

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**БІЛОУСОВ Олег Юрійович**

**УДК 666.641**

**ФІЛЬТРУВАЛЬНІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ ПОРОУТВОРЮЮЧИХ  
МАТЕРІАЛІВ РІЗНОГО ГЕНЕЗИСУ**

Спеціальність 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 2021

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана на кафедрі хімічної технології композиційних матеріалів  
Національного технічного університету України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Свідерський Валентин Анатолійович,**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», в.о. завідувача  
кафедри хімічної технології композиційних  
матеріалів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Луцюк Ірина Володимирівна,**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
професор кафедри хімічної технології силікатів

кандидат технічних наук  
**Нагорний Андрій Олегович,**  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут», доцент кафедри кераміки,  
вогнетривів, скла та емалей

Захист відбудеться « 12 » травня 2021 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.24 при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корпус 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «    » квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.002.24  
к.т.н., доцент

В.В. Глуховський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Комплексне вирішення питань індустріального розвитку, життєзабезпечення і охорони довкілля обумовило необхідність реалізації ефективних процесів фільтрації та очищення повітря, газів та рідин за допомогою пористих матеріалів. Особлива увага при цьому приділяється розширенню асортименту таких матеріалів, покращенню властивостей та експлуатаційної надійності шляхом оптимізації складу і технології. При цьому практичне розповсюдження в системах фільтрування та очищення отримали елементи пористої кераміки, які вироблялись в Україні на Слов'янському керамічному комбінаті.

Відомі розробки стосовно технології пористої кераміки головним чином базуються на використанні висококонцентрованих систем на основі ресурсоемного керамічного шамоту, виготовленого шляхом високотемпературного випалу вогнетривких глин. Аналіз ефективності використання наповнювачів, як фактору впливу на формування структури та властивостей фільтрувальних виробів зводиться до варіювання їх гранулометричного складу та пористості, проте зменшенням діаметру пор зменшує продуктивність фільтрів. Питання впливу складу і хімії поверхні інгредієнтів композитних матеріалів на процеси фільтрації практично не вивчені. Відсутні також дані стосовно дії різних режимів випалу на мінералогічний склад і порову структуру керамічних фільтрів. Тому створення нових видів ефективних фільтруючих матеріалів потребує реалізації нових підходів в частині вибору складових, детальної оцінки їх складу, порової структури, ступеня розвитку питомої ефективної поверхні та енергетичного стану.

Подальший розвиток конкурентоспроможного національного виробництва, збільшення асортименту та напрямків використання виробів з пористої кераміки нерозривно пов'язані з розширенням сировинної бази, розробкою нових складів мас, поглибленням наукових уявлень про зв'язок склад → структура → властивості у висококонцентрованих силікатних системах є актуальною науково-технічною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.** Дисертаційна робота виконувалась згідно з планами науково-дослідної діяльності кафедри хімічної технології композиційних матеріалів НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського" у рамках ініціативних тем «Фільтрувальні композити з матеріалів різного генезису» (ДР № 0119U103719), «Синтез полімерних композитів з органічними та неорганічними компонентами» (ДР № 0119U103717), в яких здобувач був відповідальним виконавцем.

**Мета і завдання дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягала у розвитку науково-технічних засад національного виробництва конкурентоспроможної пористої кераміки для систем очищення, зрошення та аерації шляхом розширення сировинної бази, встановлення закономірностей формування порової структури фільтруючої кераміки на основі наповнювачів різного генезису.

Для досягнення поставленої мети ставились до виконання наступні завдання:

– вибрати види матеріалів-наповнювачів, здатних забезпечити заміну в технології пористої кераміки енергоємного керамічного шамоту з вогнетривких глин;

- визначити особливості фазового складу та властивостей поверхні вихідних матеріалів-наповнювачів як факторів впливу на фільтруючу здатність пористої кераміки;

- дослідити залежність пористості та властивостей кераміки при диференціації видів наповнювачів та режимів випалу;

- оцінити ефективність введення пороутворюючих добавок - відходів промисловості як техногенної сировини;

- визначити нові склади мас для виготовлення пористої кераміки при низькотемпературному та швидкісному випалі;

- розробити нові конструктивні рішення застосування пористої кераміки в системах фільтрації та очищення різного призначення.

**Об'єкт дослідження** - пориста кераміка на основі мінеральних наповнювачів різного генезису.

**Предмет дослідження** – особливості та фізико-хімічні закономірності формування порової структури фільтруючої кераміки на основі наповнювачів різного генезису.

**Методи дослідження.** В ході роботи хімічний та гранулометричний склад вихідної сировини, фізико-технічні та експлуатаційні властивості пористої кераміки визначали згідно з діючими нормативно-технічними документами. Енергетичний стан, питома ефективна поверхня та змочуваність полярною та неполярною рідиною оцінювалась за допомогою інструментальних методів. Структура і фазовий склад досліджуваних матеріалів визначались за допомогою рентгенофазового, електронномікроскопічного та інфрачервоного методів фізико-хімічного аналізу. Обробка результатів експериментів здійснювалась при застосуванні методів математичної статистики.

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Обґрунтовано і експериментально підтверджено концепцію можливості регулювання фільтруючої здатності пористої кераміки з урахуванням фактору енергетичного стану та ліофільності поверхні частинок наповнювача.

Виявлено залежності характеристик порової структури кераміки від хіміко-мінералогічного складу матеріалу-наповнювача та ступеню випалу при однаковому гранулометричному складі та параметрах виготовлення.

Показана можливість регулювання характеристик порової структури, фазового складу та ступеню ліофільності кераміки при використанні композицій наповнювачів різного генезису.

Встановлено ефект інтенсифікації розвитку відкритих пор при використанні добавок техногенної сировини, дана його порівняльна оцінка ефекту для різновидів та кількості добавок.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Обґрунтовано технологічні принципи виготовлення елементів пористої кераміки для сучасних систем очищення та зрошення з урахуванням вимог ресурсозбереження та енергоощадження.

На основі отриманих результатів експериментально-теоретичних досліджень:

- розроблено нові склади мас для виготовлення пористої кераміки на основі наповнювачів штучного і природного походження та їх композицій;
- реалізовано метод підвищення відкритої пористості кераміки при введенні різновидів техногенної сировини з високим вмістом органічних речовин;
- запропоновано метод ангобування поверхні елементів кераміки для зменшення діаметру відкритих пор;
- вдосконалено конструкцію елементів пористої кераміки для технічних систем очищення рідин та сільськогосподарського зрошення.

Результати роботи впроваджено на підприємствах ТОВ «Ситалл», «Екосинтез-Керамікс ЛТД» (м. Слов'янськ Донецької області). Розроблено нові технічні рішення по конструктивному вдосконаленню фільтруючих елементів пористої кераміки та промислових систем водоочищення і зрошення ґрунту.

Результати роботи також впроваджено у навчальний процес для підготовки магістрів за спеціальністю 161 – "Хімічні технології та інженерія" на кафедрі хімічної технології композиційних матеріалів НТУ України «КПІ імені Ігоря Сікорського».

**Особистий внесок здобувача.** Положення і результати, винесені на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. У дисертаційній роботі використані власні ідеї автора. Експериментальні дослідження у лабораторних та напівпромислових умовах виконувалися автором особисто або за безпосередньої участі у складі наукової групи в період з 2003 по 2021 роки.

Особисто здобувачем виконано: критичний аналіз джерел інформації; вибір та порівняння фізико-хімічних властивостей мінеральних наповнювачів різного генезису, обробку отриманих даних експериментальних досліджень, визначення напрямків практичного застосування створеної пористої кераміки із конструктивним вдосконаленням відповідних систем очищення та зрошування; написання та оформлення друкованих робіт; захист новизни розробок через патентування.

Обговорення результатів досліджень, їх інтерпретація, узагальнення та формулювання висновків здійснювались разом із науковим керівником д.т.н., професором Свідерським В.А. та іншими фахівцями, які є співавторами наукових праць або рецензентами публікацій.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційного дослідження доповідались та обговорювались на наступних конференціях, семінарах та форумах: Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні керамічні матеріали та вироби» (м. Київ, 2006 р.); International conference «Science, research, development. Technics and technology» (Baku, 2019 р.); LV Международной заочной конференции «Развитие науки в XXI веке» (м. Харків, 2019 р.); VIII

Міжнародній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології: НТУ У «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (м. Київ, 2020 р.); X International Scientific and Practical Conference “Topical issues of the development of modern science” (Sofia, Bulgaria, 2020); II Міжнародній науково-практичній конференції «Пріоритетні напрями досліджень в науковій та освітній діяльності» - Львівський науковий форум (м. Львів, 2020 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 26 наукових праць, у тому числі 12 статей у наукових фахових виданнях (з них 7 статей у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та Європейського Союзу, 1 закордонних виданнях, що входять до WoS), 8 патентів України, 5 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертації викладено на 221 сторінці друкованого тексту, у тому числі 61 таблиця, 84 рисунки та 8 додатків. Список використаних джерел включає 213 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження на основі актуальності вдосконалення систем очищення та аерації як сучасних технічних засобів вирішення задач промисловості, сільського та комунального господарств. Сформовано мету, наукове завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено дані про апробацію та публікації, окреслено особистий внесок здобувача.

