

Розділ 2.5 Монографії «Сучасні будівельні матеріали та їх технології»

Поризовані силікатні композити тепловологісного твердіння

Постановка проблеми. Будівельна галузь України є споживачем значної кількості енергетичних ресурсів. У будівельному секторі споживається майже 50% природних ресурсів і більше 40% енергії. Удосконалення сучасних будівельних технологій направлено на розробку ефективних матеріалів, використання яких дає можливість скоротити енергетичні витрати і витрату сировинних ресурсів. Виробництво композиційних матеріалів та ефективних стінових виробів на багатокомпонентному вапняно-кременеземистому в'язучому з використанням місцевої природної сировини на основі ефективних та енергозберігаючих технологій спрямоване на вирішення даної проблеми.

Позитивний вплив луговмісних компонентів на властивості композиційних матеріалів обґрунтовано у працях [1,2,3,4 та ін.]. Використання добавок, у тому числі луговмісних, для регулювання властивостей силікатних бетонів автоклавного та неавтоклавного твердіння є актуальним аспектом підвищення їх якості [5,6,7,8 та ін.].

Значний обсяг силікатних матеріалів у загальному обсязі виробництва стінових виробів, їх високі експлуатаційні властивості, екологічність і не реалізовані потенційні резерви ресурсо- та енергозбереження свідчать про доцільність розвитку виробництва даного виду продукції. Проведений аналіз основних аспектів ресурсо- та енергозбереження у виробництві силікатних матеріалів та шляхи їх реалізації, порівняння існуючих технологій виробництва і оцінка їх ефективності, вплив неорганічних і луговмісних добавок на структуру і властивості високо ефективних силікатних композитів показали актуальність і перспективність даного напрямку.

Однією з прогресивних енергозберігаючих технологій є литтєва технологія, реалізація якої здійснюється завдяки наявності поліфункціональних модифікаторів різного виду і призначення [9,10]. Перспективним напрямком будівельної галузі також є застосування різних видів активації, які дозволяють на якісно новому рівні регулювати властивості композитів [11]. Зміна структури і властивостей дисперсних систем в умовах активації, а також закономірності їх поведінки, з урахуванням взаємодій між компонентами, включаючи добавки, вивчені не повною мірою. Опис складних багатокомпонентних систем із застосуванням теорії математичного планування експериментів дозволяє оцінити вплив синергетичних взаємодій в системі, візуалізувати ступінь їх нелінійності і достовірно оцінити адекватність отриманих результатів.

Введення луговмісних добавок покращує їх основні властивості. При використанні у виробництві силікатної автоклавної цегли комплексу луговмісних добавок дає можливість підвищити міцність матеріалу на 30%, не погіршуючи його експлуатаційних властивостей. На основі синтезованого рідкого скла розроблена технологія отримання блокових теплоізоляційних матеріалів підвищеної водостійкості. Однак аналіз літературних даних свідчить про деяку суперечливість відомостей про механізм впливу лужних добавок на структуроутворення силікатних бетонів.

Важливим аспектом регулювання властивостями є дисперсність компонентів сировинної суміші. Питанням аналізу впливу наповнювачів на формування структури і властивостей присвячені численні дослідження. Встановлено, що властивості ультрадисперсних частинок істотно відрізняються від ідентичних за хімічним складом властивостей макрочасток. Результати досліджень останніх десятиліть показали, що для дисперсних систем наявність або відсутність того чи іншого мінералу не є винятковою передумовою для отримання необхідних фізико-механічних властивостей силікатних композитів. Важливо не те, якими новоутвореннями представлений кристалічний зросток, а

розмір новоутворень і вид контактів між ними. На формування контактів істотний вплив мають різні способи і види активації.

На основі проведеного аналізу літератури була сформульована гіпотеза: комплексна активація вапняно-кремнеземистих сумішей і модифікація їх структури за рахунок негашеного вапна, луговмісних добавок і мінеральних наповнювачів заданої дисперсності, забезпечить отримання поризованих композитів тепловологісного твердіння і ефективних стінових виробів на їх основі за енергозберігаючою литтєвою технологією.

Мета та завдання: оптимізація складів комплексно активованих сумішей на вапняно-кремнеземистому в'язучому і дрібнозернистому заповнювачі, модифікованих добавками та наповнювачем, для ефективних стінових виробів тепловологісного твердіння.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання

- проведено аналіз енергозбереження та надано обґрунтування доцільності виготовлення ефективних стінових виробів тепловологісного твердіння за литтєвою технологією на основі силікатної матриці;

- обґрунтовано вибір основних компонентів і технологічних прийомів виготовлення силікатної матриці і поризованих композитів на її основі;

- проаналізовано вплив луговмісних добавок і мінеральних наповнювачів на структуру і властивості комплексно активованих композитів на силікатній матриці;

- проаналізовано і порівняно вплив параметрів структури на властивості силікатної матриці і поризованих композитів на її основі в умовах ізопараметрії;

- запропоновано механізм формування структури силікатної матриці на комплексно активованій суміші;

- розроблено оптимальні склади поризованих композитів тепловологісного твердіння;

- розроблено технологічну схему виготовлення ефективних стінових блоків за литтєвою технологією.

