теплофізичними властивостями, що дозволяють прогнозувати розвиток номенклатури армованих і неармованих збірних виробів і зростання обсягів їх використання в індустріальному будівництві. Якісні пористі бетони неавтоклавного твердіння при раціональному індустріальному їх виробництві та цільове використання можуть, як і ГАТ, вирішувати завдання в області енергоресурсозбереження в будівництві [10, 11].
2. Нормативна база для виробництва пористих бетонів автоклавного і неавтоклавного твердіння, а також відповідних армованих і неармованих виробів повинна бути незалежною (роздільною, окремою) і сприяти розвитку різальної (струнної) технології.
3. З метою виключення дискредитації пористого бетону слід регламентувати його щільність ( $\rho > 1400 \text{ кг/м}^3$ ) для влаштування одношарових перегородок (внутрішніх стін) товщиною 80 - 100 мм. Морозостійкість, теплопровідність і паропроникність пористого бетону для влаштування внутрішніх стін і перегородок енергоефективних (опалювальних) об'єктів не слід нормувати.
4. Кінцева мета аналізу матеріалів статті полягає в пошуках шляхів зменшення енерговитрат в сфері виробництва при забезпеченні задовільної якості (за параметрами зовнішнього вигляду і відтворюваності (точності) розмірів) виробів, в тому числі, з ГАТ,

Таблиця 2.

Порівняльні властивості пористих бетонів автоклавного і неавтоклавного твердіння при  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ 

Параметри якості	Значення параметрів (рангів - балів) в бетонах			Наявність стандартизованої методики випробування (оцінки параметра)
	Газобетони автоклавного твердіння на вапняно-цементному в'язучому	Цементні газобетони неавтоклавного твердіння	Цементні пінобетони неавтоклавного твердіння	
Міцність при стисканні	1,0	0,9	0,8	є
Розчинність бетону в воді (вихід CaO)	водостійкий	водостійкий	не водостійкий	-
Усадка при висиханні	0,7	0,9	1,0	є
Набухання	0,8	0,9	1,0	-
Повзучість при лінійному напруженому стані ( $T = 293 \text{ K}$ )	0,8	0,9	1,0	-
Однорідність щільності бетону при висоті масиву до 600 мм	0,9	0,9	1,0	-
Анізотропія міцності і теплопровідності	1,0	1,0	0,8	-
Адгезія (зчеплення) з захисно-декоративним покриттям	1,0	1,0	0,9	-
Сорбційна вологість	1,0	1,0	0,9	є
Морозостійкість	1,0	0,9	0,8	є
Тривалість набирання сирцем міцності перед розрізанням масиву	0,6	0,8	1,0	є
Твердіння масиву-сирцю у природних умовах	недопустимо	допустимо	допустимо	
Загальна енергоємність технологічного процесу	1,0	0,7	0,7	

Примітки: 1. Вказані властивості пористих бетонів в неармованих виробках. 2. Дані порівняння про карбонізаційну усадку відсутні.

Таблиця 3.

Результати експериментів щодо оцінювання розчинності в воді (переходу в рідку фазу) структуроутворюючих компонентів пористих бетонів

Вид пористого бетону	Вік бетону	pH рідкої фази через 2 години після контакту бетону з водою (рН = 7)
Автоклавний газобетон Обухівського заводу, $400 < \rho < 700 \text{ кг/м}^3$	1 рік 10 років	7 7
Неавтоклавний цементний пінобетон, $300 < \rho < 1000 \text{ кг/м}^3$	2 міс. 1 рік 5 років	12-13 11-12 11-12
Неавтоклавний цементний пінобетон з додаванням відходів виробництва спученого перлітового піску (активна мінеральна домішка), $500 < \rho < 800 \text{ кг/м}^3$	2 міс. 1 рік 3 роки	11-12 11-12 11-12
Автоклавний газобетон Миколаївського комбінату силікатних виробів, $\rho = 720 \text{ кг/м}^3$	25 років	7

ЦГБ та ЦПБ. Інші параметри якості будуть залежати від виду застосованих сировинних матеріалів і способу тужавлення масиву – сирцю після розрізання (пропарювання, автоклавування при 0,1 - 0,2 МПа). Не виключено, що при приготуванні якісної сировинної суміші (вихідна суха, механоактивована цементно-піщана суміш, додатково активована в складі формувальної суміші) знайдуть застосування і нетрадиційні для газобетонних технологій способи активації сировини, засновані на розробленому в ІТТФ НАН України методі дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ).