**Перший розділ** присвячено аналізу національної та іноземної науково-технічної літератури з питань стану сировинної бази, процесів структуроутворення, спікання, розвитку технології та виробництва пористої кераміки, поглиблення уявлень про фактори, що впливають на процеси пороутворення, властивості і фільтруючу здатність. Відзначено основні напрямки практичного використання виробів пористої кераміки.

Показано, що вироби з пористої кераміки є важливим елементом сучасних систем фільтрації та очищення газів, повітря і води, відзначаючись техніко-економічною ефективністю виробництва, а також експлуатаційною надійністю. Разом з тим постійне розширення напрямків застосування та асортименту пористої кераміки потребує подальшої модернізації технології їх виготовлення на основі поглиблення наукових уявлень про критерії вибору вихідних матеріалів, їх фізико-хімічні властивості та особливості формування структури виробів.

Виконані розробки головним чином базуються на використанні висококонцентрованих систем керамічний шамот (наповнювач) – рідке скло (зв'язуюче). Аналіз наповнювача як фактору впливу на формування структури та властивостей виробів зводиться до варіювання його гранулометричного складу при застосуванні ресурсоемного шамоту, виготовленого шляхом високотемпературного випалу вогнетривких глин. Структурні характеристики фільтруючої кераміки обмежуються показниками пористості. При цьому

ефективність очищення пов'язується із зменшенням діаметру пор при одночасному зменшенні продуктивності фільтрів. Практично відсутня інформація стосовно впливу на процеси фільтрації складу, енергетичного стану та фізико-хімічних властивостей поверхні порової структури.

На основі аналізу даних з інформаційних джерел визначені задачі, які необхідно вирішити в роботі для досягнення поставленої мети.

**У другому розділі** сформульовано теоретичні посилання до вибору об'єктів дослідження: вихідних матеріалів для виготовлення пористої кераміки відповідно з вимогами ресурсозбереження, енергоощадження та фізико-хімічних властивостей.

В якості наповнювачів було обрано керамічний шамот та породи вулканічного походження. Шамот відрізняється вихідною сировиною та технологічними параметрами виробництва:

- лубенський шамот є продуктом подрібнення керамічної цегли, виготовленої з легкоплавкої полімінеральної глини та випаленої у кільцевій печі періодичної дії при максимальній температурі 950 °С;

- сумський шамот - продукт подрібнення керамічної цегли, виготовленої з суміші легкоплавкої полімінеральної глини, тугоплавкої глини і суглинку та випаленої у тунельній печі безперервної дії при максимальній температурі 1050°С;

- часівоярський шамот - спеціальний продукт випалу на максимальну температуру 1150 °С (ШЧПК1) і 1320 °С (ШГЧ1) та подрібнення різновидів вогнетривкої і тугоплавкої глини місцевого родовища;

- майдан-вільський шамот є спеціальним продуктом випалу каоліну місцевого родовища на максимальну температуру 1250 °С і подрібнення.

Природні матеріали було обрано з порід вулканічного походження: відсів граніту Омелянівського родовища Житомирської області; відсів андезиту Хустського родовища Закарпатської області; перліт Берегівського родовища Закарпатської області; цеоліт Сокирницького родовища Закарпатської області.

Досліджувані вихідні матеріали суттєво відрізняються за хіміко-мінералогічним складом. Слід відмітити значну різницю вмісту діоксиду кремнію (до 10 мас.% між лубенським і сумським шамотом та ШГЧ1) та оксиду алюмінію (до 23 мас.% між лубенським та ШГЧ1). Зафіксовано також підвищений вміст оксиду кальцію (7,9 мас.%) в складі лубенського шамоту та відносно значні його в.п.п. (4,50 мас.%). Аналогічні втрати для часівоярського шамоту перебувають в межах 0,29–0,51 мас.%.

Особливостями хімічного складу магматичних порід є високий вміст діоксиду кремнію від 59,70 (андезит) до 72,08 мас.% (перліт). Співвідношення  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  при цьому змінюється в межах 5,78 (граніт) – 3,52 (андезит). Максимальний вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  зафіксовано для андезиту (16,97 мас.%). У випадку цеоліту спостерігається наявність аномально великих значень в.п.п – до 16,94 мас.%, що може бути зумовлено його структурними змінами при термічній обробці.

Досягнення поставленої в роботі мети здійснювалось з використанням сучасних фізико-хімічних методів аналізу, що доповнюють один одного, та тестування властивостей вихідних матеріалів і кераміки за діючими стандартами. Визначення ліофільності та питомої поверхні, умовного  $\text{tg } \delta$  на частоті 1000 Гц визначали за вдосконаленим методом Б.В. Дерягіна. Інфрачервоний аналіз проводили за допомогою Specord-75; рентгенофазовий аналіз - за допомогою дифрактометру ДРОН-4-0, підключеного через інтерфейс до комп'ютера, що дозволило проводити зйомку дифрактограм в чисельному вигляді в діапазоні  $2-70 2\theta$  з регулюванням кроку  $0,05^\circ$ ; час експонування кожної точки - 6 секунд. В При розшифровці фазового складу використовували базу даних Міжнародного комітету порошкових дифракційних стандартів (JCPDS). Електронно-мікроскопічний аналіз - за допомогою растрового електронного мікроскопу SELMI РЭМ – 106И.

Виготовлення пористої кераміки здійснювали напівсухим пресуванням з мас із однаковою гранулометриєю та вмістом 85 мас.% наповнювача та зв'язуючого (рідке скло) 15 мас.%. Випал здійснювали з диференціацією умов та режимів:

- в промисловій роликовій газовій печі за швидкісним режимом протягом 55 хвилин при максимальній температурі  $1125^\circ\text{C}$ ;
- в муфельній електричній печі за тривалим режимом випалу протягом 12 годин в інтервалі максимальних температур  $800 - 1100^\circ\text{C}$ .

**У третьому розділі** наведено результати досліджень мінералогічного складу, енергетичного стану та змочуваності поверхні обраних для дослідження матеріалів-наповнювачів різного генезису. Дана оцінка їх структуроутворюючих зв'язків та складових поверхневого шару в контексті зі ліофільністю та фільтруючою здатністю.

Мінералогічний склад лубенського шамоту характеризується розвиненими кристалічними фазами кварцу та різновидів польового шпату, наявністю гематиту, залишків гідрослюди та кальциту. Сумський шамот, окрім відмічених вище мінералів, містить додатково шпінель  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , воластоніт. Для часівоярського шамоту є характерним розвиток кристалічних фаз муліту та кристобаліту, більший в шамоті ШГЧ1, виготовленому із вогнетривкої основної глини при випалі на  $1320^\circ\text{C}$ , у порівнянні з ШГЧПК1, виготовленого із тугоплавкої напівкислої глини при випалі на  $1150^\circ\text{C}$ . Майдан-вильський шамот таких містить кварц, кристобаліт, муліт, польовий шпат, біотит.

Досліджувані магматичні породи значно відрізняються розвитком і кристалічних фаз (найбільшим у граніті та андезиті) і скло фази (найбільшим у перліті). При цьому природний цеоліт відзначається наявністю системи кристалічних фаз клиноптилоліт – кварц – польові шпати, розподілених розвиненій сулофазі.

Методом кількісної ІЧ-спектроскопії було оцінено вміст основних структуроутворюючих зв'язків Si-O-Si та Si-O-Al в складі шамоту, ступінь їх впорядкованості та ширину енергетичного спектра. Встановлено, що міцність



силоксанових зв'язків, судячи по положенню максимуму характеристичної смуги поглинання змінюється в такій послідовності: майдан-вильський дрібний > ШГЧПК1 > сумський > ШГЧ1 > лубенський > майдан-вильський крупний. Величина зміщення досягає до  $73\text{ см}^{-1}$  (рис.1). Найбільша кількість таких зв'язків присутня в складі лубенського ( $J_0/J=73,29$ ) та сумського ( $J_0/J=72,00$ ) шамоту. Для всіх інших видів шамоту цей показник перебуває в межах  $14,50 - 17,50$ .

