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 2019

# 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, 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 Снєжкін 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., с.н.с. 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. (Бєларусь); д.т.н., професор Джерембаева Н.Е. (Казахстан); д.т.н., професор Назаренко І.І., д.т.н., доц. Кузьмінець М.П.; д.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 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., Senior scientist V. Petrovskiy; Ph.D., Professor P. Zakharchenko; Sc.D., Professor Ye. Pysmennyy; 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!

Одним із способів заміщення прямого споживання домогосподарствами дефіцитного природного газу є перехід до використання електронагрівальних побутових приладів.

Зростання імпорту електронагрівальних приладів відзначається нижчими показниками, ніж по інших сферах зовнішньої економіки в цілому. З нестачею аналогічної продукції вітчизняне виробництво не має можливості оперативно впоратися. Його обсяги тільки частково покривають частину внутрішнього споживання і експортного постачання. Незначне зростання експорту і виробництва в останній час сприяло розширенню діяльності українського сегменту ринку. Серед підприємств розробників та виробників також відзначається «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України).

Особливості торгівлі електронагрівальним обладнанням у різних секторах збуту характеризуються урахуванням співвідношення «концентрація - відстань» поміж партнерами серед продавців та покупців таких виробів.

Прогнозні значення світового ринку побутових кухонних приладів дозволяє стверджувати про зростання потенційних можливостей експорту зразків продукції, що розробляється ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України у рамках тенденцій переходу до нуклеарних родин, що використовують для власних потреб «розумну» побутову техніку із застосуванням енергоефективних електронагрівальних технологій.

Будемо раді подальшій співпраці!

**9 жовтня 2019 року** відбудеться Бізнес-форум ***"Інноваційні енергоефективні технології та обладнання"***, організований Київською торгово-промисловою палатою спільно з Інститутом технічної теплофізики Національної академії наук України.

Інститут технічної теплофізики НАН України – це одна з провідних установ України в сфері науково-технічних досліджень і розробок в комунальній та промисловій теплоенергетиці, а також створення та впровадження енергоефективних теплотехнологій.

На бізнес-форумі будуть представлені інноваційні розробки, оригінальні технології та обладнання, що були створені в Інституті.

Дані розробки можуть бути цікавими для представників:

- теплоенергетичної галузі;
- будівництва, комунального господарства, машино- і приладобудування;
- харчової, переробної та сільськогосподарської галузей;
- промислово-фінансових груп, інвестиційних і венчурних компаній, приватного бізнесу.

У рамках бізнес-форуму буде проведена екскурсія виставковою залою, що надасть більш розгорнуте уявлення про роботу та досягнення Інституту в різних галузях. Також передбачено ознайомлення із лабораторними стендами, відвідування експериментального пасивного будинку типу «0-енергії», в якому демонструються сучасні енергоощадні технології.

Учасники форуму у разі зацікавленості матимуть змогу більш детально поспілкуватись з розробниками та провести попередні перемовини.

***Бізнес-форум відбудеться за адресою:***

м. Київ, вул. Булаховського, 2, зала засідань Інституту технічної теплофізики НАН України.

***З програмою заходу можна ознайомитись на сайтах:***

КТПП – http://kiev-chamber.org.ua/

ІТТФ – http://ittf.kiev.ua/

***Додаткова інформація:***

Київська ТТП: 044 4820437, e-mail: rudya@kcci.org.ua

Інститут технічної теплофізики: 044 4532852, e-mail: plir@ittf.kiev.ua

**Увага!**

***Учасниками Бізнес-форуму сплачується організаційний внесок у розмірі 400 грн.***

(розрахунковий рахунок № 31250289116749, ДКСУ м. Києва, код банку 820172, код ЄДРПОУ 054171180).

Свідоцтво платника ПДВ 39008258, індивідуальний податковий № 054171126590

*Одержувач:* Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст (Желябова), 2А, м. Київ, Україна, 03057.

***У вартість організаційного внеску входять:***

- участь у Бізнес-форумі;
- ознайомлення з виставковими експозиціями;
- інформаційні матеріали;
- організація перемовин у форматі B2B;
- кава-брейк;
- дегустація страв функціональних продуктів швидкого приготування.

**Зміст журналу**
**«КЕРАМІКА: наука і життя» № 3(44), 2019**

***Технології***

**О.В. Саввова, С.О. Рябінін,**
**Є.О. Світличний, Г.К. Воронов, О.І. Фесенко**
Обґрунтування вибору методів одержання склокерамічних матеріалів ..... 8

**Л.П. Черняк, П.Г. Варшавець,**
**Н.О. Дорогань, О.М. Шнирук**
Мінеральний в'яжучий матеріал із використанням
відходів паперового виробництва ..... 16

**К.В. Кириленко**
Залежність електричних властивостей
композиційного матеріалу від структури матриці ..... 23

**С.В. Гулієнко**
Експериментальні дослідження параметрів очищення водних розчинів
керамічним, вугільним фільтрами та зворотно-осмотичним модулем ..... 30

**Contents of the journal**
**«CERAMICS: science and life» № 3(44), 2019**

***Technologies***

**O.V. Savvova, S.A. Ryabinin,**
**E.A. Svitlichniy, G.K. Voronov, A.I. Fesenko**
Selection justification of methods for obtaining glass-ceramic materials ..... 8

**L.P. Chernyak, P.G. Varshavets,**
**N.O. Dorogan, O.M. Shnyruk**
Mineral binding material with the use of paper
manufacturing wastes ..... 16

**K.V. Kirilenko**
Dependence of electrical properties of
composition material from the structure of the matrix ..... 23

**S.V. Gulienko**
Experimental investigation of the parameters of water solution purposes
by ceramic, coal filters and reverse-osmotic module ..... 30

# Selection justification of methods for obtaining glass-ceramic materials

O.V. Savvova[1] (0000-0001-6664-2274), S.A. Ryabinin[2] (0000-0003-2972-8540), E.A. Svitlichniy[3], G.K. Voronov[2] (0000-0003-1205-8608), A.I. Fesenko[2] (0000-0003-3888-9493)

*[1] O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17, st. Marshal Bazhanov, Kharkiv, 61002, Ukraine*
*Tel. +380577073101*
*E-mail: savvova_oksana@ukr.net*
*[2] National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, st. Kirpicheva, Kharkiv, 61002, Ukraine*
*Tel. +380577076600*
*E-mail: riabinin_svytoslav@hotmail.com*
*[3] National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", 61108, Ukraine, Kharkiv, st. Academic, 1*
*Tel. + 380573353530*
*E-mail: SvitlichnyYeO1976@nas.gov.ua*

*Article info: received 28.06.2019, revised 19.07.2019, accepted 27.08.2019*

*Savvova, A.V., Ryabinin, S.A., Svetlichny, E.A., Voronov, G.K., Fesenko, A.I. (2019) Selection justification of the choice of methods for obtaining glass-ceramic materials 3(44), doi: 10.26909/csl.3.2019.1*

Advanced methods for obtaining high-strength glass-ceramic materials based on lithium aluminum silicate glass for glass and ceramic technologies are identified. Were analyzed forming methods: pressing, thermoplastic molding and slip casting with the definition the advantages and disadvantages of in each of them. The choice of the base LAS system is substantiated and model lithium-aluminum-silicate glasses and glass-ceramic materials based on β-spodumene are synthesized by the methods of pressing, slip casting and thermoplastic molding. The features of the formation of glass-ceramic materials using various technologies are investigated.

Technological parameters were established for pressing: molding powder with a fraction size from 63 to 125 μm − 70 vol. %, from 25 to 63 microns − 15 vol. %, less 25 microns − 15 vol. %, xanthan gum solution in an amount of 10 wt. %; for slip casting: slip specific weight − $\gamma$ = 1852 kg/m$^3$, pH = 9.90; for the thermoplastic formation: paraffin − 15 wt. %, beeswax − 5 wt. %, oleic acid − 1 wt. %. It has been established that the determining influence on the mechanical properties of the developed glass-ceramic materials has the character of their micro- and macrostructures. It has been established that, for the studied glass-ceramic materials, an increase in porosity and pore size significantly affects the magnitude of their compressive strength.

Glass-ceramic materials obtained by wet pressing and slip technology can be recommended as the most technologically advanced in creating composite armor elements and promising in the development of high-strength glass-ceramic materials for the local protection of special equipment and technology.

Composite structural materials obtained by thermoplastic processing can be used to create high-strength parts for precision mechanisms and instruments, which are subject to stringent requirements for mechanical strength.

Key words: glass-ceramic materials, lithium aluminum silicate glass, technological parameters.

# Обґрунтування вибору методів одержання склокерамічних матеріалів

О.В. Саввова[1], С.О. Рябінін[2], Є.О. Світличний[3], Г.К. Воронов[2], О.І. Фесенко[2]

*[1] Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна*
*[2] Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна*
*[3] Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Харків, Україна*

Визначені перспективні методи отримання високоміцних склокерамічних матеріалів на основі літійалюмосилікатних стекол за скляною та керамічною технологіями. Проведено порівняльний аналіз методів пресування, термопластичного формування та шлікерного лиття з визначенням переваг та недоліків у кожному з них. Обґрунтовано вибір базової системи LAS та синтезовано модельні літійалюмосилікатні стекла та склокерамічні

матеріали на основі β-сподумену за методами пресування, шлікерного лиття та термопластичного формування. Досліджено особливості формування склокерамічних матеріалів за різними технологіями.

Встановлено технологічні параметри для пресування: порошок для пресування з розміром фракцій 63 – 125 мкм ≈ 70 об. %, 25 – 63 мкм – 15 об. %, менше 25 мкм – 15 об. %, розчин ксантанової камеді в кількості 10 мас.; для шлікерного лиття: питома вага шлікеру – $\gamma$ = 1852 кг/м$^3$, pH = 9,90; для термопластичного формування: парафіну − 15 мас. %, бджолиного воску − 5 мас. % та олеїнової кислоти − 1 мас. %. Встановлено, що визначальний вплив на механічні властивості розроблених склокерамічних матеріалів має характер їх мікро- та макроструктури. Визначено що для дослідних склокерамічних матеріалів збільшення пористості та розмір пор суттєво позначаються на величині їх міцності на стиск.

Склокерамічні матеріали, отримані методом вологого пресування та за шлікерною технологією, можуть бути рекомендовані, як найбільш технологічні, при створенні композиційних бронеелементів та є перспективними при розробці високоміцних склокерамічних матеріалів для локального захисту спеціальної техніки та обладнання.

Композиційні конструкційні матеріали, що отримані за технологією термопластичного формування, можуть бути використані для створення високоміцних деталей прецизійних механізмів та приладів, до яких встановлюються жорсткі вимоги до механічної міцності.

**Вступ**

На сьогодні велика увага приділяється пошуку нових матеріалів, що будуть відповідати зростаючим вимогам науки та техніки. Поєднання високих фізико-хімічних та технологічних характеристик дозволяють використовувати склокерамічні матеріали як матеріали в галузях промисловості: енергетичній (сонячні панелі, частини електронних компонентів, ізоляторів, теплоелектричні генератори, композиції для іммобілізації ядерних відходів), аерокосмічній (обтікачі літальних апаратів, теплоізоляційні та термостійкі матеріали), будівельній (матеріали з протигрибковими і самоочисними властивостями, матеріали з динамічними здібностями зміни кольору), військовій (елементи бронезахисту, та обладнання); хімічній (лабораторний посуд, складові обладнання), електроніці (підкладки мікросхем, нанопокриття і нанолітографія в високотехнологічних матеріалах) та побуті (кухонний посуд, панелі плит) [1].

Зростаючі вимоги до експлуатаційних властивостей матеріалів, що експлуатуються в умовах значних динамічних навантажень, вказують на необхідність створення надійних ефективних захисних матеріалів. На сьогодні відомі високоміцні склокерамічні матеріали на основі β-сподумену, що характеризуються високими термічними та механічними властивостями [2]. Однак їх використання як ударостійких матеріалів обмежується достатньо високими температурами варки та тривалістю термічної обробки.

Одним з ефективних рішень цієї проблеми є створення нового виду матеріалів – технологічних високоміцних склокерамічних матеріалів (СКМ) з підвищеними показниками механічної стійкості та зниженою вагою в умовах низькотемпературної термообробки. Їх розробка дозволить в найкоротший термін отримати конструкційні елементи, які зможуть задовольнити потреби промисловості в ефективних високоміцних матеріалах.

Важливим фактором забезпечення високих експлуатаційних властивостей склокерамічних матеріалів є оптимальний вибір технологічних параметрів їх одержання, зокрема, методів їх формування.

Для вибору технології отримання монолітних виробів зі склокераміки було проведено аналіз існуючих методів формування склокерамічних матеріалів [3, 4]. На сьогоднішній день використовується два основних метода формування заготовки зі склокераміки: за скляною (лиття з розплаву, пресування, відцентрове лиття) та керамічною технологією (з водних шлікерів, пресування, термопластичне формування).

Перший метод передбачає формування монолітних заготовок (виробів) методом лиття склорозплаву в металеві форми та подальшою їх термообробкою послідовно при температурі зародкоутворення та при верхній температурі кристалізації, що призводить до ситалізації зразків по всьому об'єму виробу. Треба відзначити складність даної технології отримання стекол сподуменового складу, зокрема, високу температуру варки скла та реакційну здатність склорозплаву до вогнетривів. Неякісний провар скла може призвести до наявності у склокерамічному матеріалі різних недоліків (непроварів, бульбашок та ін.), які спричиняють локальні неоднорідності властивостей виробу та істотно ускладнюють їх використання. На практиці формування виробів пов'язане з великими труднощами: розплав характеризується досить коротким і вузьким температурним інтервалом формування, який зміщений в область підвищених температур. У зв'язку з цим найчастіше при формуванні ситалів застосовують лиття, зокрема відцентрове, і пресування [5]. Однак до недоліків даного методу треба віднести складність виготовлення склокерамічних виробів об'ємної та багатопрофільної конфігурації.

Альтернативним методом формування монолітних склокерамічних виробів, у тому числі виробів складної конфігурації, є виготовлення за другим методом – керамічними технологіями: шляхом пресування з порошків зі зв'язкою, водного шлікерного лиття в гіпсові форми [6] та термопластичного формування [7].

Так, виходячи з кінетики формування матеріалів і заготовки в рамках методу шлікерного лиття, можна виділити три варіанти, які принципово відрізняються один від одного як за технологічністю, так і за властивостями вихідної та термообробленої заготовки.

*Перший варіант* передбачає лиття виробів з низькощільних ($\rho$ = 1740 – 1800 кг/м$^3$) седиментаційно нестійких шлікерів з вологістю суспензій 15 – 23 %, де набір маси матеріалу і заготовки здійснюється в основному за рахунок гравітаційного осадження часток шлікеру в форму. Це дозволяє формувати товстостінні вироби складного профілю.