5. Виробництво стінових, теплоізоляційних і перегородкових збірних виробів на основі ЦПБ з необхідним рівнем фізико-технічних властивостей може бути організовано за різальною технологією шляхом застосування уніфікованих КМО модульно-блокового виконання з продуктивністю до 50 тис. м<sup>3</sup>/рік (форми об'ємом до 2,0 м<sup>3</sup>, масив висотою не більше 900 мм, розрізання сирцю на піддоні, наявність підрізного шару і т. і.).

## References

1. *Опекунов, В.В.* Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві. – К.: АБУ. – 2006. – 85 с.
2. *Сажнев, Н.П., Гончарик, В.Н., Гарнашевич, Г.С.* Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика. – Мн.: Стринко. – 2004. – 384 с.
3. *Горайнов, К.Э., Горайнова, С.К.* Технология те-

плоизоляционных материалов и изделий. – М: Стройиздат. – 1982. – 376 с.

4. *Опекунов, В.В.* Конструкционно-теплоизоляционные бетоны. – К.: Академперіодика. – 2002. – 270 с.
5. *Опекунов, В.В., Лысов, В.П., Голубев, Н.М.* Пористые бетоны и области их применения // Вестник Белорусского национального технического университета. – Минск: БНТУ. – 2005. – вып.1. – С. 10 - 17.
6. *Опекунов, В.В.* Эффективное применение пористых бетонов. – Строительные материалы. – 2005. – №12, – С. 25 - 28.
7. *Опекунов, В.В.* Прочность, однородность и анизотропия свойств пористых бетонов. – Строительные материалы. – 2006. – №11. – С. 17 - 21.
8. *Галкин, С.Л., Сажнев, Н.П., Соколовский, Л.В.* Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика. – Мн.: Стринко. – 2006. – 448 с.
9. *Опекунов, В.В.* Нормативна база та властивості пористих бетонів // Будівництво. Наука. Проекти. Економіка. – 2007. – № 41(8). – С. 41 - 44.
10. Патент № 26424 на корисну модель, Україна, В28С5/00. Обладнання для виготовлення виробів з ніздрюватого бетону неавтоклавного тужавлення / В.В. Опекунов (Україна). - № u2007 02923; заявлено 20.03.07; опубл. 25.09.2007, Бюл. №15. – 2 с.
11. *Паплавскис, Я.М.* Создание нормативно-технической базы для применения ячеистобетонных изделий // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: 36. наук. праць. – К.: НДІБМВ. – 2007. – вып. 24. – С. 55 - 58.

## **Вимоги до оформлення статей в міжнародному науково-виробничому журналі «КЕРАМІКА: наука і життя»**

**Тематична спрямованість журналу:** стан і проблеми сучасних науки і виробництва в області розроблення, виготовлення і впровадження енергоощадних інноваційних технологій при виробництві керамічних виробів.

Всі матеріали статей, для подальшої роботи з ними, повинні подаватися до редакції обов'язково в друкованому та електронному ідентичних виглядах.

Статті, що публікуються в спеціалізованому журналі, повинні містити наступні елементи українською та англійською мовами:

- Назва статті (без використання абревіатур)
- Автор(и): І.П. Прізвище, особистий номер ORCID власного профілю
- Повні офіційні назви організації(й), міст(а), країн(и), що представляють автор(и)
- Резюме
- Посилання
- Текст статті, в якому слід дотримуватися приблизної структури:
  - **Вступ**  
(постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями, аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковане розв'язання даної проблеми, і на яких базується автор)
  - **Мета роботи**  
(постановка завдання, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується означена стаття)
  - **Матеріали та методи**
  - **Результати та їх обговорення**  
(Основний матеріал дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів)
  - **Підсумки (або висновки)**
  - **Перспективи подальших досліджень**
  - **Перелік посилань (літературні джерела)**

Розмір рукопису не повинен перевищувати 20 сторінок матеріалів формату А4 (210x297 мм). У це входять: основний текст, формули, таблиці, рисунки і підписи до них, перелік посилань.