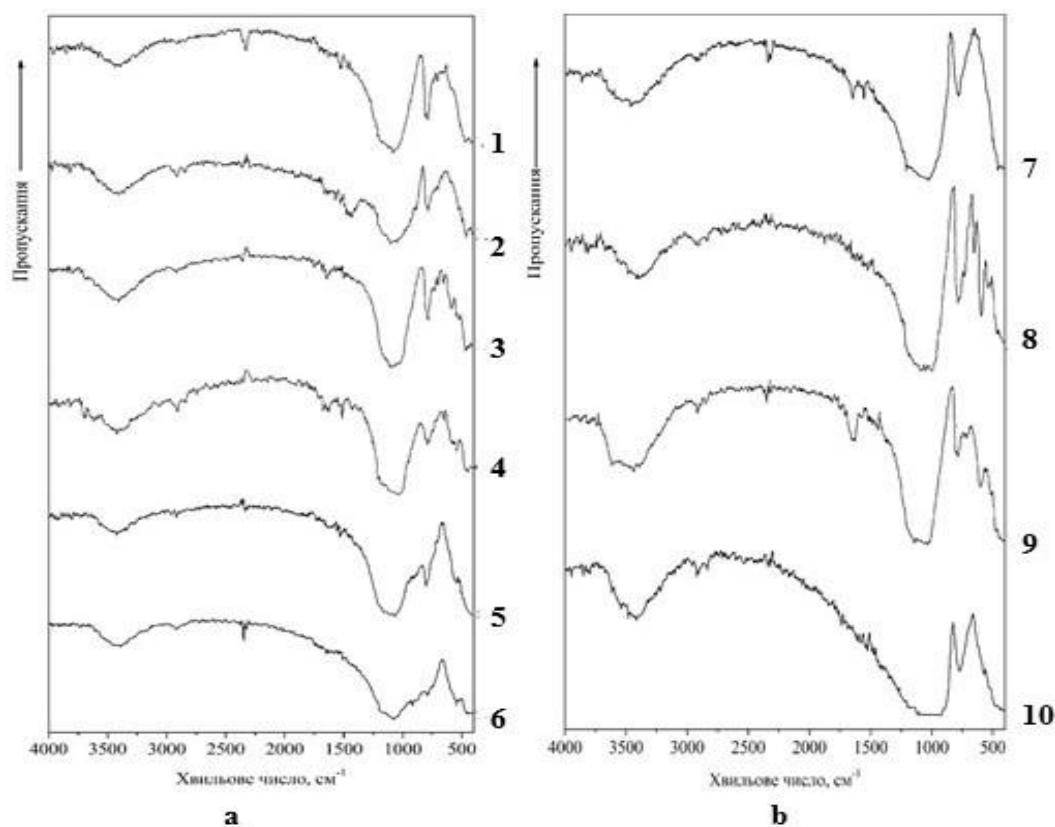


Рис. 1. ІЧ спектри шамоту (а) та природних матеріалів (б):

1 – сумський (К); 2 – лубенський (Л); 3 – майдан-вильський (МВкр); 4 – майдан-вильський (МВдр); 5 – часівоярський (ЧПК1); 6 – часівоярський (Ч1); 7 – перліт; 8 – граніт; 9 – цеоліт; 10 – андезит

Визначена ширина спектру розподілу енергії зв'язків Si-O-Si за показником  $\Delta\nu_{1/2}$  відповідних характеристичних смуг зменшується в ряду: ШГЧПК1 > сумський > майдан-вильський крупний.

Широкий діапазон в розміщенні максимумів характеристичних смуг поглинання гідроксильних груп шамоту свідчить про різний рівень міцності їх зв'язку з матрицею. Найбільш міцно вони зв'язані у ШГЧ1 ( $3620\text{ см}^{-1}$ ), а найменше для сумського шамоту –  $3860\text{ см}^{-1}$ , тобто зміщення може досягати  $240\text{ см}^{-1}$ . Найбільша кількість ОН-груп по відношенню до конкретної смуги поглинання відмічена для майдан-вильського дрібного шамоту ( $J_0/J=0,217$ ), що в 2–3,3 рази більше, ніж у інших матеріалів. Цей же шамот має самий широкий енергетичний спектр для відмічених груп ( $\Delta\nu_{1/2}$  досягає  $40\text{ см}^{-1}$ ) на фоні  $27\text{ см}^{-1}$  з продуктом лубенського виробництва.

В діапазоні хвильових чисел 3400 (сумський, ШГЧ1) – з 433  $\text{см}^{-1}$  (ШГЧПК1) знаходяться максимуми поглинання характеристичних смуг, відповідальних за валентні коливання адсорбованої води. Максимальна її кількість зафіксована в складі луганського та майдан-вільського шамоту ( $J_0/J=0,900$  в порівнянні з 0,250 у сумського та 0,330 у ШГЧПК1).

Ступінь енергетичної неоднорідності цієї води досить високий і досягає максимум у випадку лубенського шамоту ( $\Delta\nu_{1/2}$  смуги при 3408  $\text{см}^{-1}$  становить 667  $\text{см}^{-1}$ ). Всі інші матеріали, крім ШГЧ1, мають цей показник на рівні 332,5 (ШГЧПК1) – 573,2  $\text{см}^{-1}$  (майдан-вільський крупний).

Відмінною особливістю шамоту ШГЧ1 та майдан-вільського крупного являється прояв валентних коливань СН зв'язків у вигляді моносмуги відповідно при 2933 та 2927  $\text{см}^{-1}$ . Всі інші його марки мають відповідно три характеристичні смуги поглинання. Ступінь енергетичної однорідності СН зв'язків для лубенського та майдан-вільського дрібного шамоту досить високий, тобто розподіл енергії вуглеводневих зв'язків в основному різниться несуттєво.

Поєднання перерахованих вище особливостей в частині хімічного і мінералогічного складів, кількості, міцності та ступеня енергетичної однорідності структуроутворюючих зв'язків Si-O-Si, Si-O-Al, гідроксильних груп, адсорбованої води і органічної складової досліджуваних видів шамоту певним чином впливають на енергетичний стан їх поверхні.

Стосовно змочуваності водою при натіканні можливо виділити дві групи матеріалів (табл. 1). А саме, з мінімальним змочуванням 0,63-0,69 (ШГЧПК1 і лубенський шамот) та максимальним 0,82-0,90 (ШГЧ1 і майдан-вільський дрібний). Різниця при цьому досягає рівня в 1,25-1,43 рази.

Таблиця 1.

### Ефективна питома поверхня і коефіцієнт фільтрації шамоту

Шамот	Вода			Ксилол			tg $\delta$
	Змочуваність при натіканні	Ефективна питома поверхня, $\text{м}^2/\text{г}$	Коефіцієнт фільтрації, $\text{К} \cdot 10^6 \text{ см}^3 \cdot \text{с}/\text{г}$	Змочуваність при натіканні	Ефективна питома поверхня, $\text{м}^2/\text{г}$	Коефіцієнт фільтрації, $\text{К} \cdot 10^6 \text{ см}^3 \cdot \text{с}/\text{г}$	
Сумський	0,88	15,4	1,03	0,37	7,2	0,58	0,035
Лубенський	0,65	9,0	1,52	0,47	5,4	1,05	0,018
Майдан-вільський крупний	0,79	12,3	1,32	0,45	6,2	0,69	0,028
дрібний	0,90	16,4	1,34	0,48	9,0	0,67	0,060
ШГЧПК1	0,63	9,7	1,33	0,38	4,2	0,68	0,022
ШГЧ1	0,82	11,1	2,30	0,43	6,6	0,72	0,030

Ксилолом шамот змочується гірше (від 1,38 разів для лубенського до 2,38 для сумського). Різниця в змочуваності досягає 1,26 рази.

Згадані види шамоту займають відповідно останнє та перше місця в ряду оцінки коефіцієнта ліофільності (різниця в 1,72 рази). Для всіх інших цей показник різниться несуттєво і перебуває в межах від 1,65 (ШГЧПК1) до 1,90 (ШГЧ1).

Оцінка енергетичного стану поверхні шамоту за даними умовного  $\text{tg}$  кута діелектричних втрат відносно добре корелює із змочуваністю при натіканні. Чільне місце займає майдан-вильський дрібний, що в 3,33 рази більше, ніж у лубенського шамоту. Показник тангенса кута для всіх інших матеріалів перебуває в межах 0,022 (ШГЧПК1) – 0,035 (сумський).

Найбільш розвинена ефективна робоча поверхня по змочуваності водою для шамоту майдан-вильського дрібного ( $16,4 \text{ м}^2/\text{г}$ ), а найменше  $9,0 \text{ м}^2/\text{г}$  для лубенського (різниця складає 1,8 рази). Слід також відмітити і сумський шамот ( $15,0 \text{ м}^2/\text{г}$ ).

При змочуваності при натіканні ксилолом ефективна поверхня зменшується в 1,7 (лубенський, ШГЧ1) – 2,3 (ШГЧПК1) рази при збереженні відмічених вище особливостей. Виключення становить найменша поверхня ( $4,2 \text{ м}^2/\text{г}$ ) для ШГЧПК1. Різниця при цьому між цим шамотом і майдан-вильським дрібним до 2,1 разів.