*За другим варіантом* до шлікеру з вищезазначеною щільністю вводять зернистий наповнювач, зокрема, у вигляді порошку кварцового скла, до отримання щільності не нижче 1940 кг/м$^3$. Висока щільність і в'язкість суспензій перешкоджають їх розшаруванню при формуванні крупногабаритних виробів і створюють умови для одержання однорідної заготовки зі значною різнотовщинністю. Формування матеріалу і заготовки здійснюється в основному за рахунок в'яжучих властивостей кварцової суспензії і твердіння маси у формі при частковому поглинанні води гіпсом. Недоліком даного способу є також те, що цим способом неможливо виготовити невеликі керамічні вироби складної форми [8].

Формування матеріалу *за третім варіантом* здійснюється з середньощільних шлікерів ($\rho$ = 1860 – 1920 кг/м$^3$) та за сутністю полягає у наборі заготовки на поверхні гіпсової форми за рахунок капілярних властивостей гіпсу. Отриманий матеріал має високу упаковку часток шлікеру і найвищу міцність матеріалів на згин серед методів шлікерного лиття. Необхідно при цьому зазначити, що вказаний спосіб прийнятий тільки для формування рівнотовщинних тонкостінних виробів і не придатний для отримання товстостінних й різнотовщинних заготовок.

Альтернативою шлікерному литтю у гіпсові форми є термопластичне формування. Для формування виробів використовується відливка під тиском з термопластичних суспензій в парафіні з олеїновою кислотою. Даний метод дозволяє отримувати відливки складного профілю без необхідності проміжної сушки та дозволяє одразу після формування проводити термообробку склокерамічного матеріалу [7].

Найбільш технологічним є спосіб отримання виробів шляхом пресування. Особливістю способу є те, що до скляних порошків, які не мають в'яжучої спроможності, при вологому пресуванні додають 2 ÷ 5 мас. % ксантанової камеді. Використовується як одностадійне так і багатостадійне пресування виробів. Це дозволяє отримувати матеріали з різною щільністю та міцністю. Найбільш міцні вироби отримуються шляхом багатостадійного пресування з поступовим збільшенням величини стискаючого зусилля. Даний метод дає можливість отримати вироби простої форми.

Порівняльний аналіз технологій та методів формування (табл. 1) дозволив встановити, що для одержання високоміцних склокерамічних матеріалів найперспективнішими є методи отримання за керамічною технологією, оскільки дають можливість отримання різнопрофільних та різнотовщинних виробів. Тому пошук оптимальних методів одержання високоміцних склокерамічних матеріалів, які експлуатуються в умовах підвищених динамічних навантажень, є актуальною задачею.

**Мета роботи**

Метою роботи є обґрунтування методів формування та визначення оптимальних технологічних параметрів отримання високоміцних склокерамічних матеріалів на основі літійалюмосилікатної склокераміки в умовах низькотемпературної короткотривалої термічної обробки.

**Матеріали та методи дослідження**

Для виготовлення зразків методом пресування та шлікерного лиття помел стекол проводили у планетарному млині Retsch PM-400. Для пресування зразків використовували лабораторний гідравлічний прес з максимальним навантаженням P = 24,5 МПа.

Особливістю термопластичного формування є готування шлікерів у лабораторному інжекторі шляхом додавання до скла парафіну, воску та олеїнової кислоти. Схема лабораторного інжектору показана на рис. 1.

Основою роботи інжектору є застосування термостатичної камери та використання тиску стислого повітря для переміщення шлікеру у форму. Термостатична камера складається із металевого резервуару для шлікеру (1) з кришкою (3), до якої приварено штуцер для подачі повітря (6); а також живильника (7); нагрівача, у якості якого є ніхромова спіраль (2) та терморегулятору (8), що підтримує робочу температуру.

Дослідження структури зразків проводилось на оптичному мікроскопі Bresser LCD Micro 40x-1600x.

Таблиця 1.

Технології та методи формування склокерамічних матеріалів

| Технологія / Методи формування | | Переваги | Недоліки |
|---|---|---|---|
| Скляна | Відливка у форми | Отримання монолітних виробів відразу після варки скла | Можливе розтріскування скла та розшаровування, складність отримання бездефектних виробів |
| | Гаряче пресування | | Залишки слідів на поверхні, важкість наступної механічної обробки |
| | Відцентрове лиття | | Неможливість отримання об'ємних виробів |
| Керамічна | Пресування | Отримання виробів з простою поверхнею | Неможливість отримання об'ємних та порожнистих виробів |
| | Шлікерне лиття<br>Низькощільні шлікери<br>Високощільні шлікери<br>Середньощільні шлікери | Отримання виробів:<br>товстостінних складного профілю;<br>однорідних зі значною різнотовщинністю;<br>рівнотовщинних тонкостінних | Багатостадійність, довготривалість процесу формування, складність вилучення виробу з гіпсової форми |
| | Термопластичне формування | Отримання виробів складного профілю | Довготривалість підготовки матеріалу до формування, необхідність випалу для видалення зв'язки |

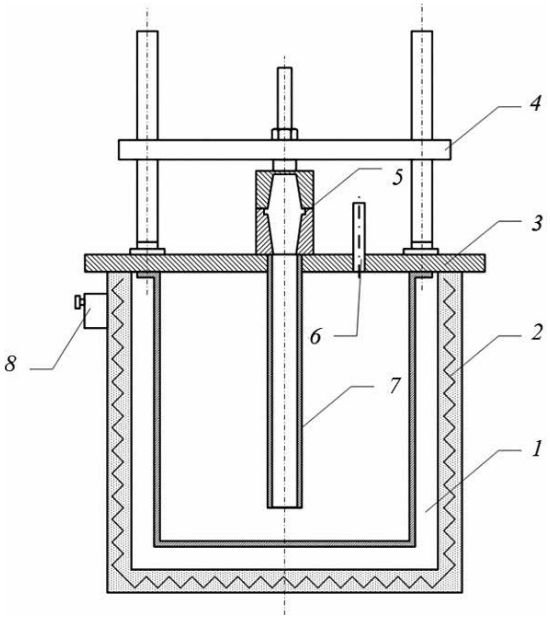



Рис. 1. Схема лабораторного інжектору
1 – резервуар для шлікеру; 2 – ніхромова спіраль; 3 – кришка (робочий стіл); 4 – прижимний устрій; 5 – форма; 6 – штуцер для подачі повітря; 7 – живильник; 8 – терморегулятор

Пористість визначали методом гідростатичного зважування з використанням установки для насичування зразків рідиною у вакуумі. Визначення дійсної щільності отриманих матеріалів здійснювали пікнометричним методом за ГОСТ 2211-65; уявну щільність та відкриту пористість встановлювали за ГОСТ 2409-95 (ISO 5017-88).

Мікротвердість *H* та твердість за Віккерсом *HV* і показник тріщиностійкості (в'язкість руйнування) $K_{1C}$ визначали шляхом вдавлювання піраміди Віккерса при навантаженні на піраміду відповідно 200 г за 10 вимірами та 5000 г за 5 вимірами з використанням приладів ПМТ-3 і ТМВ-1000. Ударну в'язкість (KCU) визначали за ГОСТ (GOST)11067-2013 (EN1288-1:2000).

**Результати та їх обговорення**

За результатами попередніх досліджень особливостей складу та структури літійалюмосилікатних склокерамічних матеріалів у зв'язку з їх міцносними властивостями [10] було модифіковано скло СП-9 та отримано скло СП-10, яке додатково вміщує $TiO_2$, CaO, $K_2O$, $ZrO_2$, $SnO_2$ (табл. 2) для забезпечення високої структурної міцності.

Для виготовлення шихти при синтезі скла використовували природну мінеральну сировину (пісок Новоселівський, глинозем, циркон, крейда, калієвий польовий шпат), оксиди маркування ХЧ (ZnO, $TiO_2$, $CeO_2$, MgO, $SnO_2$, $MnO_2$) та інші хімічні сполуки (вуглекислий літій, борна кислота, амоній фосфорнокислий однозаміщений).

Варку стекол серій СП здійснювали у корундових тиглях в лабораторній електричній печі при температурах 1350 ºС впродовж 6 годин з наступним виливанням на металеву пластину.

Склокерамічні матеріали отримували шляхом двостадійної термічної обробки: 1 стадія – витримка при 530 ºС впродовж двох год. та 2 стадія – при 850 ºС впродовж двох год.

Після двостадійної термічної обробки склокерамічний матеріал СП-10, який отримано за скляною технологією, характеризується об'ємною тонкодисперсною кристалізацією високоміцної кристалічної фази β-сподумену у кількості 80 об. %.

Для одержання бездефектних СКМ було розроблено технологічні параметри формування за різними методами керамічної технології.

*Пресування.* Вихідне скло СП-10 було подрібнено до повного проходження крізь сита: № 125 з розміром фракцій 63 - 125 мкм ≈ 70 об. %, № 063 – 63 - 25 мкм – 15 об. %, № 025 не більше 25 мкм – 15 об. %. Розмір фракцій та їх співвідношення були обрані з урахуванням даних щодо забезпечення високої щільності упаковки матеріалів [9]. В якості зв'язки було використано розчин ксантанової камеді в кількості 10 мас. %. Проведено тристадійне пресування маси матеріалу в гідравлічному пресі з тиском на 1 стадії – 7,36 МПа, 2 стадії – 11,78 МПа, 3 стадії – 14,71 МПа. Відпресовані матеріали з маркуванням СП-10П сушаться при температурі 120 ÷ 150 ºС до остаточної вологості не більш 0,5 %, з наступною двостадійною короткотривалою термічною обробкою.

*Шлікерне лиття.* Виходячи з необхідності отримання товстостінних виробів, зокрема й складної конфігурації, за керамічною технологією було здійснено варку скла та двостадійний мокрий помел фрити при наступних параметрах:

- швидкість обертання барабану 110 об./хв;
- співвідношення фрити до млинних тіл 1 : 3;
- кількість води 30 мас. %;
- ступінь заповнення об'єму млину 50 %;
- форма млинних тіл – сферична; матеріал млинних тіл – алюбіт;
- розмір млинних тіл – 5, 10, 15 мм та їх співвідношення за вагою 1 : 1 : 1.

Таблиця 2.

Хімічний склад модельних стекол серії СП та характеристика кристалічних фаз

| Маркування | Відмінності за хімічним складом, мас. % | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ∑ $Li_2O$, $K_2O$ | ∑ $Al_2O_3$, $B_2O_3$ | $SiO_2$ | ∑ CaO, MgO, ZnO | $P_2O_5$ | ∑ $TiO_2$, $ZrO_2$, $SnO_2$, $MnO_2$, $CeO_2$ | Температура варіння | Структура стекол | |
| | | | | | | | | Після варіння | Після термічної обробки |
| СП-9 | 8,0 | 21,5 | 60,0 | 5,0 | 3,0 | 2,5 | 1350 | Аморфна | β-$LiAlSi_2O_6$ |
| СП-10 | 9,0 | 19,5 | 60,0 | 4,0 | 3,0 | 6,5 | 1350 | | |

З метою попередження злипання дрібних часток, забезпечення плинності шлікерів, а також прискорення процесу помелу до млину було введено добавку дефлокулянту Dolapix FF6 у кількості 0,5 мас. %.

Після 2 год. помелу було одержано водні шлікери з наступними технологічними параметрами:

- питома вага ρ = 1852 кг/м$^3$;
- pH = 9,90;
- тонини помелу дисперсної склофази з залишком на ситі №0063 3 – 5 %.

Після завершення помелу шлікер відокремлювали від млинних тіл, проціджували через сітку з розміром комірки 1 мм і переливали в ємність для старіння. Стабілізацію шлікеру проводили механічним перемішуванням з подальшим додаванням HCl або $NH_4Cl$ в кількості 1,0 - 2,0 мл на 1 л шлікеру [10].

Шлікер перемішують впродовж не менше 24 годин. Механічне перемішування практично не змінює зернового складу і вологості шлікеру, але сприяє дегазації суспензії, підвищує щільність і міцність відливки, покращує седиментаційну стійкість суспензії і сприяє однорідності заготовки. Шлікер після старіння проціджували через сито 0,5 мм і вимірювали його властивості, зокрема pH, який склав 9,45.

Формування виробів проводили методом шлікерного лиття у гіпсові форми. Готові відливки сушаться при температурі 120 ÷ 150 ºС до остаточної вологості виробів не більш 0,5 %. Після сушіння сформовані вироби на основі матеріалу з маркуванням СП-10Ш підлягають термообробці в електричній печі.

*Термопластичне формування.* Порошок скла СП-10 після повного проходження через сито №0063 змішували з олеїновою кислотою протягом двох годин, кількість якої варіювався в межах 0,2 ÷ 1,0 мас. %, після чого готували термопластичні суспензії із застосуванням зв'язки на основі парафіну і воску. Мінімальний вміст зв'язки в залежності від кількості кислоти становить 12 ÷ 16 мас. %. Було встановлено, що термопластичні суспензії мають певну межу плинності. При цьому суспензії з вмістом 0,7 ÷ 1,0 мас. % олеїнової кислоти характеризуються найбільшою плинністю при рівному вмісті зв'язки. Таким чином, гарячий шлікер з робочою температурою 70 ÷ 100 ºС, що отриманий в термостатичній камері, завдяки використанню стислого повітря та живильника подається в металеву форму виробу та охолоджується у вигляді зразків різної конфігурації.

Оскільки шлікери на основі порошків усіх складів, що виготовлені при температурі < 70 ºС, мають незадовільну текучість, а шлікери з температурою ≥ 90 ºС мають велику кількість газових включень, то формування зразків проводили в інтервалі температур 70 ÷ 80 ºС. Отримані за методом термопластичного формування відливки різної форми випалювали в електропечі при температурі 530 ºС з засипкою порошком $Al_2O_3$ для поглинання залишкової зв'язки впродовж 2 год., а потім проводили термообробку зразків матеріалів з маркуванням СП-10Т при температурі 850 ºС впродовж 2 год. Експериментальним шляхом було визначено, що оптимальним для отримання бездефектних СКМ є склад шлікеру в якому вміст парафіну складає 15 мас. %, бджолиного воску – 5 мас. % та олеїнової кислоти – 1 мас. %. Зовнішній вигляд зразків отриманих за різними методами формування наведено на рис. 2.