Предмет дослідження: спрямоване регулювання структури і властивостей активованих поризованих композитів тепловологісного твердіння на силікатній матриці за рахунок введення луговмісних добавок і мінеральних наповнювачів.

Для отримання трикомпонентного вапняно-кремнеземистого в'язучого (вапно, мелений кварцовий пісок, трепел) як сировинних матеріалів використані: негашене вапно 2 сорту, Свянського заводу, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-90-99. Вапно подрібнювалася спільно з кварцовим піском, в заданому співвідношенні. Окремо до заданої питомої поверхні подрібнюється трепел Первозванівського родовища Кіровоградської області. В якості водоредукуючої добавки використана добавка на основі сульфатних нафталінформальдегідних полі конденсатів – суперпластифікатор С-3 (ТУ 2481-001-51831493-00). В якості неорганічні добавок застосовані: гідроксид натрію NaOH, рідке скло $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ з модулем 2.42 і природний гіпсовий камінь $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Для визначення оптимального складу активованої силікатної матриці розроблено метод підбору складу композиційного в'язучого і дрібнозернистої суміші по ЕС-моделям. Дрібнозернисті високорухливі бетонні суміші готувалися в швидкісному змішувачі-активаторі ($n=2400 \text{ хв}^{-1}$). Зразки тверділи в умовах ТВО при температурі $T=85^\circ\text{C}$ і нормальному тиску за встановленим режимом. В якості дрібнозернистого заповнювача використаний немелений кварцовий пісок, з модулем крупності $M_k=1.2$ Авдіївського кар'єру Донецької області, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7- 32.

На першому етапі дослідження проведено підбір та оптимізація складу в'язучого та дрібнозернистої суміші; обґрунтовано застосування високорухливих сумішей на негашеному вапні із заданим В/Т за рахунок комплексної активації і можливість реалізації ефективної енергозберігаючої литтєвої технології виготовлення виробів.

Для аналізу впливу виду вапна і складу трикомпонентної суміші на структурно-технологічні та міцнісні властивості силікатної матриці для поризованих композитів сплановані два б-ти

факторних натурних експеримента, які поставлені по одному і тому ж плану типу "трикутники на кубі" – МТQ. В обох експериментах варіювалися одні й ті ж фактори, зафіксовані на однакових рівнях: питома поверхня мінеральної добавки: $S_1=350\text{м}^2/\text{кг}$ (v_1), $S_2=425\text{м}^2/\text{кг}$ (v_2), $S_3=500\text{м}^2/\text{кг}$ (v_3); вміст компонентів в вапняно-кремнеземистого в'язучого: вапна – $I=X_4=(25\pm 5)\%$, трепелу (мінеральної добавки) – $МД=X_5=(25\pm 5)\%$, вміст дрібнозернистого заповнювача – $МЗ X_6=(50\pm 10)\%$ від маси сухих компонентів суміші. Оптимальний вміст гіпсу і С-3 встановлено в ході попередніх експериментів. Зразки тверділи в умовах ТВО при $T=85^\circ\text{C}$ по режиму 2+10+2 год.

За результатами двох експериментів побудовані експериментально-статистичні (ЕС) моделі, з використанням типової версії COMPEX-99, що реалізує послідовний регресійний аналіз з генеруючою помилкою експерименту, за якими проаналізовано зміну водопотреби, ОК (осідання конуса), фізико-механічних властивостей і характеристик структури силікатної матриці.

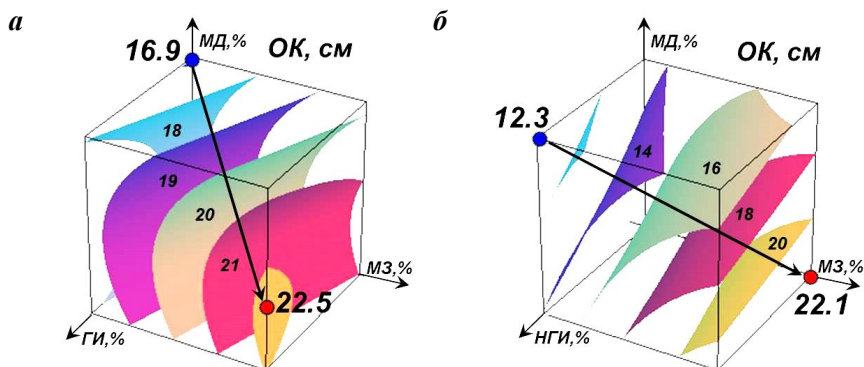


Рис. 1. Зміна осідання конуса на гашеному (*а*) і негашеному (*б*) вапні, відповідно, під впливом досліджуваних факторів на $S_1=350\text{м}^2/\text{кг}$.

Осідання конуса під впливом факторів складу змінюється від 12.3 до 22.1 см. на складах з негашеним вапном. Такі суміші відносяться до високорухливих і литим рухливістю ПЗ÷П5. Залежно від вмісту вапна і дрібнозернистого заповнювача В/Т

змінюється від 0.34 до 0.39. Аналогічні склади на гашеному вапні мають рухливість П4÷П5, ОК змінюється від 16.9 до 22.5 см, тобто вплив негашеного вапна більш істотний, ніж гашеного (рис. 1). Суміші на негашеному вапні без застосування активації характеризуються ОК=2÷6 см, що відповідає рухливості П1÷П2, тобто використання активації обумовлює збільшення рухливості з П1÷П2 до П3÷П5 при однакових значеннях В/Т [12,13].