Детальний кількісний ІЧ-спектральний аналіз природних матеріалів показав присутність в їх складі більш простих сполук, функціональних груп та хімічних зв'язків. Серед останніх в першу чергу слід відмітити коливання структуроутворюючих місткових і немісткових зв'язків Si-O-Si (валентний інтервал  $640\text{-}690 \text{ см}^{-1}$ , за виключенням цеоліту та  $1000\text{-}1126 \text{ см}^{-1}$ ), Si-O-Al ( $710\text{-}780 \text{ см}^{-1}$ ). Присутні також характеристичні смуги поглинання, відповідальні за деформаційні коливання зв'язків Si-O<sup>-</sup> ( $440\text{-}436 \text{ см}^{-1}$ ) та Si-O-Al ( $507\text{-}593 \text{ см}^{-1}$ ). Відмічено наявність більш широкого спектру поглинання для останніх у випадку цеоліту і граніту.

Заслугує також уваги присутність для цеоліту та граніту смуг поглинання в діапазоні  $1426\text{-}1453 \text{ см}^{-1}$ , які можуть бути зв'язані з присутністю в матеріалах сполук кальцію. Особливості хіміко-мінералогічного складу матеріалів вулканічного походження, структуроутворюючих зв'язків, присутності гідроксильних груп, адсорбованої води та груп C-H впливають на склад та енергетичний стан їх поверхні.

Встановлено, що найкраще змочуються водою при натіканні цеоліт (0,71) та андезит (0,63). Їх перевага над гранітом і перлітом досягає відповідно 1,73-1,53 рази (табл. 2). Стосовно ксилолу незаперечну перевагу має тільки цеоліт. Його перевага перед перлітом складає 151% при відносно однаковому рівні його змочуваності з андезитом та перлітом (різниця складає відповідно 12,9 та 16,1 відсотки).

Таблиця 2.

### Енергетичний стан поверхні природних матеріалів

Природні породи	Вода			Ксилол			$\text{tg } \delta$
	Змочуваність при натіканні	Ефективна питома поверхня, $\text{м}^2/\text{г}$	Коефіцієнт фільтрації, $\text{К} \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 \cdot \text{с}/\text{г}$	Змочуваність при натіканні	Ефективна питома поверхня, $\text{м}^2/\text{г}$	Коефіцієнт фільтрації, $\text{К} \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 \cdot \text{с}/\text{г}$	
Перліт	0,45	4,5	1,82	0,31	2,9	0,54	0,016
Граніт	0,41	2,6	4,72	0,36	1,1	1,18	0,013
Цеоліт	0,71	18,1	2,97	0,47	12,9	2,10	0,025
Андезит	0,69	10,1	1,35	0,35	5,0	0,63	0,027

Співставлення змочуваності при натіканні полярною і неполярною рідинами показало суттєву різницю між андезитом та гранітом (в 1,73 рази, при відносно однакових показниках коефіцієнта ліюфільності для перліту і цеоліту (1,45–1,51).

Схожа картина спостерігається і при оцінці енергетичного стану поверхні досліджуваних матеріалів за показниками умовного  $\text{tg}$  кута діелектричних втрат. У цеоліту і андезиту тангенс кута в 1,6–2,1 рази відповідно вищий, ніж для перліту і граніту. Аналогічним чином для досліджуваних природних матеріалів співвідноситься і ефективна питома поверхня по воді.

Поєднання зазначених вище особливостей складу, структури шамоту, енергетичного стану поверхні та рівня її розвиненості призводять до певної диференціації фільтрувальних властивостей досліджуваних матеріалів.

Проведені фізико-хімічні дослідження в частині оцінки відповідності природних матеріалів та шамоту (сумський, лубенський, майдан-вильський в якості інгредієнтів для отримання пористої фільтрувальної кераміки дозволили отримати кількісні дані в частині визначення хімічного і мінералогічного їх складу, гідрофільно-ліюфільного балансу та енергетичного стану їх поверхні, ступеня її розвитку. Оцінено фільтруючу здатність (за коефіцієнтами фільтрації в дисперсному стані води і ксилолу) вказаних матеріалів.

Надано інтерпретацію отриманих результатів стосовно фільтруючої здатності досліджуваних матеріалів з врахуванням перерахованих вище їх особливостей та даних кількісної ІЧ-спектроскопії в частині структуроутворюючих зв'язків Si-O-Si, Si-O-Al, гідроксильних груп, адсорбованої води та фактичних компонентів їх структури.

**Четвертий розділ** містить результати дослідження впливу шамоту і природних матеріалів на формування порової структури кераміки, склад і властивості її поверхні та фільтруючу здатність.

Встановлено, що при випалі протягом 15 годин в інтервалі максимальних температур 800 – 1100 °С кераміка із досліджуваних мас характеризуються аналогічною кінетикою спікання при відмінностях у водопоглинанні та густині. В першу чергу це стосується зразків Л на основі лубенського шамоту, отриманого з полімінеральної глини при низькотемпературному випалі (рис. 2).

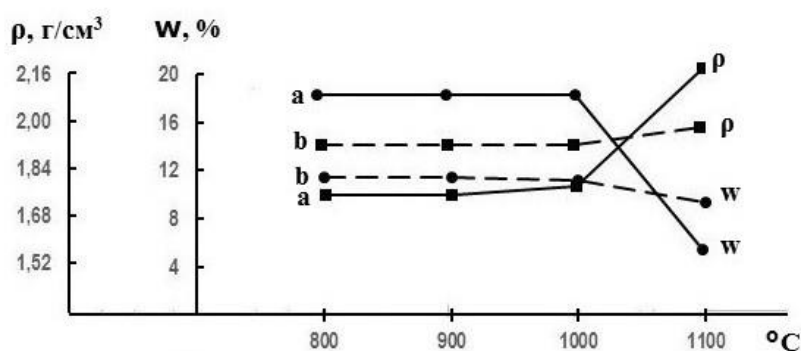


Рис. 2. Залежність водопоглинання ( $w$ ) і густини ( $\rho$ ) кераміки на основі шамоту Л (а) та Ч1 (b) від максимальної температури випалу

Випал такої кераміки в інтервалі максимальних температур 800–1000 °С забезпечує водопоглинання 19,1 мас.% та густину 1,75–1,78 г/см³. Збільшення

максимальної температури випалу до 1100 °С спікання інтенсифікується і водопоглинання зменшується до 6,2 мас.%, а густина зростає до 2,16 г/см<sup>3</sup>. Кераміка Ч1 на основі часівоярського шамоту після випалу в інтервалі максимальних температур 800-1000 °С характеризуються водопоглинанням 11,4-11,2 мас.% та густиною 1,92 г/см<sup>3</sup>, при випалі на 1100 °С – зменшенням водопоглинання до 9,4 мас.%, зростанням густини до 1,98 г/см<sup>3</sup>.

Результати випробувань свідчать, що досліджувані матеріали після випалу мають суттєві відмінності у характеристиках порової структури. Встановлено, після випалу кераміка на основі лубенського шамоту за тривалим режимом на максимальну температуру 900 °С відрізняються від інших найбільшим розвитком пористості. Порівняно зі часівоярським шамотом загальна пористість зростає в 1,3 рази, відкрита пористість – у 1,5 рази. Кераміка Л володіє найбільшою питомою часткою відкритих пор (98,4 проти 81,9 %), що важливо для практичного використання в системах фільтрації та рідино- і газоочищення (рис. 3).

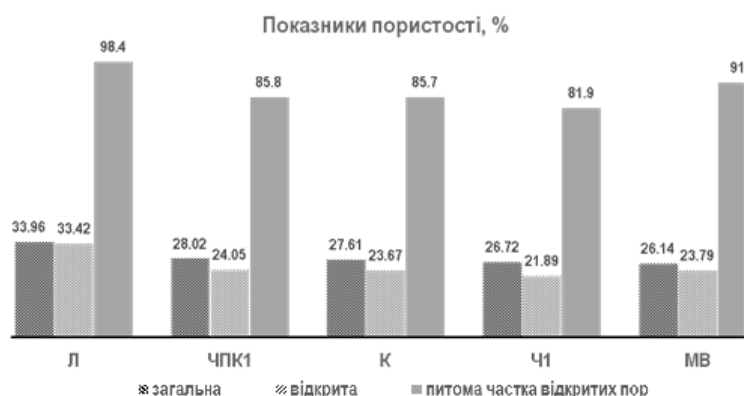


Рис. 3. Пористість кераміки на основі шамоту

Після випалу за швидкісним режимом на максимальну температуру 1125 °С кераміка на основі лубенського шамоту у порівнянні зі Ч1 характеризуються значно більшою питомою часткою відкритих пор - 95,5 проти 67,1 %.