Наполегливо рекомендується використовувати для оформлення матеріалів текстові редактори MS Word (розширення файлів \*.doc, \*.docx) для Windows будь-якої версії, шрифт Times New Roman розміром 12 пт, полуторний інтервал поміж рядками тексту з полями: верхнє, нижнє і праворуч - 1,5 см, ліворуч - 2,5 см.

При використанні одиниць вимірювання необхідно дотримуватися Міжнародної системи одиниць вимірювань (СІ). Формули повинні бути відділені від основного тексту та пронумеровані праворуч від них в круглих дужках. Латинські символи повинні друкуватися курсивом, грецькі прямими.

Для подачі до редакції оригінал тексту рукопису повинен бути надрукований на лазерному або струменевому принтерах з роздільною здатністю не нижче 600 dpi з одного боку аркуша на якісному білому папері формату А4 в наступному вигляді:

**На першій сторінці статті:**

1. **Назва статті** (по середині сторінки).
2. **І.П. Прізвище(а) автора(ів)** статті, номер(и) ORCID, назва(и) організації(й), в якій(их) виконані дослідження або роботи, Назва статті – українською та англійською мовами.
3. **Резюме українською та англійською (не менше 1800 друкованих символів) мовами.** Автори несуть відповідальність за відповідність та якість перекладу. Резюме повинні бути лаконічними.

Всі **позначення і скорочення**, за необхідністю, виносяться з тексту в **список позначень**. Позначення розташовуються в алфавітному порядку: спочатку латинські, потім грецькі, верхні і нижні символи та індекси. При використанні в тексті скорочених назв необхідно надати їх розшифровку в списку.

**Рисунки.** У статті можуть бути представлені **не більше 10 рисунків (фото)**, що включають рисунки з позначеннями «а», «б» і т.д. Всі рисунки повинні мати порядковий номер і посилання на них в тексті. Якість рисунків повинна забезпечувати можливість їхнього поліграфічного відтворення без додаткової обробки. Фізична розподільча здатність рисунка в файлі рукопису при цьому має бути не нижче 300 ррi. Всі позначення на рисунках супроводжуються поясненнями в тексті або в підписах до малюнків.

**Таблиці.** Кожна таблиця повинна бути чітко розграфлена, мати порядковий номер, на який попередньо надається посилання в тексті.

**Перелік посилань** (літературні джерела) наводиться в кінці тексту. Їх список складається в порядку згадування цитованого джерела в тексті. У матеріалах статті посилання вказуються в прямих дужках після згадуваних запозичених даних.

Кожне джерело слід оформляти згідно діючого ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання». Бібліографічні посилання потрібно вказувати транслітерацією латинськими символами.

До рукопису додаються:

- **оригінал акта експертизи** про можливість опублікування статті в пресі для громадян України, що завірений круглою печаткою організації, де проводилася експертиза;
- **зовнішня рецензія** про актуальність роботи і відповідність її тематичній спрямованості журналу з обов'язковим зазначенням наукового ступеня і вченого звання рецензента, що завірена печаткою організації, яку представляє рецензент;
- **відомості про авторів** (Прізвище Ім'я По-батькові, ORCID, науковий ступінь, вчене звання, посада, організація, **адреса, контактні телефони та e-mail**).

Матеріали рукопису з усіма додатками можуть бути надіслані поштою, e-mail або доставлені особисто автором за адресою до редакції.

Редакція залишає за собою право проводити скорочення і несуттєві редакційні правки статей. Орієнтовний термін публікації статті встановлює відповідальний секретар редакції.

**Відповідальний секретар:** д.т.н., с.н.с. Недбайло Олександр Миколайович.

**Адреса редакції:** вул. Булаховського, 2, корпус 2, м. Київ, 03164, ДП «ІЩ «Сушка»», Україна.

**Тел.** +380444240279, тел./факс +380444243283.

**E-mail:** icsushka@gmail.com

## Requirements for registration of articles in international scientific and industrial journal «CERAMICS: Science and Life»

**Thematic orientation of journal:** state and problems of modern science and industry in the development, manufacturing and introduction of energy-saving innovative technologies in the production of ceramic products.