За рахунок використання негашеного вапна замість гашеного, з урахуванням зміни складу в'язучого і вмісту дрібнозернистого заповнювача, міцність збільшується в 2÷14.4 рази (рис. 2).

Враховуючи переваги застосування негашеного вапна перед гашеним для високорухливих сумішей і силікатної матриці, подальші дослідження проводилися на негашеному вапні за описаним вище 6-ти факторним планом [14]. Комплексна активація, яка сприяє підвищенню рухливості при оптимальному В/Т відношенні нівелює вплив екзотермічного ефекту негашеного вапна. Температура такої суміші при заливці у форми не перевищує 50°C.

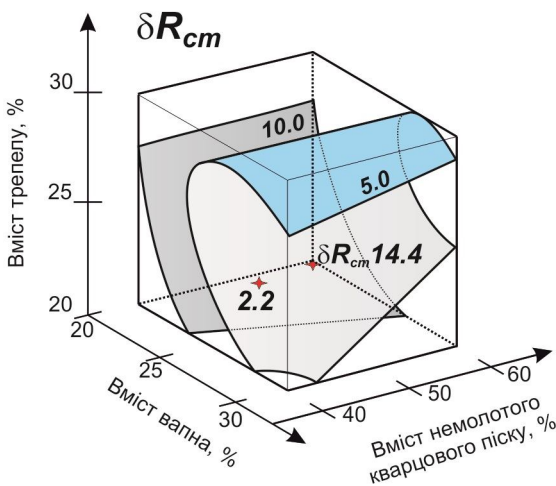


Рис. 2. Відносний приріст границі міцності при стиску $\delta R_{ст}$ силікатної матриці за рахунок використання негашеного вапна замість гашеного з урахуванням впливу складу в'язучого та

силікатобетонної суміші.

Підбір складів активованих в'язучого і дрібнозернистої суміші на його основі з урахуванням заданої рухливості проведений по діаграмах, побудованим за ЕС-моделями описаного вище 6-ти факторного експерименту. Як видно з діаграм (рис. 3), при фіксованому вмісті МЗ=60%, суміш характеризується рухливістю П4÷П5. Подальші дослідження проводилися на найбільш поширених складах рухливістю П4 (область на діаграмах не заштрихована). Для сумішей П4 міцність при стиску $R_{ст}$ в області осідання конуса 17÷20 см змінюється в 1.5 рази: від 10 до 15 МПа (рис. 3а,б). Значення В/Т в області факторного простору змінюється від 0.33 до 0.35 (рис. 3г), тому підбір складів таких сумішей раціонально проводити з урахуванням необхідного ОК.

За рахунок варіювання вмісту вапна (гашеного або негашеним), трепелу і дрібнозернистого заповнювача при постійному вмісті меленого кварцового піску, однакових умов твердіння забезпечуються наступні межі зміни параметрів структури: зміна відносного середнього розміру капілярів на негашеного вапна $d_k^{н.в.}=0.34\div 0.79$, на гашеному $d_k^{г.в.}=0.36\div 1.02$; однорідності розподілу капілярів за розмірами на негашеному вапні $\alpha_k^{н.в.}=0.15\div 0.78$, на гашеному $\alpha_k^{г.в.}=0.29\div 0.67$. ДТА показав наявність одного і такого ж виду гідросилікатів в складі суміші.

Наведені результати свідчать про різні механізми формування структури і властивостей активованої вапняно-кремнеземистої суміші та силікатної матриці на гашеному і негашеному вапні в присутності трепелу.

а)

б)

в)

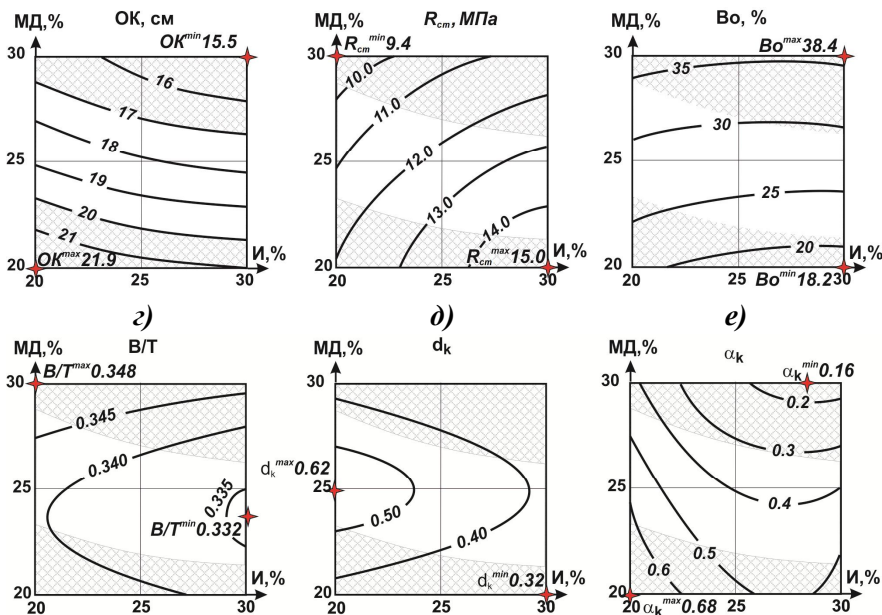


Рис. 3. Зміна a – ОК, b – В/Т, e – $R_{ст}$, під впливом вмісту негашеного вапна і трепелу с $S_{тр1}=350\text{м}^2/\text{кг}$; вміст МЗ заповнювача 60%.