Електронномікроскопічний аналіз дозволив наочно оцінити особливості порової структури досліджуваної кераміки по морфології, генезису, величині та ступеню анізотропії. Встановлено кераміка Л на основі низьковипаленого шамоту з полімінеральної глини характеризуються пористістю:

- за величиною (по І.М. Губкіну) – капілярною із переважним діаметром пор 5-10 мкм та окремими з діаметром 10-20 мкм проти відповідно 15-20 мкм та 5-10 мкм у випадку Ч1;
- за генезисом – вторинною, що утворилася при випалі глини на шамот і далі при випалі поліфракційної системи шамот-рідке скло;
- за морфологічними ознаками – між зерною, що визначається просторовим співвідношенням частинок і агломератів наповнювача, осклованих у випадку Ч1.

Кераміка Л відрізняються від Ч1 суттєво меншим ступенем анізотропії мікробудови та просторового розподілу пор, що позитивно впливає на фільтраційні властивості (рис. 4).

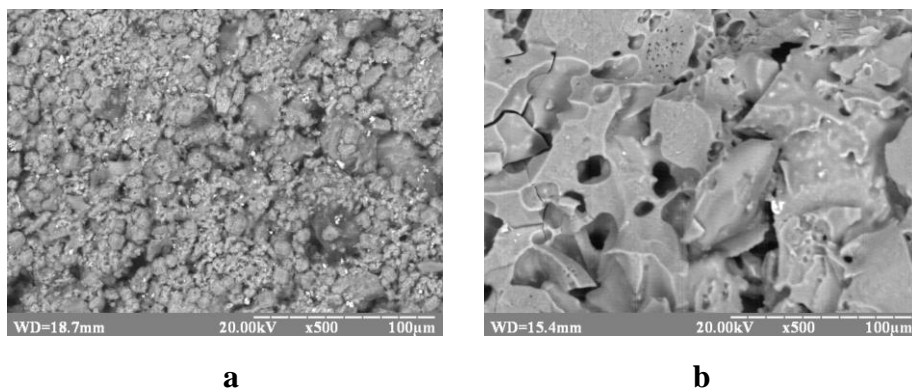


Рис. 4. Мікроструктура пористої кераміки Л (а) і ЧІ (б)

За даними рентгенофазового аналізу після випалу на максимальну температуру 900 °С кераміка ЧІ відрізняється від вихідного часівоярського шамоту модифікаційними перетвореннями домішок польових шпатів (3,18, 3,20 Å) та кварцу із збільшенням кількості  $\alpha$ -кристобаліту (4,04 Å), а кераміка Л від вихідного шамоту руйнуванням ґраток породоутворюючих мінералів гідрослюди (9,9 Å) і кальциту (3,03 Å); утворенням кристалічних фаз волластоніту (2,97 Å) і геленіту (2,85 Å); модифікаційними перетвореннями польових шпатів (3,18, 3,20 Å) та кварцу із збільшенням кількості  $\alpha$ -кристобаліту (4,04 Å).

Кераміки на основі порід вулканічного походження: після випалу в інтервалі максимальних температур 800-1000 °С матеріали на основі цеоліту (Z) мають водопоглинання 18,2-15,3 мас.% та густину 1,69-1,77 г/см<sup>3</sup> (рис. 5).

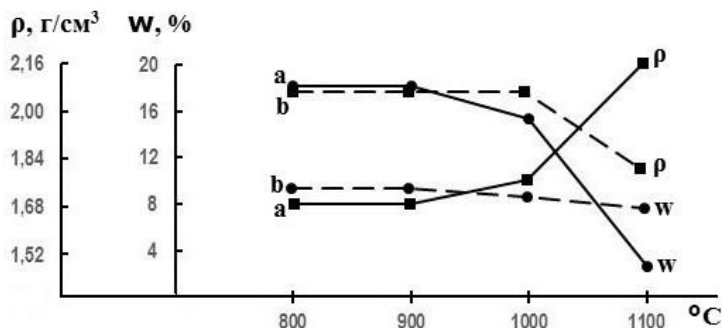


Рис. 5. Залежність водопоглинання (w) і густини (ρ) кераміки на основі цеоліту (а) та граніту (б) від максимальної температури випалу

Встановлено (рис. 6). що після випалу за тривалим режимом на максимальну температуру 900 °С кераміка на основі цеоліту відрізняються від інших значним розвитком пористості. При цьому у порівнянні зі відсівами граніту загальна пористість зростає в 1,7 рази, відкрита у 1,6 рази. Питома частка відкритих пор складає 92,6 проти 98,4 %.

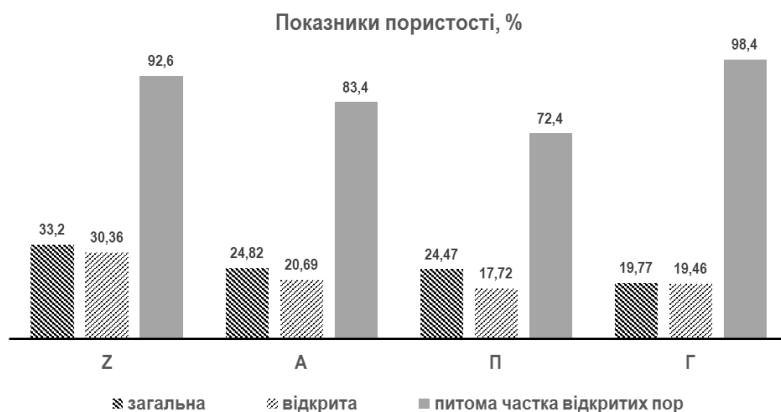


Рис. 6. Пористості кераміки на основі природних матеріалів після випалу на 900 °С

Відмінності протікання фізико-хімічних процесів при спіканні кераміки на основі природних матеріалів після випалу за швидкісним режимом на максимальну температуру 1125 °С проявляються наступним чином: кераміки на основі цеоліту у порівнянні з гранітом при менших значеннях загальної пористості – 23,0 проти 31,0 % та відкритої пористості – 12,9 проти 21,4 % має питому частку відкритих пор 56,1 проти 69,0 %. З погляду на мету даної роботи важливим є підвищення питомої ефективної поверхні та коефіцієнту ліофільності кераміки на основі лубенського шамоту і цеоліту у порівнянні з керамікою на основі високовипаленого часівоярського шамоту (табл.3).

Таблиця 3.

**Ліофільність та питома ефективна поверхня кераміки**

Код проби	Коефіцієнт ліофільності	Питома ефективна поверхня, м <sup>2</sup> /г		Умовний tgδ
		вода	ксилол	
Ч1	0,64	8,2	7,4	0,023
Л	0,76	10,8	10,1	0,019
З	0,88	13,1	8,8	0,029

У п'ятому розділі викладено результати дослідження та розробок, спрямованих на підвищення ефективності застосування в системах фільтрації та очищення пористої кераміки шляхом комплексного регулювання складу, властивостей поверхні, пористості та конструктивних змін виробів.

Показано можливість вдосконалення складу, властивостей та технології виготовлення фільтруючої пористої кераміки на основі композицій наповнювачів різного генезису. При цьому показники властивостей варіюються в широкому спектрі по густині, водопоглинанню, загальній та відкритій пористості. Виходячи з мети даної роботи важливо, що застосування композицій наповнювачів при однаковій гранулометрії, способі формування і режимі випалу дозволяє регулювати показники властивостей поверхні порової структури як в інтервалі відповідних значень складових композиції (зразки x1,y3), так і розширюючи ці інтервали (табл. 4).

Таблиця 4.

**Властивості поверхні порової структури кераміки  
на основі композицій наповнювачів**

Код зразків	Композиція наповнювачів	Коефіцієнт ліофільності	Коефіцієнт фільтрації, К·10 <sup>-6</sup> см <sup>3</sup> ·с/г		Умовний tgδ
			вода	ксилол	
х	шамот Ч1+лубенький	0,45	2,4	3,3	0,017
у6	граніт+цеоліт	0,57	1,5	2,0	0,022
у7	андезит+цеоліт	0,31	1,1	1,8	0,014
х1	шамот лубенький+цеоліт	0,72	1,6	1,9	0,017
х2	шамот Ч1+цеоліт	0,42	1,3	2,2	0,017
у3	граніт+шамот лубенський	0,40	1,4	2,4	0,017
у2	андезит+шамот лубенський	0,33	2,3	3,4	0,015

Вказані зміни показників властивостей поверхні за отриманими результатами рентгенофазового аналізу пов'язуються з відмінностями фазових перетворень композицій наповнювачів при випалі та з відповідними структурними змінами поверхні за даними ІЧ-спектроскопії. При цьому відмічено можливість переважного впливу адсорбованої води в складі досліджених систем порівняно з ОН- та СН- групами на процеси змочування та, як наслідок, фільтрації.