Рис. 2. Зовнішній вигляд зразків СП-10П, СП-10Ш та СП-10Т відповідно, отриманих за методом: а) пресування, б) шлікерного лиття, в) термопластичного формування

Після двостадійної термічної обробки дослідні зразки СП-10П, СП-10Ш та СП-10Т, які отримано за різними методами формування: пресування, шлікерне лиття та термопластичне формування відповідно, характеризувалися ситалізованою структурою з вмістом кристалічної фази ≈ 80 об. %. Однак їх структурні характеристики, зокрема, пористість значно відрізнялися. Так, практично нульовою відкритою та закритою пористістю (табл. 3) характеризувалися зразки отримані за шлікерною технологією формування. Зразки отримані методом пресування та пластичного формування мають незначну закриту пористість ≈ 5 ÷ 10 % завдяки оплавленню скло фази, яка заліковує тріщини і пори розміром ≈ 0,1 мкм та проростанню кристалів у пори зразків при термічній обробці.

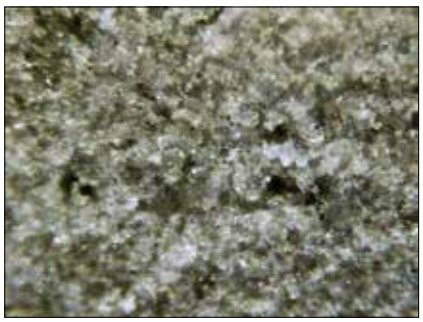
Розроблені матеріали, які сформовані за різними технологіями, несуттєво відрізняються $K_{1C}$ та *HV*. Однак з врахуванням складності технології та різниці у $\sigma_{ст}$ їх можна рекомендувати як високоміцні СКМ різного призначення.

Для дослідних склокерамічних матеріалів, при їх формуванні за різними методами, збільшення пористості та розмір пор суттєво позначаються на їх міцності на стиск. Найвищими значеннями механічних властивостей характеризується матеріал СП-10Ш, який має практично нульову пористість та найменший розмір пор. Підвищення міцності на стиснення до 820 ГПа для даного матеріалу дозволить використовувати його при виготовленні елементів броне захисту, в якості шару який має демпферні властивості та руйнує осердя кулі [13].

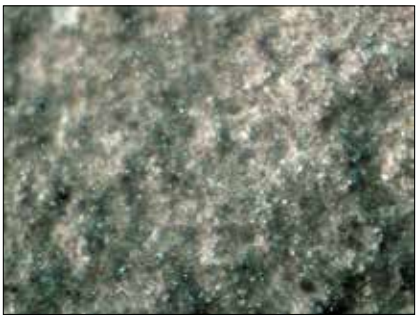
Склокерамічні матеріали отримані за методом пресування можуть бути використані в якості елементів бронезахисту, та для виготовлення плиток та деталей простого профілю.

Отримані склокерамічні матеріали за шлікерною технологією можуть бути рекомендовані при створенні композиційних бронеелементів, матеріалів для локального захисту спеціальної техніки та обладнання і в тому разі, коли потрібно виготовлення порожнистих елементів.

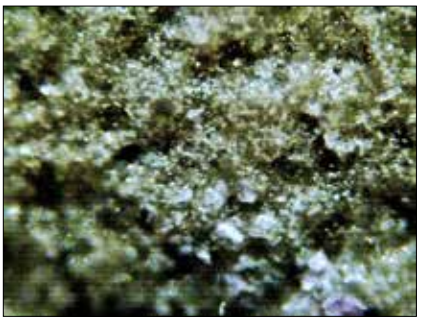
Отримані за технологією термопластичного формування композиційні конструкційні матеріа-



а



б



в

Рис. 3. Зовнішній вигляд поверхні зразків за методом пресування (а), шлікерного лиття (б), термопластичного формування (в)

Таблиця 3.

Механічні параметри отриманих зразків за різними технологіями

| Зразок | Щільність кг/м$^3$ | Відкрита пористість, % | Закрита пористість, % | $K_{1C}$, МПа·м$^{0,5}$ | *HV*, ГПа | $\sigma_{ст}$ ГПа |
|---|---|---|---|---|---|---|
| СП-10П | 2304 | 5 | 7 | 3,40 | 8,90 | 750 |
| СП-10Т | 2465 | 0 | 5 | 3,5 | 9,2 | 800 |
| СП-10Ш | 2563 | 0 | 1 | 3,5 | 9,2 | 820 |

ли є перспективними при створенні високоміцних деталей прецизійних механізмів і приладів, які можливо виготовляти шляхом екструзії та до яких встановлюються жорсткі вимоги до механічної міцності та неможливо отримати методом шлікерного лиття.

**Висновки**

Встановлено перспективність створення високоміцних склокерамічних матеріалів на основі літійалюмосилікатної системи. Визначено особливості формування склокерамічних матеріалів за різними технологіями. Розроблено склокерамічні матеріали на основі β-сподумену за методами пресування, шлікерного лиття та термопластичного формування. Досліджено вплив структури розроблених склокерамічних матеріалів на їх механічні властивості. Встановлено, що для розроблених склокерамічних матеріалів розмір пор впливає значно на міцність, на стиск та залежить від їх мікро та макроструктури.

Встановлено технологічні параметри для пресування (розміром фракцій 63 - 125 мкм ≈ 70 об. %, 25 - 63 мкм – 15 об. %, не більше 25 мкм – 15 об. %; тиском пресування на 1 стадії – 7,36 МПа, 2 стадії – 11,78 МПа, 3 стадії – 14,71 МПа), шлікерного лиття (щільність $\rho = 1{,}852$ г/см$^3$; pH = 9,90), термопластичного формування (парафін 15 мас. %, бджолиного воску – 5 мас. % та олеїнової кислоти – 1 мас. %), які дозволять отримати бездефектні вироби.

Розроблені склокерамічні матеріали є перспективними для використання в якості елементів для бронезахисту, та в залежності від методів формування можуть використовуватися в різних галузях цивільної та військової промисловості.

**References**


1. *Maziar Montazerian, Shiv Prakash Singh, Edgar Dutra Zanotto.* An analysis of glass–ceramic research and commercialization / American Ceramic Society Bulletin. – 2015. – Vol. 94. – No. 4. – P. 30 - 35.
2. *Брагіна, Л.Л.* Структура та властивості склокристалічних матеріалів : монографія / Л.Л. Брагіна, О.В. Саввова, О.В. Бабіч, Ю.О. Соболь. – Х. : ООО «Компанія СМІТ. – 2016. – 253 с.
3. *Ромашин, А.Г.* Радиопрозрачные обтекатели летательных аппаратов. Проектирование, конструкционные материалы, технология производства, испытания: учеб. пос. / А. Г. Ромашин, В. Е. Гайдачук, Я. С. Карпов, М. Ю. Русин. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т». – 2003. – 239 с.
4. Пат. 2513389, РФ, МПК$^6$ C 04 B 35/19, C 04 B 33/28. Способ изготовления антенного обтекателя из стеклокерамики литийалюмосиликатного состава / Суздальцев Е. И., Харитонов Д. В., Русин М.Ю., Зайчук Т. В., Ермолаев А. С.; заявитель и патентообладатель Федер. гос. унитарн. предприятие «Обнинск. науч. - произв. предприятие «Технология». – № 2013105364/03; заявл. 07.02.2013; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11 - 8 с.
5. *Павлушкин, Н.М.* Химическая технология стекла и ситаллов. – Москва : Стройиздат. – 1983. – 431 с.
6. *V. K. Marghussian, M.J. Geramian* Fabrication of cordierite glass ceramics by slip casting of glass powders British Ceramic Transactions. – 2013. – Vol. 98. – No. 3. – P. 133 - 140. https://doi.org/10.1179/096797899680345.
7. Frank Clemens Thermoplastic Extrusion for Ceramic Bodies / In: Händle F. (eds) Extrusion in Ceramics. Engineering Materials and Processes. Springer, Berlin, Heidelberg, – 2009 – P. 295 - 311, https://doi.org/10.1007/978-3-540-27102-4_17.
8. Пат. RU 2170715 C2, C03C 10/12, C04B 35/19. Способ получения изделий из спеченного стеклокристаллического материала литийалюмосиликатного состава / Суздальцев Е.И. (RU), Суслова М.А. (RU), Балакина Л.И. (RU), Ипатова Н.И. (RU), Викулин В.В. (RU), Русин М.Ю. (RU), Хамицаев А.С. (RU) // Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» заявл. 27.09.1999, опубл. 20.07.2001.
9. *Придатко, Ю.М., Королев, Л.В., Готовцев, В.М.* Моделирование плотной упаковки частиц композитного материала / Вестник СГТУ. Саратов. – 2011. – № 4(62). – С. 96 - 100.
10. *Savvova, O., Babich, O., Voronov, G., Ryabinin, S.* High-strength spodumene glass-ceramic materials / *Strength of materials*. – 2017. - Vol. 49, № 3. – P. 488 - 495. https://doi.org/10.1007/s11223-017-9890-4.
11. Пат. RU 2 366 637 C1, C04B 35/19, C04B 33/28. Способ получения высокоплотных водных шликеров на основе литийалюмосиликатного стекла / Суздальцев Е. И. (RU), Русин М. Ю. (RU), Харитонов Д. В. (RU), Зайчук Т. В. (RU), Ипатова Н. И. (RU) // Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» заявл. 25.01.2008, опубл. 10.09.2009.
12. *Алексенцева, С.Е.* Влияние демпфирующих свойств сплавов на пулестойкость / С.Е. Алексенцева, И.В. Захаров // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». – 2011. – № 4(32). – С. 88 - 95.
13. *Алексенцева, С.Е.* Ударно-волновые процессы взаимодействия высокоскоростных элементов с конденсированными средами: дис. доктора тех. наук : 01.04.17 / Алексенцева Светлана Евгеньевна. – Самара. – 2015. – 173 с.

# Mineral binding material with the use of paper manufacturing wastes

L.P. Chernyak[1] (ORCID 000-0001-8479-0545), P.G. Varshavets[2] (0000-0001-6324-0616), N.O. Dorogan[1] (0000-0002-4304-1297), O.M. Shnyruk[1]

*[1] National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", av. Peremogy, 37, Bldg. 21, Kyiv, 03056, Ukraine*
*Tel.: +380672985775*
*E-mail: lpchernyak@ukr.net, nataliyadorogan@ukr.net, Shnyruk@gmail.com*
*[2] «Fasad» LTD, 1-B Krainia st., Kyiv, 02660, Ukraine*
*Tel: +380503855277*
*E-mail: p.varshavets@ukr.net*

*Article info: received 12.07.2019, revised 15.08.2019, accepted 30.08.2019*

*Chernyak, L.P., Varshavets, P.G., Dorogan, N.O., Shnyruk, O.M. (2019) Mineral binding material with the use of paper manufacturing wastes 3(44), doi: 10.26909/csl.3.2019.2*

The possibility of making of mineral astringent material of the low temperature burning at utilization of wastes of production of paper – scope is shown. The analysis of compositions of raw material mixtures on the basis of the system chalk - clay - scope is conducted with varying of concentration of scope at the set descriptions of product of burning. The compositions of mixtures with introduction of 25 - 51 % scope is determinated. The features of phase composition and indexes of properties for mineral astringent with the use of scope as technogenic raw material are shown at the maximal temperature 1100 ºC of burning.

Industrial use of multi-tonnage waste of various industries, including scopes from paper production, allows to solve complex issues of technology of production of silicate materials, resource conservation and ecology.

The feasibility of using scopes as man-made raw materials in the technology of mineral binders is determined by the peculiarities of the chemical and mineralogical composition – the presence of a complete complex of oxides necessary for the formation of a given phase composition during firing and the possibility of intensification of the sintering increase in the reactivity of the silicate system at.

The efficiency of practical use of an osprey on the basis of the above developments is defined as the prospect of increasing the volume of utilization of industrial waste, as well as obtaining a new kind of mineral binder material in the low-temperature firing, which differs from romance with improved strength indicators.

Key words: mineral astringent, scope, mixture raw material, composition, burning, phases composition, properties.

# Мінеральний в'яжучий матеріал із використанням відходів паперового виробництва

Л.П. Черняк[1], П.Г. Варшавець[2], Н.О. Дорогань[1], О.М. Шнирук[1]

*[1] Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ, Україна*
*[2] ТОВ «Фасад», Київ, Україна*

В статті показано можливість виготовлення мінерального в'яжучого матеріалу низькотемпературного випалу при використанні відходів виробництва паперу – скопу. Проведено аналіз складів сировинних сумішей на основі системи крейда - глина - скоп з варіюванням концентрації скопу при заданих характеристиках продукту випалу. Визначено склади сумішей з введенням 25 - 51 мас. % скопу. Показано особливості фазового складу та показників властивостей отриманого мінерального в'яжучого з використанням скопу як техногенної сировини при максимальній температурі випалу 1100 ºС.

**Вступ**

Розширення сировинної бази виробництва силікатних матеріалів із застосуванням відходів інших галузей промисловості є актуальною задачею, що комплексно вирішує питання хімічної технології, ресурсозбереження та охорони довкілля [1, 2]. У значному ступені це стосується ресурсоємного виробництва мінеральних в'яжучих матеріалів [3].

Відомо, що виробництво паперу супроводжується утворенням багатотоннажних відходів, серед яких значну частку складає скоп [4, 5]. Скоп являє собою суміш целюлозних волокон, дисперсних органічних і неорганічних речовин. Хімікомінералогічний склад і теплотворна здатність скопу визначили напрямки досліджень і розробок з його утилізації в енергетичному та агропромисловому комплексах, для виготовлення будівельних матеріалів [6 - 10]. При цьому щодо будівельних матеріалів запропоновано використання скопу як наповнювача при виготовленні тепло- і звукоізоляційних плит та як сировинний компонент маси для виготовлення керамзиту і аглопориту – спучених гранульованих керамічних матеріалів, що отримують шляхом випалу при температурі ≥ 1150 ºС. Проте фактичні обсяги утилізації скопу не відповідають кількісному рівню утворення та накопичення цих відходів промисловості.

**Мета роботи**

Подана робота присвячена розвитку технологічних засад використання скопу як техногенної сировини для виготовлення в'яжучого матеріалу низькотемпературного випалу. При цьому ставиться на меті максимально можлива утилізація скопу в масоємному виробництві мінеральних в'яжучих.

**Матеріали та методи дослідження**

Об'єктом дослідження стали сировинні суміші для виготовлення в'яжучого матеріалу на основі силікатної системи крейда - глина - відходи промисловості. При цьому були застосовані:

- мергель Межигірсько-Дубовецького родовища Івано-Франківської обл.;
- крейду Здолбунівського родовища Рівненсьської обл.;
- глину спондилову Озерянського родовища Київської обл.;
- скоп – відходи виробництва паперу ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» [11].

За хімічним складом досліджувані проби відзначаються підвищеним вмістом CaO, утворюючи ряд: крейда > мергель > скоп > глина (табл.1).

При цьому має місце суттєва різниця у кількісному співвідношенні оксидів:

- CaO: $SiO_2$ крейда > мергель > скоп > глина,
- CaO: $Al_2O_3$ крейда > мергель > скоп > глина.