На другому етапі на основі встановленого оптимального складу суміші виготовлені зразки, на яких визначені основні властивості міцність при стиску – $R_{ст}$, густина – ρ , коефіцієнт теплопровідності – λ , критичний коефіцієнт інтенсивності напружень – k_{Ic} , коефіцієнт розм'якшення – k_p , і характеристики структури силікатної матриці для поризованих композитів: морозостійкість – F , пористість загальна – $P_{заг}$, пористість відкрита – $P_{від}$, пористість зачинена – $P_{зач}$, відносний середній розміром капілярів – d_k та коефіцієнт однорідності розподілу капілярів за розмірами – α_k .

Дослідження з активації показують позитивний вплив на властивості різних видів дефектів і дислокацій. Саме термодинамічно не стійкі контакти відрізняються високою міцністю [15,16]. Лужні і луговмісні добавки підвищують термодинамічну нестійкість систем за рахунок зміщення рівноваги в результаті утворення додаткових дефектів на поверхні кремнеземвісних

компонентів. Луговмісні добавки здатні до поризації сумішей за певних умов. У цьому дослідженні низькотемпературна поризація забезпечена введенням в процесі активації до складу суміші для силікатної матриці добавок рідкого скла $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2+m\text{H}_2\text{O}$ і гідроксиду натрію NaOH .

Для аналізу можливостей регулювання структури і властивостей поризованих композитів на силікатної матриці був проведений 6-ти факторний натурний експеримент по 24-х точковому плану типу МТQ, який може бути візуалізовано у вигляді трикутників на кубі. У плані одночасно варіюються три залежних (сумішевих) і три незалежні фактори складу. У якості трьох сумішевих факторів фіксувалася питома поверхня трепелу як компонента вапняно-кремнеземистого в'язучого на рівнях: $v_1 - S_1=400 \text{ м}^2/\text{кг}$, $v_2 - S_2=500 \text{ м}^2/\text{кг}$, $v_3 - S_3=600 \text{ м}^2/\text{кг}$. У якості трьох незалежних факторів в експериментах змінювався вміст луговмісних добавок від маси в'язучого: $X_4 - \text{NaOH} - (0.5\div 1)\%$, $X_5 - \text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2+m\text{H}_2\text{O} - (1\div 5)\%$ і добавки гіпсу $X_6 - \text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O} - (2\div 4)\%$ від маси всіх сухих компонентів.

За результатами експерименту розраховані ЕС-моделі, які дозволили оцінити вплив луговмісних добавок і питомої поверхні трепелу на властивості і характеристики структури поризованих композитів на силікатній матриці [17,18,19].

Експериментально-статистичний аналіз за ЕС-моделями показав, що фактором, який має найбільший вплив на властивості є питома поверхня $S_{\text{пит. трепелу}}$. За рахунок синергетичного дії добавок луги та рідкого скла, взятих в оптимальних для кожної властивості співвідношеннях і заданої $S_{\text{пит. трепелу}}$, досягається поризація суміші, яка забезпечує зниження густини і високі значення досліджуваних властивостей: $R_{\text{ст}}$, k_p , $k_{\text{Гс}}$, λ . Введення добавок луги та рідкого скла сприяє збільшенню об'єму суміші в 1.2÷1.4 рази. Густина композитів при цьому змінюється від 1300 до 1500 $\text{кг}/\text{м}^3$, що на 17÷23% нижче густини матричного матеріалу і 25÷30% нижче густини автоклавного силікатної цегли.

За ЕС-моделями встановлені оптимальні значення критеріїв якості і складу сумішей, які їх забезпечують. Міцність при стиску

$R_{ст}$ змінюється від 12 до 18.5 МПа, тобто в 1.5 рази і перебуває у діапазоні зміни міцності матричного матеріалу. Максимальна міцність – більше 18 МПа отримана на складах, які містять 5% рідкого скла, 0.5% луґу і 4% гіпсу, на $S_1=400$ м²/кг, ця ж міцність силікатної матриці отримана на трепелу з $S_3=500$ м²/кг.

Коефіцієнт теплопровідності λ поризованих композитів під впливом всіх шести факторів змінюється в 1.9 рази – від 0.28 до 0.54 Вт/м·К (ЕС-модель (1)). Мінімальне значення коефіцієнту теплопровідності $\lambda=0.28$ Вт/м·К отримано на складах, які містять 0.5% NaOH і 1% рідкого скла, на суміші частини трепелу з питомою поверхнею $S_1=400$ і $S_3=600$ м²/кг в рівному співвідношенні та вмісті добавки гіпсу $C_Г=4\%$ (рис 4а).

Коефіцієнт розм'якшення змінюється $k_p=0.81\div 1$. На коефіцієнт розм'якшення k_p вплив добавок інший. Значення $k_p\geq 0.95$ отримані при вмісті 0.75 % NaOH і 5 % рідкого скла на питомої поверхні трепелу $S_{пит.1}=400$ м²/кг і вмісті добавки гіпсу $C_Г=4$ % (рис. 4б).