Дана оцінка ефективності застосування добавок відходів промислового виробництва паперу (скопу) і рису (лузги) як пороутворюючих добавок в маси для виготовлення пористої кераміки. Встановлено, що введення 5 мас.% рисової лузги в масу *p* на основі лубенського шамоту після тривалого випалу на максимальну температуру 900 °С забезпечує зростання водопоглинання в 1,6 рази, загальної пористості в 1,4 рази, відкритої в 1,25 рази (рис. 7). Швидкісний випал на максимальну температуру 1125 °С загальну пористість у 2,1 рази, відкрити в 1,7 рази. Підвищення вмісту лузги до 10 мас. % забезпечує зростання загальної пористості у 2,2 рази, відкритої у 2,1 рази.

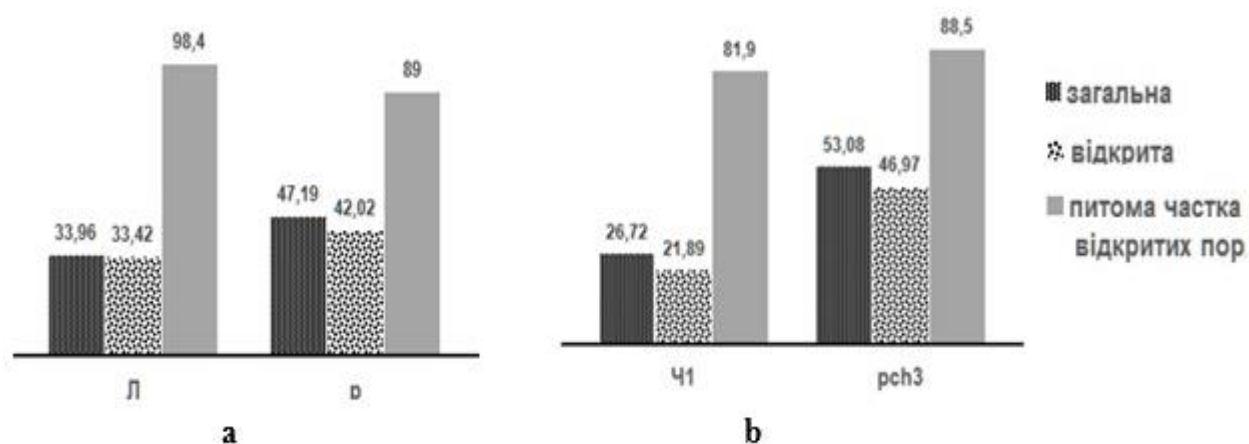


Рис. 7. Пористість кераміки на основі шамоту з добавкою лузги після випалу на 900 °С лубенського (а), часівоярського (б)

У випадку кераміки на основі часівоярського шамоту суттєвий ефект досягається при введенні 10 мас.% лузги. При цьому після тривалого випалу на 900 °С спостерігається зростання водопоглинання від 11,4 до 38,5 мас. % або в 3,4 рази, загальної пористості від 26,72 до 53,08 % або в 2,0 рази, відкритої пористості від 21,89 до 46,97 % або в 2,1 рази (рис. 8).

При введенні рисової лузги в масу на основі цеоліту із збільшенням вмісту добавки до 10 мас. % після тривалого випалу на 900 °С спостерігається зростання водопоглинання від 18,2 до 29,4 мас. % або в 1,6 раз, загальної пористості від 33,20 до 44,94 % або в 1,4 рази, відкритої пористості від 30,76 до 39,98 % або в 1,3 рази (рис. 8).



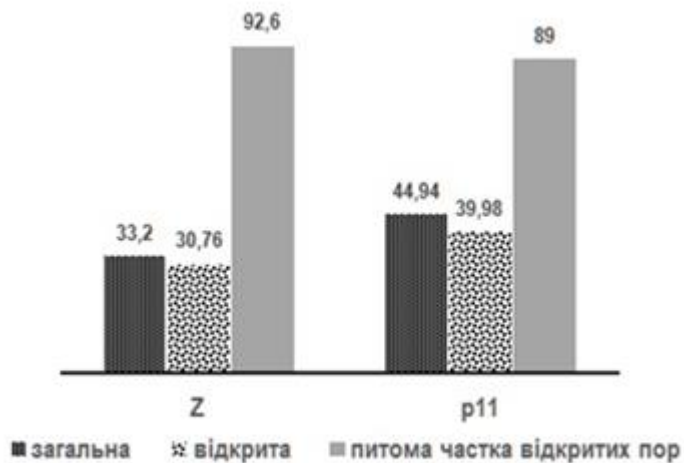


Рис. 8. Пористість кераміки на основі цеоліту з добавкою лузги після випалу на 900 °С

Після швидкісного випалу на максимальну температуру 1125 °С із збільшенням вмісту добавки до 10 мас.% спостерігається зростання водопоглинання від 6,8 до 25,1 мас.% або в 3,7 рази, загальної пористості від 22,95 до 48,94 % або в 2,1 рази, відкритої пористості від 12,87 до 30,37 % або в 2,4 рази.

#### Результати

електронномікроскопічного аналізу дозволили наочно оцінити особливості порової

структури досліджуваної пористої кераміки при введенні добавок рисової лузги. Встановлено (рис. 9), зразки кераміки pz на основі природного цеоліту з добавкою 5 мас.% рисової лузги характеризуються пористістю:

- за величиною (по І.М. Губкіну) – капілярною із переважним діаметром пор 5-10 мкм та окремими з діаметром 10-20 мкм;
- за генезисом – первинною, що пов'язана із процесом природного утворення цеоліту, та вторинною, що утворилася при випалі вихідної поліфракційної системи цеоліт - рисова лузга - рідке скло;
- за морфологічними ознаками – міжзерновою, що визначається просторовим співвідношенням частинок і агломератів наповнювача.

Зразки кераміки p11 на основі природного цеоліту з добавкою 10 мас.% рисової лузги характеризуються пористістю:

- за величиною (по І.М. Губкіну) – капілярною із переважним діаметром пор 5-10 мкм та 15-30 мкм;
- за генезисом – первинною, що пов'язана із процесом природного утворення цеоліту, та вторинною, що утворилася при випалі вихідної поліфракційної системи цеоліт- рисова лузга - рідке скло;
- за морфологічними ознаками – міжзерновою, що визначається просторовим співвідношенням частинок і агломератів наповнювача.

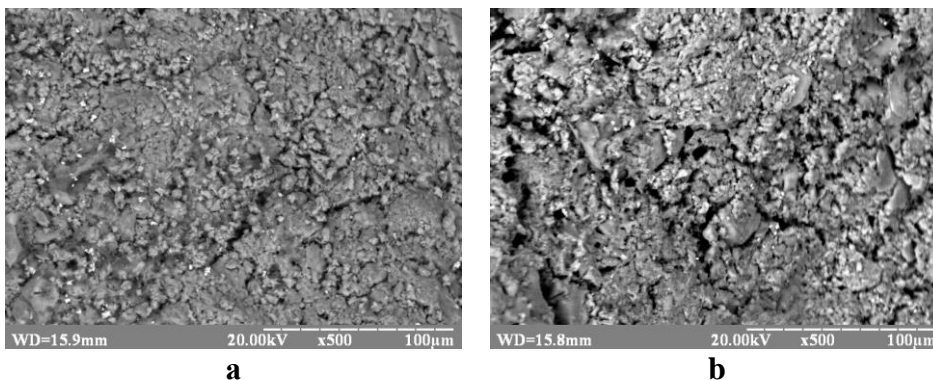


Рис. 9. Мікроструктура пористої кераміки pz (a) і p11 (b)

Отримані результати експериментів свідчать про вплив добавки рисової лузги на показників властивостей поверхні та ліофільності пористої кераміки на основі природного цеоліту.

За даними ІЧ-спектроскопії та аналізу по методу Б.В. Дерягіна виявлено вплив добавок скопу та рисової лузги на властивості поверхні та ліофільності пористої кераміки. Це проявляється у збільшенні коефіцієнту фільтрації: для кераміки на основі часівоярського шамоту – по воді 4,20 проти  $3,20 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>·с/г, по ксилолу - 4,90 проти  $3,80 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>·с/г; для кераміки на основі лубенського шамоту – по воді 3,20 проти 1,20, по ксилолу – 3,70 проти  $1,10 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>·с/г; для кераміки на основі цеоліту - по воді до 3,80 проти 2,70, по ксилолу – 4,60 проти  $2,30 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>·с/г.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну задачу розвитку засад хімічної технології пористої фільтруючої кераміки відповідно до сучасних вимог ресурсозбереження. Досліджено та науково обґрунтовано значення складу і енергетичного стану поверхні основних матеріалів-наповнювачів як фактору утворення порової структури кераміки для ефективних технічних систем очищення рідин і зрошування ґрунту.