Спондилова глина характеризується відносно більшим вмістом $Fe_2O_3$ та лужних оксидів.

**Результати та їх обговорення**

Аналіз мінералогічного складу досліджуваної сировини показав (рис. 1, 2):

- мергель характеризується превалюючим вмістом кальциту (73,3 мас. %) поряд з каолінітом (14,3 мас. %), кварцом (10,0 мас. %), доломітом (3,1 мас. %) та гетитом (1,9 мас. %);
- основним породоутворюючим мінералом здолбунівської крейди є кальцит (97,6 мас. %) с домішками доломіту (1,2 мас. %), кварцу та каолініту – відповідно 0,5 и 0,6 мас. %;

Таблиця 1.

Хімічний склад сировини

| Назва проби | Вміст оксидів, мас. % | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $TiO_2$ | CaO | MgO | $SO_3$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | в.п.п |
| мергель | 16,70 | 5,67 | 1,71 | - | 42,13 | `0,68 | 0,17 | - | - | 33,21 |
| крейда | 0,77 | 0,25 | 0,13 | - | 55,0 | 0,25 | 0,08 | - | - | 43,49 |
| спондилова | 51,05 | 8,89 | 3,21 | 0,60 | 15,42 | 2,00 | 0,50 | 0,22 | 2,21 | 15,90 |
| скоп | 10,23 | 7,80 | 0,56 | 0,27 | 25,77 | 1,27 | 0,20 | 0,33 | 0,17 | 50,41 |

- спондилова глина відноситься до групи полімінеральних, відзначається підвищеним вмістом кальциту (21 мас. %), гідрослюди (20 мас. %) та кварцу (35 мас. %);
- скоп характеризується розвитком кристалічних фаз кальциту, каолініту, кварцу із включеннями польового шпату.

В роботі використовували сполучення сучасних фізико-хімічних методів аналізу із стандартизованими тестуваннями властивостей сировини та в'яжучих речовин [12 - 14].

Рентгенофазовий аналіз (порошкові препарати) за допомогою дифрактометру ДРОН-3М (випромінювання Cu Kα 1 - 2, напруга 40 kV, струм 20 mA, швидкість 2 град/хв.).

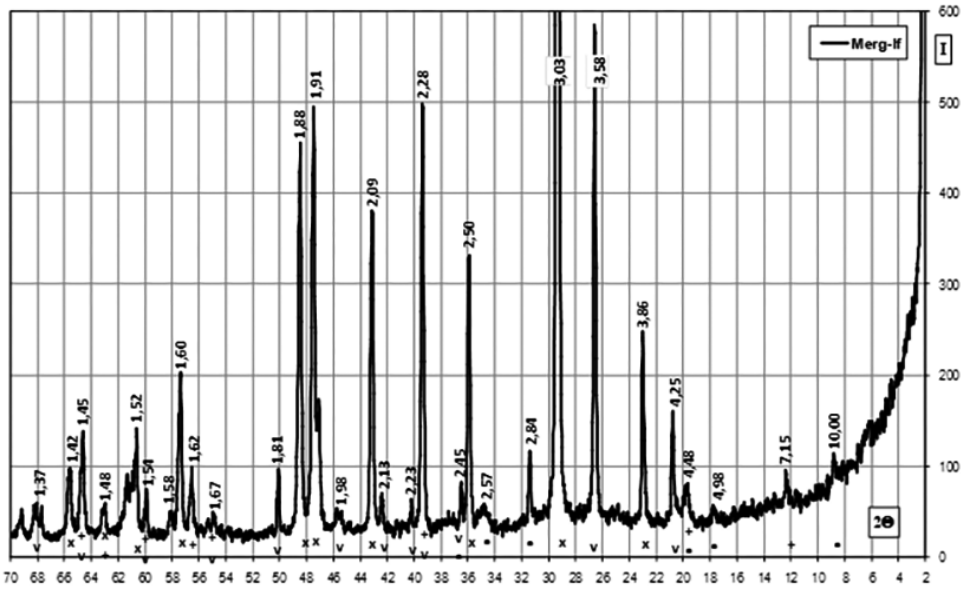



Рис. 1. Дифрактограма проби мергелю
Позначення: v – кварц, + – каолініт, x – кальцит, ● – гідрослюда

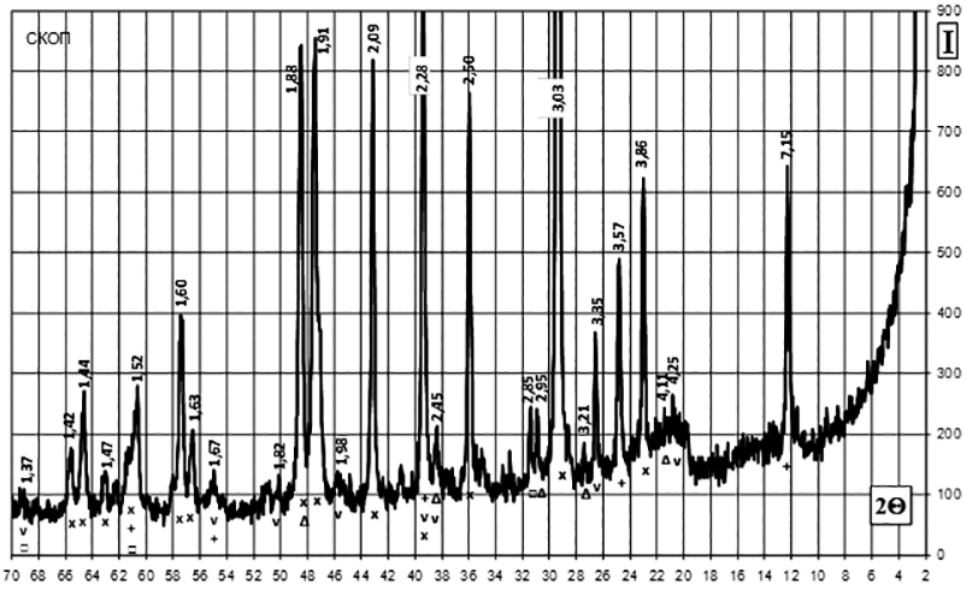



Рис. 2. Дифрактограма проби скопу
Позначення: + – каолініт, x – кальцит, v – кварц, Δ – польовий шпат

Відповідно до сучасної технології в'яжучих сировинні суміші визначеного складу готували шляхом дозування компонентів по масі, змішування та гомогенізації при помелі у кульовому млині, випалу і помелу кінцевого продукту.

Всі зразки дослідних сумішей, показники яких порівнювали, сушили та випалювали разом, аби виключити можливість різниці в ступеню термічної обробки.

*Склад і властивості в'яжучого матеріалу.* Для визначення можливих обсягів утилізації скопу в технології в'яжучих матеріалів низькотемпературного випалу типу романцементу було проведено аналіз складів вихідних сировинних сумішей із застосуванням комп'ютерної програми «РоманЦем» [15]. При цьому склад вихідних сировинних сумішей визначали у відповідності з відомими рекомендаціями щодо технології романцементу в інтервалі заданих значень гідравлічного модулю НМ = 1,1 – 1,7.

Аналіз отриманих результатів показав, що у вказаному інтервалі НМ можлива концентрація скопу у складі сировинних сумішей суттєво залежить від кількісного співвідношення інших компонентів.

Встановлено, що у трикомпонентній суміші на основі системи крейда - глина спондилова - скоп можливий вміст останнього становить при НМ = 1,7 від 12,0 до 64,0 мас. %, при НМ = 1,1 від 6,0 до 88,0 мас. % (рис 3, 4).

З погляду на досягнення необхідних в'яжучих властивостей при визначенні досліджуваних сировинних сумішей дотримувались визнаних рекомендацій щодо значень кремнеземного і глиноземного модулів [16]. При цьому очевидно, що рекомендовані значення кремнеземного модулю в'яжучого (n = 1,9 - 3,0) досягаються при вмісті скопу 30 - 75 мас. % для НМ = 1,1 та 25 - 51 мас. % для НМ = 1,7.

Обрані для подальшого дослідження суміші на основі мергелю та системи крейда - глина спондилова - скоп характеризуються відмінностями кількісного співвідношення компонентів і хімічного складу (табл. 2, 3).

Так, суміш S30 з 25 мас. % скопу характеризується кількісним співвідношенням крейда : глина : скоп = 2 : 1 : 1, а для суміші S32 з 51 мас. % скопу аналогічне співвідношення становить 2,3 : 1 : 3,4.

За хімічним складом суміші S30, S32 із скопом суттєво відрізняються від 1m з мергелю меншим вмістом CaO (34,6 - 37,9 проти 42,1 мас. %) і $Fe_2O_3$ (0,8 - 1,1 проти 1,7 мас. %) при більшому вмісті MgO (1,0 - 1,1 проти 0,7 мас. %).

Після випалу хімічний склад досліджуваних проб мінерального в'яжучого має при гідравлічному модулі НМ = 1,7 забезпечити рекомендовані для цементу значення кремнеземного модулю n = 2,2 - 3,1 (табл. 4).

Результати рентгенофазового аналізу вказують на відмінності у фізико-хімічних перетвореннях при випалі дослідних сумішей, що корелюються із вказаним хімічним складом і залежать від вмісту в них скопу та співвідношення компонентів (рис. 5, 6).

Очевидно, що після випалу на 1100 °С при однаковому розвитку кристалічних фаз силікатів кальцію типу CS і $C_2S$ проба S32 з використанням скопу відрізняється від 1m з мергелю:

- щодо кристалічних фаз алюмінатів кальцію – інтенсифікацією утворення майєніту $C_{12}A_7$ (4,90 Å) при майже однаковому вмісті $C_3A$ (2,70 Å) та CA (2,52 Å);
- щодо кристалічних фаз алюмосилікатів кальцію – зменшенням утворень геленіту $C_2AS$ (2,86 Å);

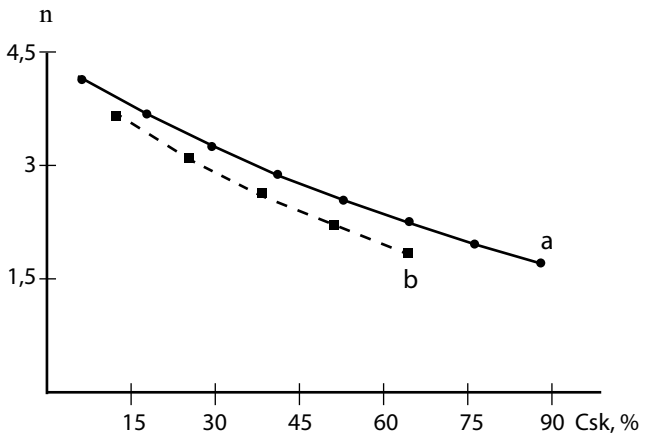



Рис. 3. Залежність кремнеземного модулю n від концентрації скопу (Csk) в суміші на основі крейди і глини спондилової при НМ = 1,1 (a) і НМ = 1,7 (b)

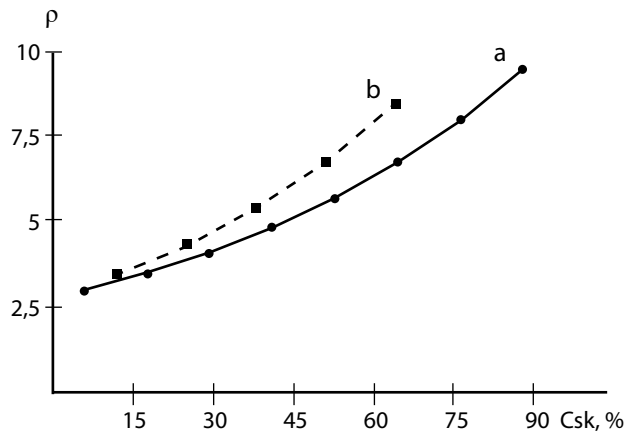



Рис. 4. Залежність глиноземного модулю p від концентрації скопу (Csk) в суміші на основі крейди і глини спондилової при НМ = 1,1 (a) і НМ = 1,7 (b)

- щодо залізовмісних кристалічних фаз – меншим утворенням $C_4AF$ (2,63 Å);
- щодо кристалічних фаз магнезіальних силікатів кальцію – утворенням окерманіту $C_2MS_2$ (2,86 Å);
- суттєво меншою кількістю CaO (1,69 і 2,38 Å) при більшому вмісті кристалічного $SiO_2$ (3,35 Å).

Отримані результати тестувань проб досліджуваних матеріалів після випалу з максимальною температурою 1100 °С свідчать про певні відмінності їх в'яжучих властивостей (табл. 5).

Згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 [16] за швидкістю тужавлення проби в'яжучого 1 m з мергелю і S30 - S32 на основі системи крейда - глина - скоп відносяться до групи швидкотужавіючих (тер-

Таблиця 2.

Склади сировинних сумішей

| Код суміші | Вміст компонентів, мас. % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | мергель | крейда | глина спондилова | скоп |
| 1m | 100 | - | - | - |
| S30 | - | 50,0 | 25,0 | 25,0 |
| S32 | - | 34,0 | 15,0 | 51,0 |

Таблиця 3.

Хімічний склад сировинних сумішей

| Код суміші | Вміст оксидів, мас.% | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $SO_3$ | В.п.п |
| 1m | 16,70 | 5,67 | 1,71 | 42,13 | 0,68 | 0,17 | 33,21 |
| S30 | 16,82 | 4,43 | 1,05 | 37,91 | 0,96 | 0,49 | 38,34 |
| S32 | 13,92 | 5,58 | 0,84 | 34,57 | 1,07 | 0,49 | 43,53 |

Таблиця 4.

Хімічний склад в'яжучого матеріалу

| Код суміші | Вміст оксидів, мас. % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | CaO | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO |
| 1m | 62,82 | 24,90 | 8,46 | 2,55 | 1,01 |
| S30 | 61,48 | 27,28 | 7,18 | 1,71 | 1,56 |
| S32 | 61,22 | 24,65 | 9,88 | 1,49 | 1,89 |

Таблиця 5.