All material items, for further work with them, must be submitted to the editors necessarily identical print and electronic forms.

Articles published in the specialized journal should contain the **following elements in the Ukrainian and English:**

- Title of the article (without use of abbreviations)
- Author(s): Initials and Surname, ORCID
- Full official name of the organization(s), town(s), country(ies), which the author(s)
- Abstract (Summary)
- References
- Text of the article, which should follow the structure of an example:
  - **Introduction**  
(Statement of the problem in general and its connection with important scientific or practical tasks, analysis of recent research and publications in which a solution of this problem, and which is based on the author)
  - **Objective**  
(Formulation of the problem, highlighting unsolved aspects of the problem, which is devoted to this article)
  - **Materials & methods**
  - **Results & discussion**  
(The basic material of research with full justification of scientific results)
  - **The Conclusions (or outputs)**
  - **List of references (literary sources)**
  - **Prospects for further research**

Manuscripts should not exceed 20 A4 pages of material (210x297 mm). This includes: the main text, formulas, tables, figures and captions, list of references.

It is strongly recommended to use for decoration materials text editors MS Word (file extension \*.doc, \*.docx) for Windows any version, Times New Roman font size 12 pt, half spacing between lines of text with fields: haute, bottom and right – 1,5 cm, left – 2,5 cm.

When using units must adhere to international system of units (SI). Formula should be separated from the main text and are numbered from the right in parentheses. Latin characters to be printed in italics, the Greek lines.

To submit to the editor the original manuscript of the text to be printed on a laser or inkjet printers is not less than 600 dpi with a resolution of one side of the sheet on white paper A4 format, as follows:

On the first page of the article:

1. **Title of the article** (in the middle of the page).
2. **Name(s) & Surname(s)** the author(s) of article, ORCIDs, *name(s)*, *organization(s)* that performed the study or work.

3. **Abstract in Ukrainian and English (not less than 1800 printed characters).** Authors are responsible for the adequacy and quality of the translation. Summary should be concise.

**All symbols and abbreviations**, if necessary, are removed from the text to the list of designations. Symbols are arranged in alphabetical order: first in Latin, then Greek, the upper and lower symbols and indices. When using abbreviations in the text must provide their decryption listed.

**Figures.** The article may be submitted **up to 10 figures (photos)**, including fragment with the notation «a», «b», etc. All figures must be numbered and references to them in the text. Graphics quality should be capable of printing reproduction without additional processing. The physical resolution of the picture in the file of the manuscript is not less than 300 ppi. All symbols in figures accompanied by an explanation in the text or in the figure captions.

**Tables.** Each table should be clearly, have the serial number, which previously referred to in the text.

The list of **references** (literature sources) is provided at the end of the text. The list drawn up in order of mention in the text of the quoted source. The materials of the article links are indicated in square brackets after mentioning the borrowed data.

Each source should be submitted according to the current State Standard Ukraine 8302:2015. Bibliographic references should be indicated by transliteration in English letters.

The manuscript included:

- **the original of the examination** of the possibility of the publication of articles in the press for the citizens of Ukraine certified by the round seal of the organization where the examination was carried out;
- **external review** of the relevance of the work and relevance to the thematic focus of the journal with the obligatory indication of the scientific degrees and academic status of the reviewer, the seal of the organization that represents the reviewer;
- **information about the authors** (Full name, ORCID, science degree, academic rank, position, organization, address, **contact phone numbers and e-mail**).

Materials manuscript with all applications can be sent by mail, e-mail or personally delivered by the author at the editorial office.

The editors reserve the right to make cuts and changes insignificant editorial articles. The approximate date of publication of article sets the executive secretary of the editorial board.

**Executive Secretary:** Sc.D., Senior Scientist Alexander Nedbailo.

**Editorial address:** The SE «EC «Drying», Bulakhovskogo str., 2, Bldg. 2, Kiyv, 03164, Ukraine.

**Tel.** +380444240279, **Tel./Fax** +380444243283.

**E-mail:** icsushka@gmail.com









Міжнародний науково-виробничий журнал  
**«КЕРАМІКА: наука і життя»**

Зміст випуску затверджений на засіданні вченої ради ІТТФ НАН України.

Протокол №7 від 01.10.2020 р.

Підписано до друку 15.10.2020 р.