Морозостійкість поризованих матеріалів 25-30 циклів, що перебувати у межах зміни морозостійкості матричного матеріалу – F25-50. Максимальна значенні морозостійкості поризованих композитів отримано на $S_1=400$ м²/кг і вмісті добавки гіпсу $C_Г=4$ %. Аналогічні значення морозостійкості силікатної матриці отримано на суміші частинок трепелу $S_1=350$ і $S_3=500$ м²/кг в рівному співвідношенні та вмісті $C_Г=2.5\%$.

а)

б)

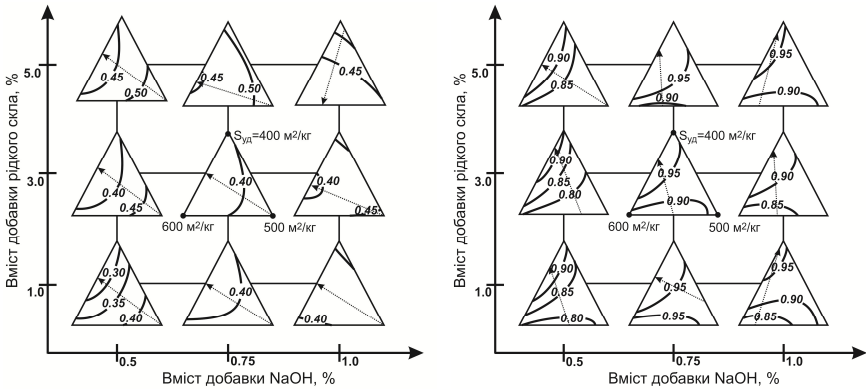
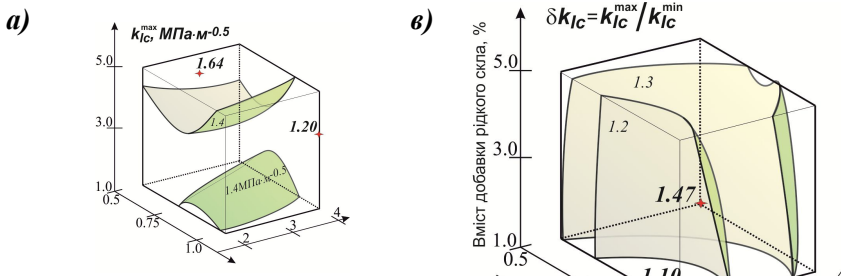


Рис. 4. Вплив добувок NaOH і рідкого скла на коефіцієнт теплопровідності λ (а) і коефіцієнт розм'якшення k_p (б) при фіксованому значенні добувки гіпсу 4%.

Критичний коефіцієнт інтенсивності напружень k_{Ic} під впливом всіх факторів змінюється в 1.8 рази, від 0.91 до 1.64 МПа·м^{-0.5} (рис. 5а,б). Найбільший вплив на k_{Ic} надає $S_{пит.}$ трепелу. За ЕС-моделями, з урахуванням величин $S_{пит.}$ трепелу, які забезпечують отримання максимальних і мінімальних значень k_{Ic} розраховане співвідношення $\delta k_{Ic} = k_{Ic}^{max} / k_{Ic}^{min} = 1.1 \div 1.47$ рази (рис. 5в).



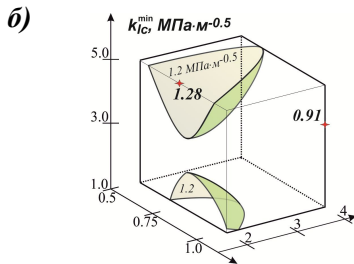


Рис.5. Зміна максимальних (а) і мінімальних (б) значень k_{Ic} під впливом рецептурно-технологічних факторів з урахуванням значень $S_{\text{пит}}$ трепел, що визначають максимальні і мінімальні значення k_{Ic} відповідно. Відносна зміна $\delta k_{Ic} = k_{Ic}^{\text{max}}/k_{Ic}^{\text{min}}$ (в) за рахунок зміни $S_{\text{пит}}$ трепелу.

Максимальні значення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень $k_{Ic} = 1.64 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0.5}$ поризованих композитів дорівнює значенню k_{Ic} матричного матеріалу, а мінімальні значення $k_{Ic} = 0.91 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0.5}$ поризованих композитів в два рази вище значень k_{Ic} матричного матеріалу. При цьому максимальні і мінімальні значення k_{Ic} для поризованого композиту і матричного матеріалу отримані на різній величині $S_{\text{пит}}$ трепелу. Так, максимум k_{Ic} для поризованих композитів отриманий на $S_3 = 600 \text{ м}^2/\text{кг}$, а для матричного матеріалу – на суміші $S_1 = 350$ і $S_3 = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ в рівному співвідношенні, що може бути пов'язано з різною щільністю упаковки частинок в обсязі та в обмежених умовах поризації.

Візуалізацію діапазонів зміни властивостей під впливом луговмісних добавок і питомої поверхні трепелу представлено на рис. 6.