Властивості в'яжучого матеріалу

| Показники | | Код проби | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1m | S30 | S31 | S32 |
| Тонкість помелу, залишок на ситі 008, мас. % | | 8 | 7 | 8 | 8 |
| Терміни тужавлення, хв. | початок | 15 | 25 | 30 | 35 |
| | кінець | 45 | 70 | 85 | 90 |
| Міцність на стиск через 28 діб, МПа | | 18 | 22 | 22 | 23 |

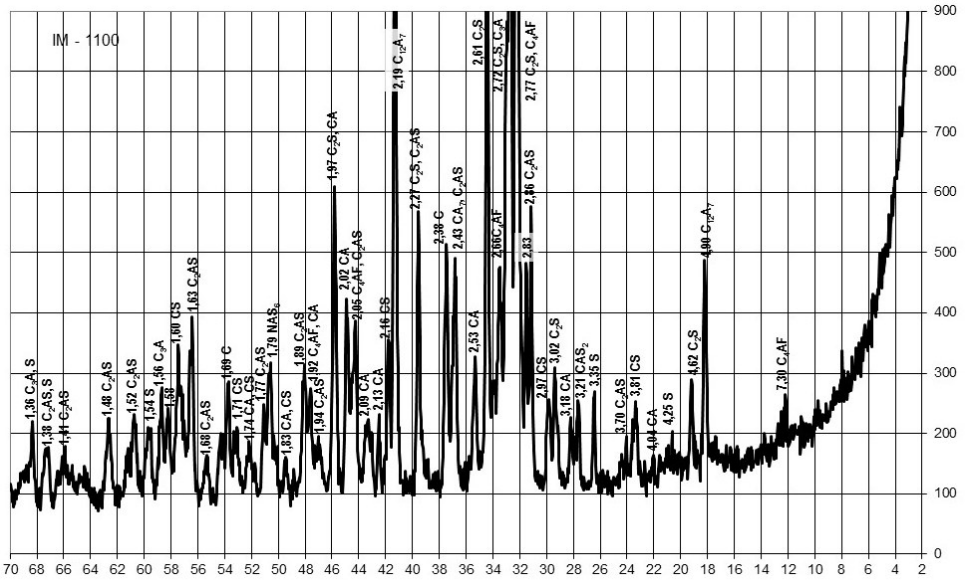



Рис. 5. Дифрактограма проби 1m після випалу на 1100 ºС

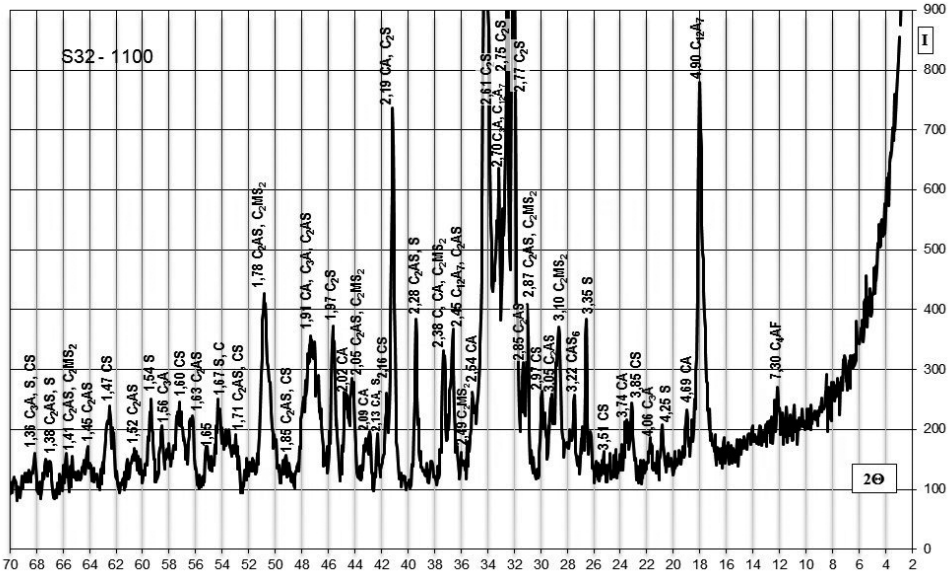



Рис. 6. Дифрактограма проби S32 після випалу на 1100 ºС

мін початку від 15 хв. до 45 хв.), характерними представниками якої вважаються ангідритовий та глиноземистий цемент. При цьому очевидно, що із збільшенням концентрації скопу у досліджуваних сумішах має місце уповільнення процесу тужавлення, що у найбільшому ступені проявляється у випадку проби S32.

Такі гідравлічні мінеральні в'яжучі низькотемпературного випалу можуть стати в ряді будівельних робіт замінником більш енергоємного і вартісного портландцементу [17, 18].

**Висновки**

1. Промислове використання багатотоннажних відходів різних галузей господарства, в тому числі скопу від виробництва паперу, дозволяє комплексно вирішувати питання технології виробництва силікатних матеріалів, ресурсозбереження і екології.

2. Доцільність використання скопу як техногенної сировини в технології мінеральних в'яжучих матеріалів визначається особливостями хіміко-мінералогічного складу – наявністю повного комп-

лексу оксидів, необхідних для утворення при випалі заданого фазового складу та можливістю інтенсифікації спікання збільшення реакційної здатності силікатної системи.

3. Ефективність практичного використання скопу на основі наведених розробок визначається як перспективою збільшення обсягів утилізації відходів промисловості, так і отриманням при низькотемпературному випалі нового різновиду мінерального в'яжучого матеріалу, що відрізняється від романцементу поліпшеними показниками міцності.

**References**


1. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов / И.Б. Удачкин, А.А. Пащенко, Л.П. Черняк и др. – К. : Будівельник. – 1988. – 104 с.
2. *Моссур, П.М.* Техногенное минеральное сырье и его использование в Украине / П.М. Моссур, С.В. Негода // ГИАБ. – 2007. – № 6. – С. 299 - 307.
3. *Пащенко, А.А.* Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ / А.А. Пащенко, Е.А. Мясникова, Е.Р. Евсютин. – К.: Вища шк. – 1990. – 223 с.
4. *Monte, M.C.* Waste management from pulp and paper production in the European Union / M.C.Monte, E.Fuente, A.Blanco, C.Negro // Waste Management. – 2009. – Vol. 29, Is. 1. – P. 293 - 308.
5. *Simao, L.* Wastes from pulp and paper mills – a review of generation and recycling alternatives / L. Simao, D. Hotza, F. Raupp-Pereira, J. A. Labrincha, 0. R. K. Montedo // Cerâmica. – 2018. – Vol. 64. – No. 371. – P. 443 - 453.
6. *Gopal, M.* The scope for utilizing jute wastes as raw materials in various industries: A review / Agricultural Wastes. – 1986. – Vol. 15. – Is. 2. – P. 149 - 158.
7. *Кирсанов, А.С.* Утилизация отходов бумажной промышленности в производстве гранулированных теплоизоляционных материалов: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 03.00.16 «Экология» / А.С. Кирсанов. – Пенза. – 2002. – 20 с.
8. *Баталии, Б., Козлов, И.* Строительные материалы на основе скопа – отхода целлюлозно-бумажной промышленности // Строительные материалы. – 2004. – №1. – С. 42 - 43.
9. *Ширинкина, Е. С., Айтжанова, У. М.* Переработка скопа, образующегося в технологическом процессе картонно-бумажного производства // European science № 2(12). – 2016. – С. 13 - 16.
10. *Мифтахов, М.Н.* Перспективы утилизации скопа – отхода картонно-бумажного производства / Уфа: Изд-во: ООО «Агентство международных исследований». – 2015. – № 6 - 1. – С. 26 - 27.
11. *Тахтуев, Б. Г.* Переработка отходов картонно-бумажных производств / Тезисы 2-й Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков. – 2005. – С. 224.
12. *Горшков, В.С.* Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев // М.: Высшая школа. – 1981. – 334 с.
13. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах: навч. посібник у 2-х ч. Ч.1. Технологічні розрахунки в хімічних технологіях тугоплавких неметалевих і силікатних / [Брагіна Л.Л., Корогодська А.М., Пітак О.Я. та ін.]; за ред. М.І. Рищенка. − Х.: Підручник НТУ «ХПИ». – 2012. − 332 с.
14. *Taylor, W.* Purves. Practical Cement Testing / W. Purves Taylor // London: Forgotten Books. – 2017. – 334 p.
15. *Свідерський, В.А.* Програмне забезпечення технології низько температурних в'яжучих матеріалів / В.А. Свідерський, Л.П.Черняк, О.В. Сангінова, Н.О. Дорогань, М.Ю. Цибенко // Строительные материалы и изделия. – К. – 2017. – № 1 - 2 (93). – С. 22 - 24.
16. ДСТУ Б В.2.7-91-99. В'яжучі мінеральні. Класифікація. – Введ. 01.03.1999. – К.: Держбуд України. – 1999. – 26 с.
17. *Miras, A.* Natural cements for construction applications / A. Miras, T.Markopoulos, E. Galan // 27th Reunión de la Sociedad Española de Mineralogía. – 2007. – p. 94.
18. *Шельонг, Г.* Романцемент – в'яжуче для опоряджувальних робіт в будівництві / Г. Шельонг, М.А. Саницький, Т.П. Кропивницька, Р.М. Котів // Строительные материалы и изделия. – К. – 2012. – № 1 (72). – С. 7 - 12.

# Dependence of electrical properties of composition material from the structure of the matrix

K.V. Kirilenko

*Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of NASU, 3, Krzhyzhanovsky St., Kyiv, 03142, Ukraine*
*Tel.: +380444241531*
*E-mail: vvk@ipms.kiev.ua*

*Article info: received 05.09.2019, revised 13.09.2019, accepted 27.09.2019*

*Kirilenko, K.V. (2019) Dependence of electrical properties of composition material from the structure of the matrix, 3(44), doi: 10.26909/csl.3.2019.3*

In the context of rising energy costs and the need to use new energy sources, works aimed at raising the surface temperature of heat radiators with reduced energy consumption are of particular importance, and it is especially important if these processes are also accompanied by the effects of self-stabilization. Bulk materials do not possess these properties. However, materials whose dielectric matrix is also an active element can provide up to 10 - 30 % of the thermal energy that will be released in the material, thereby increasing the surface temperature and without increasing energy consumption. Therefore, the study of composite materials with different matrices is relevant.

This article the influence of the matrix material on the electrical properties of composite materials was examined. It was established that the microstructure morphology of resistive materials changes significantly depending on the matrix type. In composites based on matrix AlN, for the entire range of concentrations HfC, conducting cluster is formed with a metallic conductivity. For composite systems $Al_2O_3$-HfC and $Si_3N_4$-HfC thermoactivated hopping conduction between nearest neighboring states observed. Thus, for materials based on $Si_3N_4$ matrix at temperatures up to 300 °C observed reduction of charge carriers concentration with increasing temperature.

The approximation of the temperature dependence of the electrical conductivity was carried out on the basis of the following possible variants of the nature of the electrical conductivity, namely: jump conductivity (nonlocalized states, localized states in the tails of conduction and valence bands, localized states near the Fermi level), tunneling.

It can be assumed that the formation of conductive clusters occurred under the influence of two factors: magnetic field and mechanical loading. When using the AlN matrix, the influence of the magnetic field on the structure formation is smallest. This conclusion can be drawn from the fact that the formed conductive clusters have the appearance of a linear chain structure.

Key words: AlN matrix, matrix material, composition, metallic conductivity composite systems.

# Залежність електричних властивостей композиційного матеріалу від структури матриці

К.В. Кириленко

*Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Київ, Україна*

У статті розглянуто вплив матеріалу матриці на електричні властивості композиційних матеріалів. Встановлено, що в залежності від типу матриці суттєво змінюється морфологія мікроструктури матеріалів резистивного шару. В композитах на основі матриці AlN, для всього діапазону концентрацій HfC, формується провідний кластер з металічним типом провідності. Для композитів систем $Al_2O_3$-HfC і $Si_3N_4$-HfC спостерігається термоактивована стрибкова провідність між найближчими сусідніми станами. Причому для матеріалів на основі матриці $Si_3N_4$ при температурах до 300 °C додатково спостерігається зниження концентрації носіїв заряду з ростом температури.

**Умовні позначення та скорочення**

ГП – гаряче пресування; МДН – метал-діелектрик-напівпровідник; $T_{вит}$ – температура ізотермічної витримки, °С; $t_{вит}$ – час ізотермічної витримки, хв.; $P_{вит}$ – тиск витримки, МПа; $V_{нагр}$ – швидкість нагріву, °/хв.; $V_{охол}$ – швидкість охолодження, °/хв.; ρ – питомий опір, Ом·см; $T$ – температура, °С; $x_c$ – порогова концентрація, об. долей; $t$ – коефіцієнт, що характеризує форму частинок провідної фази.

**Вступ**

Мікромініатюризація електротехнічних пристроїв призводить до розвитку нового напрямку композиційних нагрівальних систем на основі напівпровідникових матеріалів (OMEGA Engineering, INC., USA [1]), керамічних матеріалів з матрицями $Al_2O_3$, $Si_3N_4$, AlN (KYOCERA Corporation, Japan [2], ІПМ НАНУ, Україна [3]).

Для формування активного резистивного шару в таких нагрівальних елементах використовуються різні добавки: TiN [4,5], $MoSi_2$ [6, 7], TaN [8], SiC [9], $Y_2O_3$ [10]. Перспективною провідною добавкою, що працює в області високих температур, є HfC [11]. Тому важливо для цієї сполуки підібрати діелектричну матрицю, в якій буде реалізований комплекс оптимальних параметрів резистивного шару, таких, як значення питомого опору та його відтворюваність, величина і знак температурного коефіцієнта опору.

В умовах подорожчання енергоресурсів і необхідності використовувати нові джерела енергії практичну значимість мають роботи направлені на підвищення температури поверхні тепловипромінювачів при зниженому енергоспоживанні, і особливо важливо, якщо ці процеси також супроводжуються ефектами самостабілізації. Об'ємні матеріали цими властивостями не володіють. Однак матеріали, діелектрична матриця яких також є активним елементом, можуть дати додатково до 10 - 30 % теплової енергії, яка буде виділятися в матеріалі, тим самим підвищуючи температуру поверхні і не збільшуючи енергоспоживання. Отже, актуальним є дослідження композитних матеріалів з різними матрицями. Перспективними матеріалами для високотемпературної діелектричної матриці можуть бути $Al_2O_3$ [5, 7], $Si_3N_4$ [4, 6, 8, 9], AlN [10].

**Мета роботи**

Метою нашої роботи є вивчення властивостей нагрівальних елементів виготовлених на основі трьох видів матриць (AlN, $Al_2O_3$, $Si_3N_4$) та провідної добавки HfC.

**Матеріали та методи дослідження**

Зразки нагрівальних елементів виготовлялися методом шарувато-градієнтної технології [12].

Для вивчення впливу матриці в якості діелектрика, як діелектричного шару так і діелектричної основи провідного шару, використовувались три типи найбільш поширених високотемпературних діелектриків: а) AlN[1] активований $TiO_2$[1] в кількості 2 об. %; б) $Al_2O_3$[2] активований композицією $SiO_2$[3] : CaO[3] : MgO[3] = 16,5 : 1 : 6 в кількості 4,7 об. %; в) $Si_3N_4$[4] активований $Al_2O_3$ в кількості 7 об. %. В якості провідної добавки використовувались порошки HfC[1] в кількості від 11 до 17 об. %. ([1] – виробництво Донецького заводу хімічних реактивів; [2] – Миколаївський глиноземний завод; [3] – випущено у відповідності до діючих стандартів з чистотою ЧДА; [4] – Бакинський завод порошкової металургії, Азербайджан).