1. Виявлено особливості і зв'язок генезису, хіміко-мінералогічного складу та властивостей поверхні матеріалів-наповнювачів. Щодо матеріалів штучного походження це визначається складом глинистої сировини та режимами випалу, для природних матеріалів – складом та умовами формування магматичних порід. При цьому дана оцінка характеристикам ліофільності та питомої ефективної поверхні потенційних наповнювачів як факторів фільтраційної здатності.

2. Встановлено, що кераміка на основі наповнювачів різного генезису при однакових гранулометричному складі наповнювачів, зв'язуючому компоненті, кількісному співвідношенні наповнювача та зв'язуючого, параметрах формування суттєво відрізняється за ступенем спікання, фазовим складом, характеристиками пористості та властивостей поверхні порової структури. Вказані відмінності найбільш контрастно проявляються при виготовленні пористої кераміки на основі шамоту низькотемпературного випалу з полімінеральної легкоплавкої глини та природних матеріалів вулканічного походження у порівнянні з відомим по виробничому використанню шамотом високотемпературного випалу з вогнетривкої глини. Цим визначається енергоощадний аспект розробок даної роботи.

3. Показано, що застосування композицій вказаних матеріалів (шамоту різного складу і ступеню спікання, магматичних порід різного складу і густини, сумішей шамоту і магматичних порід) як комплексного наповнювача дозволяє спрямовано регулювати в широкому діапазоні структурні та адсорбційно-ліофільні характеристики пористої кераміки як значимих факторів впливу на їх продуктивність та ефективність використання в технічних системах фільтрації та очищення.

4. Введення в маси для виготовлення пористої кераміки добавок відходів виробництва паперу та рису (скопа та лузги) суттєво впливає на спікання, фазовий склад, характеристики пористості та властивості поверхні матеріалу. Проте ступінь ефекту залежить від виду та кількості добавки, різновиду наповнювачів, режиму випалу. Більш висока ступінь поризації досягається при застосуванні рисової лузги, проте в обох випадках мають місце позитивні екологічні та технологічні ефекти.

5. Експериментально підтверджено, що добавка 20 мас.% скопу в масу на основі лубенського шамоту після тривалого випалу на 900 °С сприяє зростанню: водопоглинання в 1,4 рази, загальної пористості в 1,3 рази, відкритої пористості в 1,3 рази. Швидкісний випал на 1125 °С сприяє зростанню: водопоглинання в 1,7 раз, загальної пористості в 1,9 раз, відкритої пористості в 1,5 раз.

6. При введенні 20 мас.% скопу в масу на основі цеоліту після тривалого випалу на 900 °С зростає: водопоглинання у 1,4 рази, загальна пористість у 1,2 рази, відкрита пористість у 1,2 рази. Після швидкісного випалу на 1125 °С зростає: водопоглинання у 3,4 рази, загальна пористість у 2,5 рази, відкрита пористість у 1,9 раз.

7. Ефективність застосування рисової лузги визначається тим, що при введенні 5 мас.% в масу на основі лубенського шамоту після тривалого випалу на 900 °С сприяє зростанню: водопоглинання в 1,6 раз, загальної пористості в 1,4 рази, відкритої пористості в 1,25 раз. Швидкісний випал на 1125 °С сприяє зростанню: водопоглинання в 2,2 рази, загальної пористості в 2,1 рази, відкритої пористості в 1,7 раз. При подальшому збільшенні вмісту лузги до 20 мас.% відмічено зростання: водопоглинання у 7,0 раз, загальної пористості у 3,5 рази, відкритої пористості у 2,6 рази.

8. При введенні 10 мас.% рисової лузги в масу на основі цеоліту після тривалого випалу на 900 °С водопоглинання зростає в 1,6 раз, загальна пористість в 1,4 рази, відкрита пористість в 1,3 рази. Після швидкісного випалу на 1125 °С водопоглинання зростає в 3,7 рази, загальна пористість – в 2,1 рази, відкрита пористість – в 2,4 рази.

9. Спеціальним технологічним способом регулювання характеристик пористості кераміки є ангобування поверхні пор. При цьому ефективність залежить від складу ангобу і проявляється у зменшенні діаметру пор та відповідно зростанні сил капілярного всмоктування та інтенсивності фільтрації.

10. Вдосконалення конструкції елементів пористої кераміки із забезпеченням заданого просторового розташування, діаметру та властивостей поверхні пор забезпечує підвищення продуктивності процесу фільтрації, експлуатаційної надійності та довговічності роботи дискових фільтрів.

11. Розроблені конструктивні рішення по використанню елементів пористої кераміки в системах водоочищення і зрошення ґрунту забезпечують їх техніко-економічну ефективність. Зокрема, використання розроблених аераторів у порівнянні з іншими системами дозволяє зменшити вартість на 15 - 35%, вартість монтажних робіт – у 1,5 рази, експлуатаційні витрати – на 30 - 40%.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Белоусов О.Ю.** Пористая керамика для систем водоочистки / О.Ю. Белоусов // Строительные материалы и изделия. – 2007. - № 1(42). – С. 27-28, наукове фахове видання України.

2. **Белоусов О.Ю.** Использование пористой керамики в системах орошения почвы / О.Ю. Белоусов // Керамика: наука и жизнь. – 2008. - № 1. – С.11-16, наукове фахове видання України.

3. **Білоусов О.Ю.,** Свідерський В.А., Черняк Л.П., Шнирук О.М. Різновиди шамоту як фактор впливу на структуру та властивості пористої кераміки // Будівельні матеріали та вироби. – 2020. - № 1-2. – С. 40-42, наукове фахове видання України. *(Здобувачем обґрунтовано вибір і виконано експериментальні дослідження проб різновидів керамічного шамоту).*

4. **Білоусов О.Ю.,** Свідерський В.А., Миронюк О.В. Вплив різновидів шамоту на структуру та властивості пористої кераміки // Керамика: наука и жизнь. – 2020. - № 2 (47). – С. 15-20, наукове фахове видання України, наукометричні бази Crossref, Google Scholar, ESJ. *(Здобувачем виконано експериментально-теоретичний аналіз впливу різновидів керамічного шамоту на структурні особливості пористої кераміки).*

5. Melnyk L.I., Chernyak L.P., Svidersky V.A., **Belousov O.U.,** Nehreyko A.V. Structure and properties of polymer composite based on natural zeolite // FRENCH-UKRAINIAN JOURNAL OF CHEMISTRY. – 2020. - Vol. 08. – pp. 12-18, міжнародне наукове фахове видання, наукометрична база Web of Science. *(Здобувачем здійснено експериментальні дослідження по отриманню пористих композитів на основі природного цеоліту та різновидів зв'язуючого).*

6. Мельник Л.І., **Білоусов О.Ю.,** Свідерський В.А., Черняк Л.П. Питання зменшення енергоємності виготовлення пористих композиційних матеріалів // Будівельні матеріали та вироби. – 2020. - № 3-4. – С. 38-40, наукове фахове видання України. *(Здобувачем виконано експериментально-теоретичний аналіз впливу добавки паперового скопу на структурні особливості пористої кераміки).*

7. **Білоусов О.Ю.,** Свідерський В.А., Черняк Л.П. Аналіз компонентів для виготовлення фільтруючих виробів // Scientific discussion. – 2019. - No 32. - Vol.1. – pp. 12-15, наукове видання іноземних держав, наукометричні бази Index Copernicus, Google Scholar, Calameo. *(Здобувачем здійснено експериментально-теоретичний аналіз різновидів вихідних матеріалів для виготовлення пористої кераміки).*

8. **Білоусов О.Ю.,** Миронюк О.В., Черняк Л.П. Аспекти характеристики сировини для пористої кераміки // Polish journal of science. – 2019. - No 18. - Vol.1 – pp. 53-57, наукове видання іноземних держав, наукометричні бази Google Scholar, Calameo, Issuu. *(Здобувачем на основі виконаних експериментів визначено особливості складу та характеристик досліджуваної сировини для технології пористої кераміки).*

9. **Білоусов О.Ю.,** Миронюк О.В., Черняк Л.П. Характеристики шамоту для отримання пористої кераміки // Colloquium-journal. – 2019.- № 25(49) - Czesc 1. – pp. 7-11, наукове видання іноземних держав, наукометричні бази Index

Copernicus, Google Scholar, Calameo. *(Здобувачем експериментально показано особливості складу та властивостей різновидів керамічного шамоту як наповнювачів).*

10. **Белоусов О.Ю.**, Свидерский В.А., Черняк Л.П. Особенности состава и свойств магматических пород как сырья для пористой керамики // «Sciences of Europe». – 2019. - Vol. 1. - N 45. – pp. 7-11, наукове видання іноземних держав, наукометричні бази Index Copernicus, Google Scholar, Calameo. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження проб порід вулканічного походження як наповнювачів пористої кераміки).*