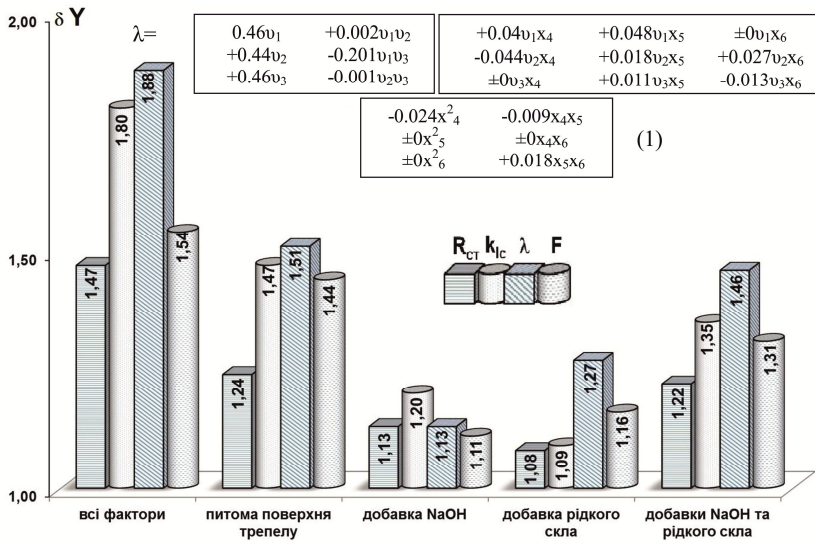


Рис. 6 Відносний вплив досліджуваних факторів і їх взаємодій на зміну властивостей поризованих композитів.

Таким чином, умови формування структури, які змінилися за рахунок введення луговмісних добавок, що сприяють поризації, визначають введення трепелу з іншої питомою поверхнею, що може бути пов'язано, в даному випадку, з формуванням структури матриці в "обмежених умовах" межпорових перегородок. Для отримання оптимальних складів поризованих композитів, введення луговмісних добавок обумовлює необхідність зміни $S_{питт}$ трепелу і коригування вмісту добавки гіпсу в порівнянні з оптимальними складами для силікатної матриці при незмінному кількісному вмісті інших компонентів суміші та умов їх твердіння.

Представлена зміна властивостей пов'язана зі зміною параметрів структури поризованих композитів під впливом луговмісних добавок і $S_{питт}$ трепелу. Для аналізу впливу характеристик структури на властивості розраховані ЕС-моделі зміни пористості загальної, відкритої і закритої, а також параметри капілярної пористості: d_k і α_k . Вміст закритих пор може бути збільшено за рахунок скорочення вмісту відкритих пір в 1.7 рази. При цьому загальна пористість може бути збільшена до 30%.

Відносний середній розміром капілярів d_k змінюється в 4.3 рази, коефіцієнт однорідності розподілу їх за розмірами α_k – в 2.3 рази.

На наступному етапі досліджень, з використанням обчислювальних експериментів, за відповідними ЕС-моделями, проведено порівняльний аналіз зміни властивостей і характеристик структури силікатної матриці і поризованих композитів на її основі в умовах ізопараметрії, при постійній загальній пористості $P_{\text{заг}} = \text{const} = 40\%$.

Встановлено, що при постійній загальній пористості $P_{\text{заг}} = \text{const} = 40\%$ поризовані композити характеризуються $k_{\text{тс}} = 1.2 \div 1.35 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0.5}$, що в 1.5 \div 1.7 рази вище, коефіцієнт теплопровідності в 1.8 \div 2.8 рази нижче, ніж у матричного матеріалу, коефіцієнт розм'якшення $k_p \geq 0.95$ (рис. 7а).

Дане поліпшення властивостей пов'язано з модифікацією параметрів структури. В поризованих композитах в порівнянні з силікатною матрицею, знижено в 3.5 рази співвідношення відкритих і закритих пор, знижений у більш ніж в 3 рази відносний середній розмір капілярів d_k з 1.2 до 0.35.

Аналогічний порівняльний аналіз зміни властивостей і характеристик структури силікатної матриці і поризованих композитів на її основі в умовах ізопараметрії, проведений при $R_{\text{ст}} = \text{const} = 15.0 \text{ МПа}$ (рис. 7б). У даних умовах рівні властивостей і інтервали їх варіювання змінюються: λ знижується в 1.5 \div 2 рази, $k_p = 1.0$, $k_{\text{тс}} = 1.1 \div 1.45 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0.5}$, що підтверджує неоднозначний характер впливу $P_{\text{заг}}$ на $R_{\text{ст}}$; тобто $R_{\text{ст}}$ визначається не тільки загальною пористістю, але і безліччю інших характеристик структури.