Підготовлені заготовки спікались в індукційній печі методом ГП. Параметри процесу ГП наведені в таблиці 1.

Розмір отриманих зразків 50х8х6 мм. Після шліфування на активні області для забезпечення кращого контакту наносилась срібна паста.

Вимірювання питомого опору зразків проводилось методом вольтметра - амперметра. Нагрівання зразків забезпечувалось подачею постійного електричного струму від джерела живлення GW GPR-11H300 (припустима похибка

Таблиця 1.

Параметри процесу

| Зразок | $V_{нагр}$, °/хв. | $T_{вит}$, °С | $t_{вит}$, хв. | $P_{вит}$, МПа | $V_{охол}$, °/хв. |
|---|---|---|---|---|---|
| AlN-HfC | 40 | 1970 | 25 | 3800 | 20 |
| $Al_2O_3$-HfC | 40 | 1550 | 15 | 3800 | 30 |
| $Si_3N_4$-HfC | 40 | 1820 | 20 | 3800 | 30 |

$\leq \pm$ (0,005·$U_{уст}$ + 100 мВ) при режимі стабілізації напруги, або $\leq \pm$ (0,005·$I_{уст}$ +1 *мА)* при режимі стабілізації струму). Для визначення напруги використовувався цифровий мультиметр АРРА – 207 (припустима похибка $\leq \pm$ (0,0006·$U_{изм}$ + 8*d*)), для вимірювання струму використовувався цифровий мультиметр FLUKE – 189 (припустима похибка $\leq \pm$ (0,0025·$I_{изм}$ + 0,2 мкА) ). Для вимірювання температури, до якої зразок нагрівся під дією електричного струму, використовувався оптичний пірометр Raytek MX4 TD (похибка вимірювання $\pm$ 0,0075·$T_{изм}$*)*.

Для апроксимації концентраційної залежності електропровідності використовувалось рівняння узагальненої теорії ефективного середовища (рівняння McLachlan'a [13]). Для заданих параметрів $\sigma_c$, $\sigma_i$, $\varphi_c$, s і t рахувалось значення $\sigma_m$ в кожній точці $f_c$, що змінювалось з кроком 0,01.

Фотографії мікроструктури досліджуваних матеріалів аналізувались за допомогою комплексу SIAMS. Була розрахована об'ємна доля, середня хорда провідних включень та середня відстань між ними.

**Результати та їх обговорення**

Пористість композитів системи AlN-HfC становила від 0,5 % до 2,5 %, $Al_2O_3$-HfC – від 1,5 % до 6 %, $Si_3N_4$-HfC – від 0,5 % до 3 %. Нами була досліджена мікроструктура виготовлених зразків (рис. 1), а також температурні залежності питомого опору композитів при різних концентраціях провідної добавки HfC (рис. 2, 3).

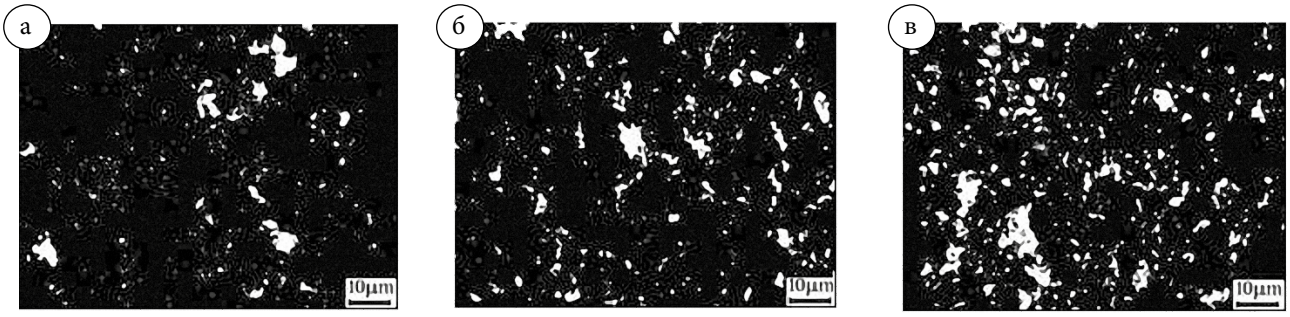



Рис. 1. Мікроструктура перерізу резистивного шару сформована за участю різних матеріалів матриць: а) $Al_2O_3$; б) AlN; в) $Si_3N_4$. Введена концентрація провідної добавки HfC – 11 об. %

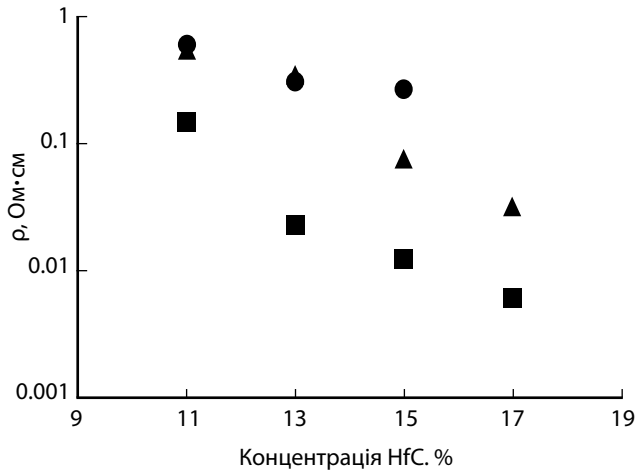



Рис. 2. Концентраційна залежність питомого опору резистивних композиційних матеріалів з різними матеріалами діелектричної матриці:
● – $Al_2O_3$, ▲ – $Si_3N_4$, ■ – AlN

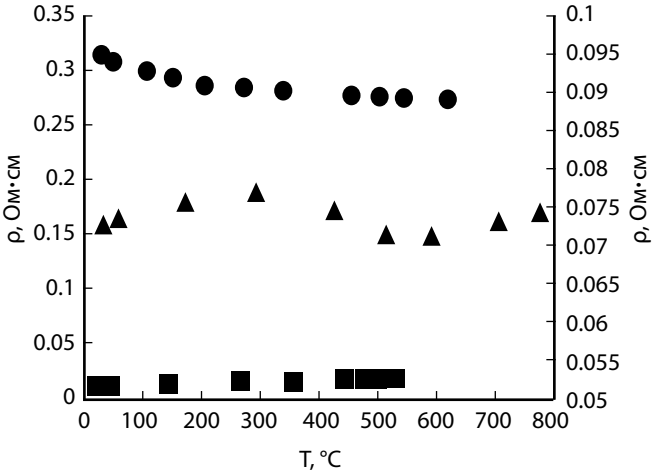



Рис. 3. Залежність питомого опору від температури резистивних композиційних матеріалів з різними матеріалами діелектричної матриці:
● – $Al_2O_3$(шкала зліва), ■ – AlN(шкала зліва),
▲ – $Si_3N_4$(шкала справа).
Концентрація провідної добавки HfC – 15 об. %

Як показано на рис. 1, морфологія мікроструктури матеріалів резистивного шару з використанням різних матеріалів суттєво відрізняється. Провідна фаза в перерізі в напрямку гарячого пресування відрізняється як концентрацією, так і розміром частинок, а також формою чи морфологією провідних кластерів. Характеристики частинок провідної фази приведені в таблиці 2.

Присутність на зображенні частинок значної величини говорить про ступінь агрегації провідної фази, яка відбувалася найбільш вірогідно в процесі на етапі змішування, тому що в технічних процесах гарячого пресування неможливий такий інтенсивний масоперенос. В результаті аналізу декількох зображень, зроблених на різних ділянках поверхні зразку, встановлено, що найбільша агрегація HfC відбувалася при використанні матриці $Al_2O_3$. В $Al_2O_3$ агрегати HfC мали форму близьку до ізометричної і максимальний розмір агрегатів був 20 мкм. Агрегати HfC у AlN та $Si_3N_4$ являли собою видовжені частинки розмірами 3 - 5 мкм.

Виходячи з того, що середня концентрація фази включень в композиції з матеріалу $Al_2O_3$ в 2 рази менша, ніж введена, а розмір частинок HfC переважно відповідає розміру частинок вихідного порошку (1 - 1,5 мкм), можна зробити висновок, що в $Al_2O_3$ частинки включень HfC мають вигляд видовжених циліндрів, орієнтованих в напрямку, перпендикулярному напрямку гарячого пресування.

Можна припустити, що формування провідних кластерів відбувалося під дією двох чинників: магнітного поля і механічного навантаження. При використанні матриці AlN вплив магнітного поля на формування структури є найменшим. Цей висновок можна зробити виходячи з того, що утворені провідні кластери мають вигляд лінійної ланцюгової структури.

Найбільш однорідне розподілення частинок фази включення спостерігається при використанні матриці $Si_3N_4$, проте в оточенні основного провідного кластеру явно видно присутність угрупувань кільцевої форми. Виходячи з того, що об'ємна доля частинок в напрямку гарячого пресування на 4 % більше тієї долі включень, що було введено в суміш на етапі змішування, можна припустити, що формування кластерів в матеріалі $Si_3N_4$ відбувалось за рахунок утворення видовжених агрегатів, орієнтованих у напрямку гарячого пресування. Відповідно і середня хорда частинок з $Si_3N_4$ є максимальною, а середня відстань між частинками – мінімальною.

Концентраційна залежність питомого опору резистивних композиційних матеріалів представлена на рис. 2.

Як видно з рис. 2, питомий опір резистивного шару всіх композиційних матеріалів зменшується зі збільшенням концентрації провідної добавки HfC. При найнижчих з досліджуваних концентрацій HfC (11 об. %) в складі резистивного шару питомий опір знаходиться в діапазоні 0,1 - 1 Ом·см. Така мала величина питомого опору, згідно з теорією перколяції, свідчить про те, що всі концентрації добавки в отриманих композитах відповідають області за порогом перколяції. Для матеріалів системи $Al_2O_3$-HfC і $Si_3N_4$-HfC спочатку значення питомого опору співпадають при концентрації HfC 11 - 13 об. %. Проте при більших концентраціях добавки опір резистивного шару композитів $Si_3N_4$-HfC стає значно меншим ніж опір композиту $Al_2O_3$-HfC з тією ж концентрацією. Найнижчий опір у всьому діапазоні досліджуваних концентрацій мають композити на основі AlN.

Залежність питомого опору від температури досліджуваних матеріалів представлено на рис. 3.

Як видно з рис. 3, залежність питомого опору від температури для матеріалів з матрицею AlN носить лінійний характер, причому значення питомого опору збільшується зі збільшенням температури (від 0,012 Ом·см при 20 °С до 0,017 Ом·см при 530 °С).

В композитах з матрицею на основі $Si_3N_4$ залежність питомого опору від температури носить не-

Таблиця 2.

Характеристики частинок провідної добавки для мікроструктур, наведених на рис. 1

| Параметр | Матеріал матриці | | |
|---|---|---|---|
| | *AlN* | $Si_3N_4$ | $Al_2O_3$ |
| Об'ємна доля | 0,079 | 0,146 | 0,053 |
| Середня хорда, мкм | 1,652 | 1,816 | 1,579 |
| Середня відстань між частинками, мкм | 20,223 | 11,331 | 33,454 |

лінійний характер. Спочатку питомий опір зростає на 5 % і набуває свого максимуму при температурі 300 °С, потім спадає на 2 % до температури 600 °С і далі знову починає зростати .

В композитах з матрицею на основі $Al_2O_3$ питомий опір безперервно зменшується зі збільшенням температури (від 0,31 Ом·см при 30 °С до 0,27 Ом·см при 620 °С).

При зміні концентрації провідної добавки HfC (11 – 17 %) характер залежності питомого опору від температури, незалежно від матеріалу діелектричної матриці, не змінюється, відповідні криві лише зсуваються по шкалі питомого опору.

Використовуючи загальне рівняння ефективного середовища [13], були змодельовані залежності питомого опору від концентрації провідної добавки. Оскільки ми працюємо з даними питомого опору, котрі знаходяться в післяпороговій області, то підбирались лише коефіцієнти t та $x_c$, так як саме вони відповідають за характер даних кривих у відповідній залежності. Результат моделювання представлений на рис. 4.

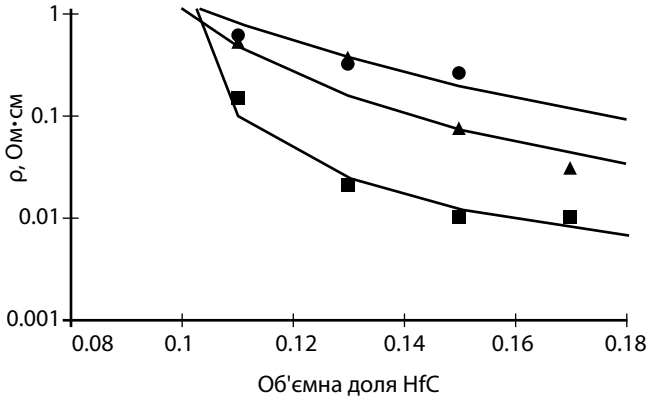



Рис. 4. Результат моделювання концентраційної залежності питомого опору зразків з табл. 1:
● – $Al_2O_3$, ▲ – $Si_3N_4$, ■ – AlN

Параметри, отримані в результаті моделювання, представлені в таблиці 3.

Поріг перколяції має найбільше значення для системи AlN-HfC.

Результати моделювання показують, що в матрицях на основі $Al_2O_3$ і AlN кластери формуються у вигляді двомірних утворень, видовжених у напрямку перпендикулярному до напрямку гарячого пресування. Індекс *t*, рівний 2,2 для матеріалів системи $Si_3N_4$-HfC, відповідає тому фактору, що спостерігається при аналізі мікроструктури, тобто агрегати являють собою циліндри, що видовжені у напрямку гарячого пресування.

Апроксимація температурної залежності електропровідності проводилась виходячи з наступних можливих варіантів природи електропровідності, а саме: стрибкова провідність (по нелокалізованим станам, по локалізованим станам в хвостах зон провідності і валентної зони, по локалізованим станам біля рівня Фермі), тунелювання, багатофононний процес переносу заряду.

Для композитів системи AlN-HfC, для всього досліджуваного діапазону концентрацій добавки HfC характерна лінійна залежність питомого опору від температури в координатах ρ(T), що говорить про металічний характер провідності таких матеріалів. (рис. 5, а).