11. **Білоусов О.Ю.**, Черняк Л.П., Шнирук О.М. Пориста кераміка на основі відсівів андезиту // Modern scientific researches. – 2020. - Т. 12-01. – С. 12-17, наукове видання іноземних держав, наукометричні бази Index Copernicus, Google Scholar. *(Здобувачем здійснено експериментальні дослідження по отриманню пористої кераміки на основі відсівів андезиту як наповнювача).*

12. **Білоусов О.Ю.**, Свідерський В.А., Черняк Л.П. Пориста кераміка на основі відсівів граніту // Natural and Technical Sciences. – 2020. - Vol. VIII. - Is. 233. – pp. 61-63. Іноземне видання, наукометричні бази Index Copernicus, Google Scholar, Crossref. *(Здобувачем здійснено експериментальні дослідження по отриманню пористої кераміки на основі відсівів граніту як наповнювача).*

13. **Білоусов О.Ю.**, Свідерський В.А., Черняк Л.П., Варшавець П.Г. Використання відходів виробництва паперу в технології пористої кераміки // «Sciences of Europe». – 2021. N 63. - Vol. 1. – pp. 14-19, наукове видання іноземних держав, наукометричні бази Index Copernicus, Google Scholar, Calameo. *(Здобувачем на основі виконаних тестувань дана оцінка ефективності добавок скопу для регулювання пористості кераміки).*

#### **Патенти на винахід**

14. **Білоусов О.Ю.**, Сабардак В.І. Спосіб виготовлення виробів фільтруючої кераміки з щілиноподібною порожниною. Патент України на винахід № 53283 А. – Опубл. 15.01.2003.

15. **Білоусов О.Ю.**, Белоус К.П., Сабардак В.І., Логвінова Т.Н. Спосіб виготовлення виробів фільтруючої кераміки. Патент України на винахід № 39564. – Опубл. 16.08.2004.

16. **Білоусов О.Ю.**, Белоус К.П., Сабардак В.І., Логвінова Т.Н. Спосіб виготовлення виробів фільтруючої кераміки. Патент України на винахід № 39564 А. – Опубл. 15.06.2001.

17. Белоус К.П., **Білоусов О.Ю.**; Сабардак В.І. Фільтрувальний елемент дискового фільтра. Патент України на винахід № 41623. – Опубл. 16.08.2004.

18. Белоус К.П., **Білоусов О.Ю.**, Сабардак В.І. Фільтрувальний елемент дискового фільтра. Патент України на винахід № 41623 А. – Опубл. 17.08.2001.

19. **Білоусов О.Ю.**, Дорозов М.Ю., Сабардак В.І., Алеко В.О. Фільтрувальний елемент дискового фільтра (Варіанти). Патент України на винахід № 63095. – Опубл. 15.12.2005.

20. **Білоусов О.Ю.**, Дорозов М.Ю., Сабардак В.І., Алеко В.О., Фільтрувальний елемент дискового фільтра, його варіанти. Патент України на винахід № 63095 А. – Опубл. 15.01.2004.

21. Білоусов О.Ю., Дорозов М.Ю., Сабардак В.І. Внутрішньогрунтовий зрошувач. Патент України на винахід № 50945 А. – Опубл. 15.11.2002.

**Тези доповідей в збірках матеріалів конференцій:**

22. Білоусов О.Ю., Свідерський В.А., Черняк Л.П. Різновиди наповнювачів для виготовлення фільтруючих виробів // Science, research, development. Technics and technology. № 18. – International conference Baku, 29.06.-30.06.2019. – pp. 27-33.

23. Білоусов О.Ю., Свідерський В.А., Черняк Л.П. Властивості поверхні та ліофільність матеріалів для пористої кераміки // LV Международная заочная конференция «Развитие науки в XXI веке» г. Харьков, 14 декабря 2019.

24. Козловець О.В., Білоусов О.Ю., Черняк Л.П. Аналіз складу магматичних порід як компонентів композитів // VIII Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології: тези доповіді – К.: НТУ У «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 22-23 квітня 2020.

25. Мельник Л. І., Білоусов О. Ю. Композиційний матеріал на основі андезиту з різновидами полімерного зв'язуючого. // Abstracts of X International Scientific and Practical Conference «TOPICAL ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE» (Sofia, Bulgaria 4-6 June 2020). – С. 536-543.

26. Білоусов О.Ю. Особливості різновидів шамоту для отримання пористої кераміки // Пріоритетні напрями досліджень в науковій та освітній діяльності: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 13-14 липня 2020 року. – Львів: Львівський науковий форум. – 2020. – С. 45-47.

## АНОТАЦІЯ

**Білоусов О.Ю. Фільтрувальні композити на основі пороутворюючих матеріалів різного генезису. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів (технічні науки). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2021.

Дисертацію присвячено розвитку наукових засад хімічної технології виробництва пористих керамічних фільтрувальних матеріалів за умов розширення сировинної бази, підвищення експлуатаційної надійності та конкурентоспроможності.

Досліджено склад, структуру і властивості поверхні різновидів вихідних матеріалів штучного та природного походження як сировини для виготовлення пористих фільтрувальних композитів поліфункціонального призначення.

Сформульовані вимоги і розроблено нові раціональні склади фільтрувальних матеріалів на основі композицій сировини різного генезису при диференціації кількісного співвідношення компонентів, їх гранулометрії, зв'язуючих, умов формування та ступеню термічної обробки.

Розроблено технологічні принципи застосування вихідних матеріалів різного генезису – керамічного шамоту та магматичних порід для виготовлення фільтрувальних композитів і внесено відповідні зміни в технічні умови на їх виробництво. Дослідно-промисловими випробуваннями на об'єктах

промисловості та сільського господарства підтверджена ефективність виконаних науково-технічних розробок.

**Ключові слова:** вироби фільтрувальні, композит, кераміка пориста, матеріали сировинні, генезис, склад, властивості поверхні, випал, пористість, конструкція, технічні системи.

## ABSTRACT

**Bilousov O.Yu.** Filter composites based on pore-forming materials of different genesis. - **Manuscript.**

Thesis for the candidate of technical sciences degree (PhD) in speciality 05.17.11 – Technology of hard-melting nonmetallic materials. – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to the development of scientific bases of chemical technology of production of porous ceramic filter materials under conditions of expansion of raw material base, increase of operational reliability and competitiveness.

Comprehensive solution of issues of industrial development, life support and environmental protection has necessitated the implementation of filtration and purification of air, gases and liquids using porous materials. At the same time, attention is paid to expanding the range of such materials, increasing the performance and operational reliability.

Elements of porous ceramics, which were produced in Ukraine at the Slavyansky ceramic plant, became practically widespread in filtration and purification systems. However, the constant expansion of applications and technical requirements for porous ceramics requires further modernization of their technology based on the deepening of scientific ideas about the criteria for selecting raw materials, their physical and chemical properties and features of the structure of products.

Known developments in the technology of porous ceramics are mainly based on the use of highly concentrated dispersed systems based on resource-intensive ceramic fireclay, made by high-temperature firing of refractory clays. The analysis of the filler as a factor influencing the formation of the structure and properties of the products is reduced to the variation of its particle size distribution. In most known developments, the structural characteristics of filter ceramics are limited by indicators of total or open porosity. The cleaning efficiency is associated with a decrease in pore diameter while reducing productivity.

Further development of competitive national production, increasing the range and directions of use of porous ceramics are inextricably linked with the expansion of raw materials, development of new mass compositions, improvement of technological processes and equipment, absorption of scientific ideas about the connection composition → structure → properties in highly concentrated dispersed silicate systems.

The aim of this work is to develop scientific and technical principles of national production of competitive porous ceramics waiting for cleaning, irrigation and aeration systems by expanding the raw material base, establishing patterns of formation of the pore structure of filter ceramics based on fillers of different genesis.



A set of physicochemical and instrumental methods of analysis and standardized testing were used for research. Lyophilicity and wettability by polar and nonpolar liquid were evaluated by the improved technique of B.V. Deryagin. The structure and phase composition were determined using X-ray phase, electron microscopic and infrared methods of physicochemical analysis. Processing of experimental results was carried out using the methods of mathematical statistics.

The composition, structure and surface properties of varieties of raw materials of artificial (ceramic fireclay) and natural (magmatic rocks) origin as the main raw material – fillers and man-made cutting additives for the manufacture of porous filter composites for multifunctional purposes have been studied.

New rational compositions of porous ceramics based on raw materials of different genesis with differentiation of varieties and quantitative ratio of components, porous man-made additives and the degree of heat treatment have been created.

Technological principles of application of initial materials of different genesis for production of elements of ceramics as filter composites taking into account an energy condition and lyophilicity of a surface of pore structure are developed. The design has been improved and the industrial production of porous ceramic elements for technical systems of aeration and water purification and soil irrigation has been made.

**Keywords:** filter products, porous ceramics, raw materials, genesis, composition, surface properties, firing, porosity, construction, water treatment, soil irrigation.