$S_{\text{пит тр.}}$	$R_{\text{ст}}$	$P_{\text{заг}}$	$R_{\text{зг}}$	k_p	$k_{\text{тс}}$	λ	F	$P_{\text{від}}/P_{\text{зак}}$	α_k	d_k
S_1	15	40	2.45	1.00	1.31	0.42	28	1.47	0.55	0.58
S_2	15	40	2.75	0.94	1.28	0.43	27	1.24	0.53	0.72
S_3	15	40	2.98	0.94	1.37	0.43	29	1.48	0.56	0.60

Ізопараметричний аналіз показав, що для поризованих композитів одночасно з двома властивостями заданого рівня ($R_{\text{ст}} = \text{const} = 15.0 \text{ МПа}$ і $P_{\text{заг}} = \text{const} = 40\%$) діапазони зміни інших властивостей і параметрів структури істотно скорочуються: $\delta\lambda = 20$

$\delta R_{3T}=18\%$, $\delta k_p=6\%$, $\delta k_{1c}=7\%$, $\delta P_{від} - 10\%$, $\delta \alpha_k - 5\%$. Зміни $\delta \lambda$, δR_{3T} , δk_p , δk_{1c} пов'язані з наявністю в суміші трепелу різної питомої поверхні S_1 , S_2 , S_3 , що підтверджує його значний вплив на формування структури як силікатної матриці, так і поризованих композитів на її основі (табл. 1).

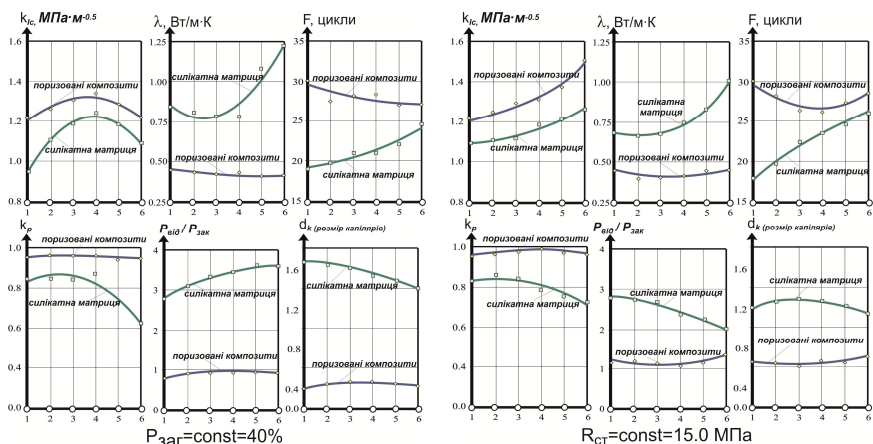


Рис. 7. Порівняльний аналіз зміни властивостей і характеристик структури силікатної матриці і поризованих композитів на її основі в умовах ізопараметрії $P_{zag} = \text{const} = 40\%$ (а) і $R_{ct} = \text{const} = 15.0 \text{ МПа}$ (б).

Запропоновано механізм формування структури і властивостей силікатної матриці та комплексно активованої вапняно-кремнеземистої суміші на негашеному вапні, модифікованих мінеральним наповнювачем у вигляді трепелу. Показано, що частки трепелу сприяють ущільненню структури силікатної матриці і утворення переривчастою структури капілярів, у тому числі за рахунок власної мікропористості, крім того, в результаті високої сорбційної здатності пори трепелу можуть бути матрицею для формування гідросилікатів ультрадисперсних розмірів, властивості яких відрізняються від властивостей гідросилікатів кальцію, сформованих у вільному просторі суміші, що сприяє отриманню поризованих композитів з високими фізико-механічними властивостями.

Многокритеріальна оптимізаційна задача полягала в наступному: отримати стінові матеріали заданих марок за міцністю, теплопровідності і морозостійкості, які класифікуються як ефективні [20,21]. Рекомендовані склади, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості: клас з $R_{ct} - B10, B12.5$, $\rho=1300\div 1400 \text{ кг/м}^3$, $F25$, $\lambda=0.30\div 0.40 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$, $k_{1c}\geq 1 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{-0.5}$, $k_p\geq 0.9$.

Теплотехнічний розрахунок показав, що ТВО за рахунок застосування комплексної активації, вибору компонентів і добавок суміші забезпечує зниження енерговитрат у порівнянні з автоклавної обробкою більш ніж в 2 рази. Результати впроваджені в навчальний процес при виконанні ДНІР магістрів і студентів на кафедрі ПАТБМ. Техніко-економічний розрахунок з урахуванням виду стінового матеріалу и термічного опору огорожувальних конструкцій, нормованого для II зони України показав, що впровадження цього матеріалу дозволить знизити витрати на будівництво будівель більш, ніж на 150 грн. на кожному кубометрі кладки.

Таким чином в результаті проведених досліджень проаналізовано основні аспекти енергозбереження при отриманні поризованих композитів тепловологісного твердіння на силікатній матриці і ефективних стінових виробів на їх основі. Проаналізовано вплив рекомендованих складів на структуру і властивості силікатної матриці та поризованих композитів на її основі.

Проведено порівняльний аналіз впливу негашеного і гашеного вапна на технологічні властивості суміші та структуру і властивості активованої силікатної матриці. Відносна зміна міцності за рахунок застосування негашеного вапна натомість гашеного становить $\delta R_{ct}=2\div 14.4$ разів; водопоглинання при цьому знижується в $1.5\div 2.5$ рази.

Встановлено, що модифікація структури силікатної матриці за рахунок використання негашеного вапна, луговмісних добавок і трепелу с заданою питомою поверхнею дозволяє регулювати рівні властивостей і параметри структури поризованих композитів в широких межах. Показано, що взаємодія луговмісних добавок в умовах комплексної активації суміші сприяє її поризації.

Проведено порівняльний аналіз зміни структури і рівнів властивостей силікатної матриці і поризованих композитів на її основі в ізопараметричних умовах.