Для композитів з матрицею на основі $Al_2O_3$ (рис. 5, б) спостерігається термоактивована стрибкова провідність між найближчими сусідніми станами, причому енергія активації стрибка, що відповідає ширині зони локалізованих станів, становить $5{,}3 \cdot 10^{-3}$ еВ. В композитах з матрицею на основі $Si_3N_4$ в діапазоні температур 0 – 300 °С спостерігається механізм термостимульованого зменшення концентрації носіїв на пастках, подібно як це відбувається в МДН структурах з плаваючим чи ізольованим затвором. З подальшим збільшенням температури від 300 °С до 500 °С механізм переносу зарядів подібний до матеріалів системи $Al_2O_3$-HfC, проте

Таблиця 3.

Результати моделювання (параметри)

| Матеріал / Параметр | *t* | $x_c$ |
|---|---|---|
| AlN-HfC | 1,35 | 0,099 |
| $Si_3N_4$-HfC | 2,2 | 0,08 |
| $Al_2O_3$-HfC | 1,1 | 0,08 |

енергія активації стрибка складає від $1{,}84 \cdot 10^{-2}$ еВ до $1{,}19 \cdot 10^{-2}$ еВ при збільшенні концентрації добавки HfC від 11 до 17 % (рис. 5, в).

Враховуючи наведені вище вимоги до електрофізичних характеристик нагрівального елемента на основі керамічних композицій і виходячи з отриманих результатів, можна рекомендувати для виготовлення резистивних шарів керамічних нагрівачів композицію AlN-HfC, яка має необхідний рівень питомого опору та позитивної ТКО в усьому діапазоні робочих температур, або $Si_3N_4$-HfC, в якій відбувається самостабілізація електропровідності і загальний температурний коефіцієнт опору нагрівального елемента в широкому інтервалі температур близький до нуля.

**Висновки**

1. Встановлено, що в залежності від типу матриці суттєво змінюється морфологія мікроструктури матеріалів резистивного шару. Найбільша агрегація HfC відбувається при використанні матриці $Al_2O_3$. Частинки фази включення в матеріалах на основі матриці $Si_3N_4$ мають форму видовжених циліндрів або агрегатів, що направлені в напрямку гарячого пресування. При використанні матриці $Al_2O_3$ відповідні частинки направлені в напрямку перпендикулярному напрямку гарячого пресування. При використанні матриці AlN утворені провідні кластери мають вигляд лінійної ланцюгової структури.

2. Встановлено, що в композитах на основі матриці AlN, для всього діапазону концентрацій HfC, формується провідний кластер з металічним типом провідності. Відповідні матеріали мають позитивний ТКО (від 0,00085 1/K при 40 °С до 0,00065 1/K при 300 °С ) в усьому діапазоні досліджуваних температур.

3. Композити систем $Al_2O_3$-HfC і $Si_3N_4$-HfC характеризуються більш складною залежністю питомого опору від температури, яка крім того ще й залежить від концентрації добавки HfC. У відповідних композитах спостерігається термоактивована стрибкова провідність між найближчими сусідніми станами. Причому для матеріалів на основі матриці $Si_3N_4$ при температурах до 300 °С додатково спостерігається явище виснаження концентрації носіїв заряду з ростом температури, яке може виникати, якщо створюються системи типу МДН структур з плаваючим чи ізольованим затвором.

4. Найбільш придатною для виготовлення керамічних резистивних шарів для електричних нагрівачів є композиція AlN-HfC, яка має необхідний рівень питомого опору та позитивної ТКО в усьому діапазоні робочих температур та $Si_3N_4$-HfC, в якій відбувається самостабілізація електропровідності і

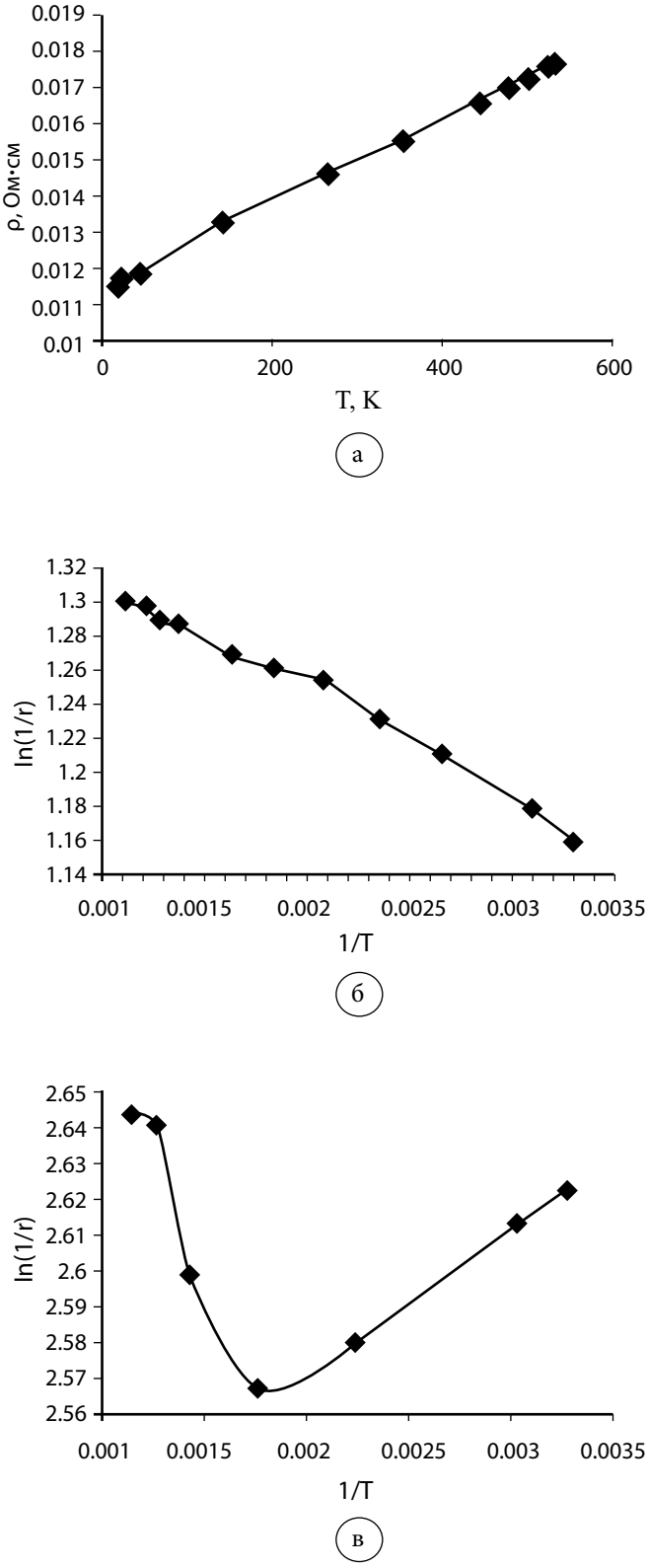



Рис. 5. Залежність питомого опору від температури резистивних композиційних матеріалів з різними матеріалами діелектричної матриці: а – AlN, б – $Al_2O_3$, в – $Si_3N_4$. Концентрація провідної добавки HfC – 15 об. %

загальний температурний коефіцієнт опору нагрівального елемента в широкому інтервалі температур близький до нуля.

**References**


1. www.omega.com.
2. www.global.kyocera.com.
3. *Petrovsky, V*. Electrical response on microstructure evolution of multicomponent ceramic matrix materials // Journal of Materials Scince and Engineering. – 2010. – Volume 4, №2 (Serial №27). – P. 39 - 51.
4. *Norhayati Ahmad Hidekazu Sueyoshi*. Properties of Si3N4–TiN composites fabricated by spark plasma sintering by using a mixture of $Si_3N_4$ and Ti powders // Ceramics International 36. – 2010. – P. 491 - 496.
5. *Jingguo Li, Lian Gao, Jingkun Guo.* Mechanical properties and electrical conductivity of TiN–$Al_2O_3$ nanocomposites // Journal of the European Ceramic Society 23. – 2003. – P. 69 - 74.
6. *Kh.V. Manukyan, S.L. Kharatyan, G. Blugan, P. Kocher, J. Kuebler*. $MoSi_2$–$Si_3N_4$ composites: Influence of starting materials and fabrication route on electrical and mechanical properties // Journal of the European Ceramic Society 29. – 2009. – P. 2053 - 2060.
7. *Stefan Köbel, Juliane Plüschke, Ulrich Vogt, Thomas J. Graule*. $MoSi_2$–$Al_2O_3$ electroconductive ceramic composites // Ceramics International 30. – 2004. – P. 2105 - 2110.
8. *Vitaly Ya. Petrovsky, Zbigniew, S. Rak*. Densication, microstructure and properties of electroconductive Si3N4±TaN composites. Part II: Electrical and mechanical properties // Journal of the European Ceramic Society 21. – 2001. – P. 237 - 244.
9. *Luo fa, Zhu dongmei, Su xiaolei, Zhou wancheng*. Properties of hot-pressed of SiC/$Si_3N_4$ nanocomposites // Materials Science and Engineering A 458. – 2007. – P.7 - 10.
10. *Ying-Da Yu, Aase Marie Hundere, Ragnvald Huier, Rafal E. Dunin-Borkowski, Mari-Ann Einarsrud.* Microstructural characterization and microstructural effects on the thermal conductivity of AlN($Y_2O_3$) ceramics // Journal of the European Ceramic Society 22. – 2002. – P. 247 - 252.
11. *Raffaele Savino, Mario De Stefano Fumo, Laura Silvestroni, Diletta Sciti*. Arc-jet testing on HfB2 and HfC-based ultra-high temperature ceramic materials // Journal of the European Ceramic Society 28. – 2008. – P. 1899 - 1907.
12. *Петровский, В.Я.* Физические принципы и технологические аспекты получения градиентных композитов на основе бескислородной керамики // Порошковая металлургия. – 1998. – № 7/8. – С. 50 - 54.
13. *McLachlan, D.S., Blaszkiewicz, M., Newnham, R.E.* Electrical Resistivity of Composes // J. Am. Ceram. Soc. – 1990. – 73 N 8. – P. 237 - 244.

# Experimental investigation of the parameters of water solution purposes by ceramic, coal filters and reverse-osmotic module

S.V. Gulienko

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", str. Polytechnichna, 39, Bldg. 19, Kyiv, 03056, Ukraine*
*Tel.: +380444068451*
*E-mail: ynk@kpi.ua*

*Article info: received 06.09.2019, revised 18.09.2019, accepted 26.09.2019*

*Gulienko, S.V. (2019) Experimental investigation of the parameters of water solution purposes by ceramic, coal filters and reverse-osmotic module 3(44), doi: 10.26909/csl.3.2019.4*

The urgent task is to research in detail the possibilities of operation of the reverse osmosis membrane in the conditions of changing various parameters, which include, first of all, the working pressure, the initial concentration of the cleaning solutions, as well as the working conditions and the complete set of cleaning stands with auxiliary filters: mechanical, ceramic and carbon, which improves the quality of water and increases the life of high-value reverse osmosis modules. Particular attention was paid in this series of experiments to the role of ceramic filters, since in the previous series of experiments the concentration of the solution did not change both after mechanical and after carbon filters. Therefore, it was decided to modernize the stand and use a ceramic filter in the flow chart.

In this work the detailed scheme of bench-scale setup with using of ceramic and carbon filters and also reverse-osmosis module is represented. The experimental researches of purification of NaCl water solutions were carried out in wide range of concentrations ($0{,}2\cdot10^{-3}$…6,5 g/l) and working pressures (0,2…0,65 MPa). The comparative characteristics of main process parameters with and without ceramic filter are represented.

The experiments were carried out on a laboratory stand for complex purification of aqueous solutions by microfiltration, adsorption and reverse osmosis using the following process steps carried out in the respective apparatus.

Key words: ceramic and carbon filters, adsorption, osmosis membrane.

# Експериментальні дослідження параметрів очищення водних розчинів керамічним, вугільним фільтрами та зворотно-осмотичним модулем

С.В. Гулієнко

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського", Київ, Україна*

В роботі представлено детальну схему лабораторного стенду з використанням керамічного, вугільного фільтрів та зворотно-осмотичного модуля. Виконані експериментальні дослідження по очищенню розчинів NaCl при зміні вихідних концентрацій розчинів ($0{,}2\cdot10^{-3}$…6,5 г/л) і робочих тисків (0,2…0,65 МПа) та приведені порівняльні залежності основних параметрів процесу з використанням керамічного фільтра та без нього.

**Вступ**

Вода відіграє вирішальну роль в багатьох процесах, що протікають в природі, та в забезпеченні життєдіяльності людини. В промисловості воду використовують як сировину, джерело енергії, холодоагент, розчинник, екстрагент тощо.

Комплексне очищення води забезпечує не тільки знесолення мінералізованих вод, але й їх очищення від більшості видів забруднень. Такі установки дозволяють отримувати очищену воду високої якості для побутових та промислових потреб при незначних економічних витратах у порівнянні з іншими методами, де не використовується зворотній осмос.

**Мета роботи**

Актуальною є задача детального дослідження можливостей роботи зворотно-осмотичної мембрани в умовах зміни різних параметрів, до яких в першу чергу слід віднести: робочий тиск, вихідну концентрацію розчинів, що очищуються, а також умови роботи та комплектацію очисних стендів допоміжними фільтрами: механічними, керамічними та вугільними, які покращують якість води та збільшують ресурс роботи високовартісних зворотно-осмотичних модулів. Особлива увага була приділена в цій серії дослідів ролі керамічних фільтрів, так як в попередніх серіях дослідів концентрація розчину не змінювалась як і після механічних, так і після вугільних фільтрів. Тому було вирішено модернізувати стенд і використати в технологічній схемі керамічний фільтр.

**Матеріали та методи дослідження**

На першому етапі проводились досліди при різних початкових концентраціях вихідного розчину та робочих тисках, змінювались концентрації вихідного розчину $x_{1п}$ в межах від $2 \cdot 10^{-3}$…6,5 г розчиненої солі NaCl в літрі дистильованої води і тиск Р в межах 0,15…0,7 МПа [3, 4]. На другому етапі витримувались усі попередні умови, але з використанням керамічного фільтра.

Експерименти проводилися на лабораторному стенді для комплексного очищення водних розчинів шляхом мікрофільтрації, адсорбції та зворотного осмосу (рис. 1) з використанням наступних стадій процесу, що здійснювалися у відповідних апаратах:

- попереднє механічне очищення відбувається у фільтрі 5, в якому картридж виготовлений з поліпропіленового волокна, що затримує різні механічні домішки;
- мікрофільтрація в фільтрі 6, де використовувались керамічні трубки;
- адсорбція летких субстанцій проходить у вугільному фільтрі 7;
- зворотній осмос, що здійснюється в мембранному модулі 11, є заключною стадією очищення води.

Стенд працює наступним чином. Вихідний водний розчин (суміш дистильованої води та солі NaCl), витрата якого вимірюється як витратоміром 4, так і мірником рівня 2 і секундоміром, із ємності 1 під гідростатичним тиском стовпа рідини подається на попередній механічний 20-мікронний фільтр 5, де очищується від механічних забруднень (іржі,

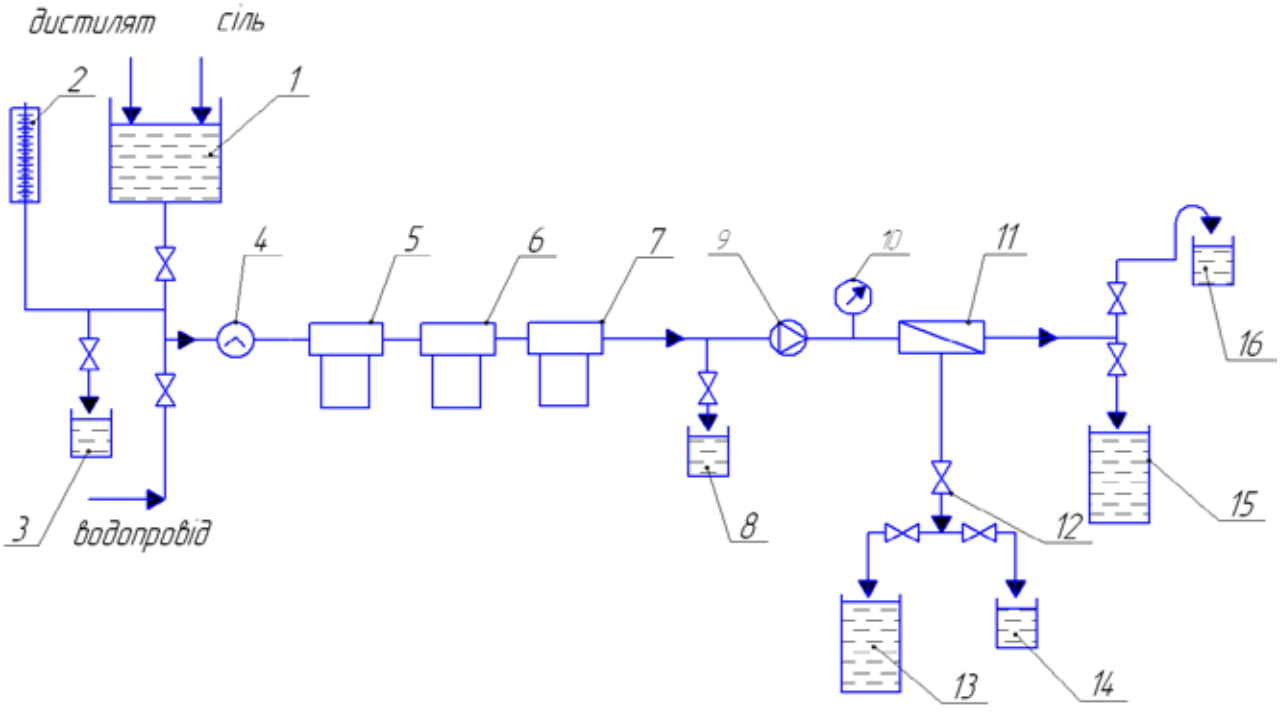



Рис. 1. Схема установки для комплексного очищення води:
1 – ємність вихідного розчину, 2 – мірник рівня , 4 – витратомір, 5 – механічний фільтр, 6 – керамічний фільтр, 7 – вугільний фільтр, 3, 8, 14, 16 – вимірювальні ємності концентрацій відповідно вихідного розчину, після вугільного фільтра, ретанту та перміату, 9 – насос, 10 – манометр, 11 – мембранний модуль, 12 – голчатий вентиль, 13 – збірник ретанту, 15 – збірник перміату

піску і інших механічних домішок) і поступає далі до керамічного фільтру 6, який складається з керамічних трубок діаметром 12х6,5 мм та 10х5 мм. Після цієї стадії очистки іде адсорбційний процес, який відбувається у вугільному фільтрі 7, що видаляє з водного розчину леткі субстанції (хлор та його з'єднання, органічні речовини, гази).

Після вугільного фільтру встановлено насос 9, що підвищує тиск в магістралі. Головним елементом стенду є рулонний мембранний модуль 11. Він видаляє з води розчинені в ній з'єднання NaCl. Стандартні зворотно-осмотичні модулі, що використовувались, мали робочу площу 1,5 м$^2$.

Продуктивність установки по перміату і ретанту змінювалась шляхом регулювання голчатим вентилем 12 тиску в магістралі ретанту (0,15..0,65 МПа), що дозволяє суттєво розширити експериментальні можливості установки.

Вимірювання солевмісту розчинів відповідно вихідного після ємності 1, після вугільного фільтра 7 та мембранного модуля 11 (як ретанту, так і перміату) здійснювалось портативним приладом TDS, датчик якого занурювався в проточні відбірники 3, 8, 14, 16. Всі вимірювання солевмісту розчинів здійснювалися кожні 10 хвилин і заносились у ПК. Крім концентрації розчинів, в експериментах фіксувались дані по витратах всіх потоків, час, тиск, температура, які одночасно вносились в ПК. За допомогою програми розраховувались дійсні та теоретичні значення основних параметрів зворотно-осмотичного модуля та всього стенду (селективність, проникненість, продуктивність та ін.). Крім того, програма дозволяє отримувати графічні залежності основних параметрів від вихідних даних (тиск, початкова концентрація і ін.).

**Результати та їх обговорення**

На рис. 2 приведені графічні залежності витрат ретанту та перміату від робочого тиску. На ці ж графіки нанесені дані другої серії дослідів, де використовувався керамічний фільтр. Витрати ретанту та перміату (рис. 2, а, б) практично не змінились, що пов'язано з діаметром пор кераміки, які не чинили суттєвого гідравлічного опору.

Загальний характер цих графічних залежностей можна пояснити принципом роботи зворотно-осмотичного фільтра при різних тисках: при перекритті голчатим краном вихідного отвору зростає тиск в магістралі, де рухається вихідний розчин, що обумовлено зростанням гідравлічного тиску, а відповідно і зменшується витрата ретанту (рис. 2, а). Ці обставини (зростання тиску, тобто рушійної сили перед мембраною) в свою чергу обумовлюють зростання витрат перміату (рис. 2, б).

Представлені на рисунку 3 залежності зміни концентрації розчиненої солі на виході з установки відповідно ретанту $x_{1к}$ і перміату $x_2$ від зміни тиску $\Delta p$ знаходять пояснення:

- по-перше, так як витрати солі з перміатом (рис. 2, б) порівняно з витратами солі з ретан-

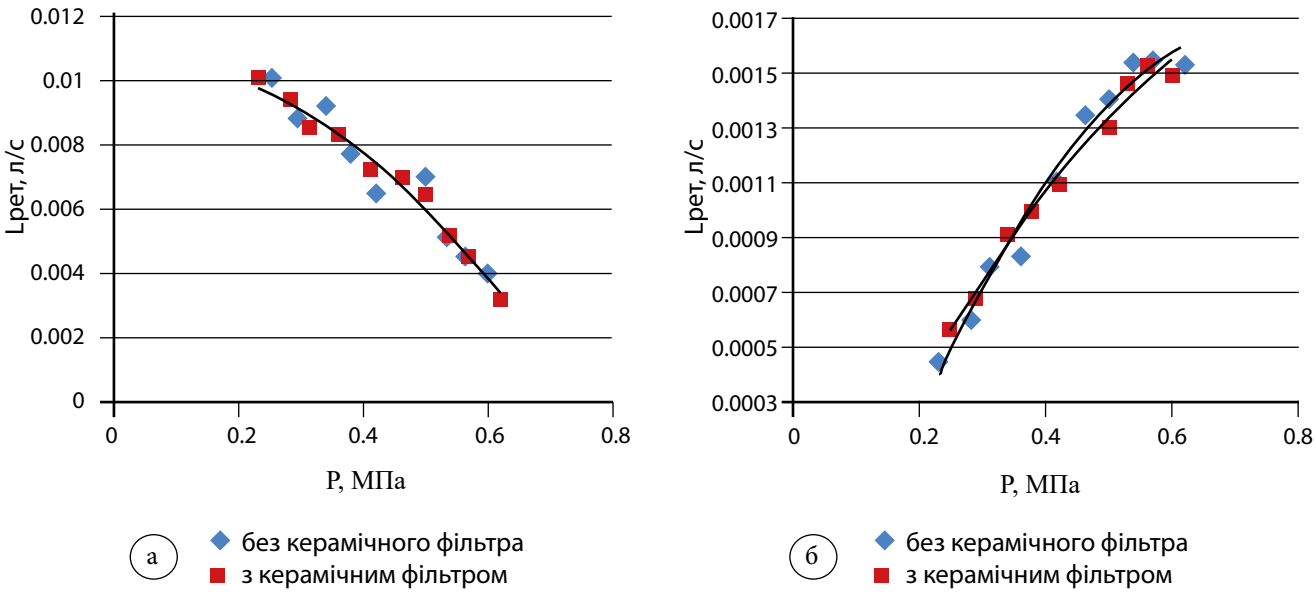



Рис. 2. Залежність витрати ретанту (а), перміату (б) від тиску

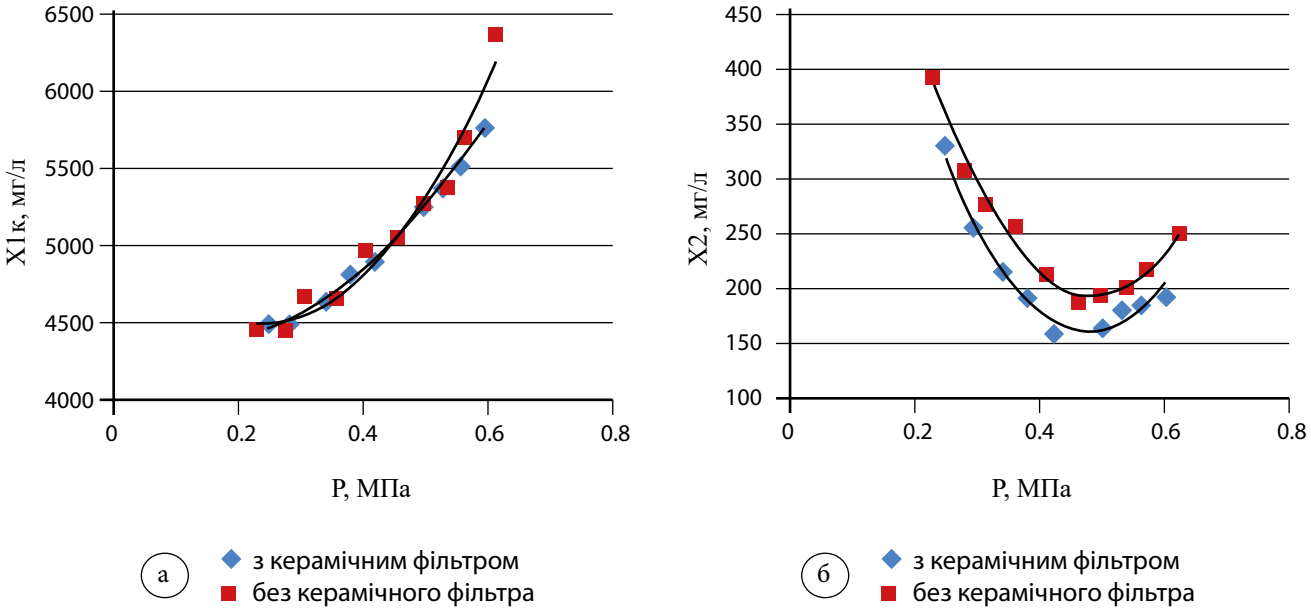



Рис. 3. Залежність концентрації ретанту (а) та перміату (б) від тиску

том склали менше 1 %, відповідно до матеріального балансу, то зміна одного із співмножників $L_{рет}$ в добутку $L_{1рет} \cdot x_{1к}$ обов'язково приведе до збільшення другого $x_{1к}$.

- по-друге, при верхніх межах тиску здатними проходити через отвори в мембрані буде тим більша кількість молекул $x_2$, чим більший тиск, але при певних тисках спостерігається мінімальне значення концентрації перміату, і при подальшому зменшенні тиску (представленні дослідження проводились при постійному зменшенні тиску) спостерігалося зростання концентрації перміату, що можна пояснити негативним впливом концентраційної поляризації, яка, на жаль, завжди має місце в мембранних процесах.

Деяке зменшення концентрації перміату (що є завжди позитивним) на кривій, яка отримана в другій серії дослідів (рис. 3, б), можна пояснити силами Ван-дер-Ваальса та явищем адгезії.

**Висновки**

1. Характер змін параметрів ($L$, $x$), що досліджувались, для різних робочих тисків знаходить логічне пояснення. Величина достовірності апроксимації експериментальних даних не перевищує 10 %, що свідчить про можливість проводити серійні досліди на представленому стенді.

2. Наявність мінімуму на кривий залежності $x_2 = f(\Delta p)$ застерігає від застосування надто великих робочих тисків, що може привести до погіршення якості (тобто зростання концентрації перміату $x_2$ розчинів, що очищаються.

3. Використання керамічних фільтрів є доцільним із технологічної точки зору.

**References**

1. *Сидоренко, С.В., Юдіна, А.В.* Дослідження очищення водних розчинів зворотнім осмосом // Збірка тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „Екологія. Людина. Суспільство" (13 - 18 травня 2009 р., м. Київ, Україна)." – К.: 2009. – С. 88 - 89.
2. *Дытнерский, Ю.И.* Обратный осмос и ультрафильтрация. – М.: Химия. – 1978. – 352 с.
3. *Сидоренко, С.В., Гулієнко, С.В., Юдіна, А.В., Тодорюк, Т.В.* Експериментальне дослідження роботи лабораторного стенду для очищення водних розчинів зворотнім осмосом. Зб. доповідей уч. XIII Міжнародної наукової конференції «Совершенствование процессов и оборудования пищевых и химических производств». – Одеса. – 2010.
4. *Сидоренко, С.В., Гулієнко ,С.В., Юдіна, А.В., Тодорюк, Т.В.* Експериментальне визначення залежностей селективності і проникненості від концентрації хлористого натрію і тиску в апараті зворотного осмосу. Зб. доповідей уч. XIII Міжнародної наукової конференції «Совершенствование процессов и оборудования пищевых и химических производств». – Одеса. – 2010.

## 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 (210х297 мм). У цей 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 меньше 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 ppi. 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 «ІЦ «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 № 2 від 26.09.2019 р.
Підписано до друку 27.09.2019 р.