Запропоновано механізм формування структури і властивостей силікатної матриці та комплексно активованої вапняно-кремнеземистої суміші на негашеному вапні, модифікованих мінеральним наповнювачем у вигляді трепелу.

Розроблено оптимальні склади для ефективних стінових блоків.

Література к розділу 2.5.

1. Кривенко П.В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков / Кривенко П.В., Пушкарева Е.К., Гоц В.И., Ковальчук Г.Ю. // Монография. – Киев, 2012. – 258 с.
2. Plasticizing alkaline cements: state-of-the-art and solutions: Proceed. The 14th Intern. Congress on the Chemistry of Cement / Кривенко П.В., Рунова Р.Ф., Руденко І.І. – Beijing, China, 13-16 October, 2015.
3. Шишкин А.А. Наномодифицированный реакционный порошок бетон [Текст] /А.А. Шишкин // Науковий вісник будівництва. – 2016. – 2(84). – С. 290-293.
4. Калашников В.И. Новые геополимерные материалы из горных пород, активизированные малыми добавками шлака и щелочей / В.И. Калашников, В.Л. Хвастунов, А.А. Карташов и др. (Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения). – Самара, 2004. – С.205-209.
5. Rakhimova N.R. Influence of limestone content, fineness, and composition on the properties and microstructure of alkali-activated slag cement / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov, A.F. Khuzin, N.I. Naumkina, Y.N. Osin // [Cement and Concrete Composites](#). 2016. Т. 72. С. 268-274.
6. Тер-Петросян П.А. Исследование известково-вулканического вяжущего и изделий на их основе / П.А. Тер-Петросян, М.М. Бадалян, М.А. Серопян // Достижения и проблемы материаловедения и модернизация строй. индустрии. М-лы XV м. н.-т. конф-ции. – Казань – 2010. С.187-191.

7. Урханова Л.А. Пути повышения эффективности строительных материалов на основе активных вяжущих веществ / Урханова Л.А., Содномов А.Э., Костромин Н.Н. Строй. матер. 2006. С.34-35.
8. Beneš L. Geopolymer as a bonding agent in braking segment composites:[3rd International Symposium NON-TRADITIONAL CEMENT & CONCRETE] / Beneš L., Minář L. – Brno, 2008. – P.86-89
9. Шинкевич Е.С. Энергосберегающая технология получения поризованных композитов тепловлажностного твердения на силикатной матрице / Е.С. Шинкевич, А.А. Койчев, Г.Г. Бондаренко // Матеріали міжн. наук.-практ. конференції "Енергоефективні технології в міському будівництві та господарстві". – Одеса, 2014. – С.165-169.
10. Койчев А.А. Малоэнергемкие технологические приемы получения поризованных известково-кремнеземистых композитов / А.А.Койчев, Е.С.Шинкевич, Е.С.Луцкий, Д.С.Линник // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК – Вип. 77 – 2013. – С.232-237.
11. Шинкевич Е.С. Силикатные материалы неавтоклавногo твердения: технология, свойства / Е.С.Шинкевич, Е.С.Луцкий, А.А.Койчев, Г.Г.Бондаренко // Современные проблемы строительного материаловедения и технологии / Материалы м.н. конгресса: Наука и инновации в строительстве SIB 2008. – Воронеж. – 2008. – Том 1. Кн. 2. – С.659-667.
12. Луцкий Е.С. Структурно-реологические и технологические свойства силикатобетонных смесей / Е.С.Луцкий, А.А.Койчев, О.В.Терпанова, Е.С.Шинкевич // Вісник ОДАБА. – Одеса. – Вип. 31. – 2008. – С.200-205.
13. Шинкевич О.С. Аналіз впливу параметрів стану сумішей на властивості комплексно-активованих силікатних композитів тепловологісного твердіння / О.С. Шинкевич, Ю.В. Доценко, Н.В. Сидорова, О.О. Койчев, І.Н. Міроненко // Сборник научных трудов SWorld – Выпуск №44, 2016. – С. 84-87.
14. Шинкевич Е.С. Влияние извести на структурно-технологические и прочностные свойства силикатных материалов

неавтоклавного твердження / Е.С.Шинкевич, Г.Г.Бондаренко, Е.С.Луцкин, А.А.Койчев, Ю.В.Доценко // Вісник ОДАБА. – Одеса – Вип. 27. – 2007. – С.347-352.

15. Бабушкин В.И. Силикатные водостойкие изделия / В.И. Бабушкин, О.П. Мчедлов-Петросян. – Киев, 1962. – 100с.

16. Пригожин И.С., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. – М.: Мир, 2002. – 464 с.

17. Шинкевич Е.С. Поризованные комплексно активированные силикатные бетоны тепловлажностного твердения / Е.С.Шинкевич, Е.С.Луцкин, А.А.Койчев, Г.Г.Бондаренко // Збірник "Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка". – Київ – 2013 – Вип. 47 – С.158-165.

18. Shinkevich E.S. Basic properties of aerated composites on silicate matrix of thermal-moisture hardening / E.S. Shinkevich, E.S. Lutskin, A.A. Koichev, I.N. Mironenko // Вісник ОДАБА. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2015. – Вип. 57. – С. 400-408.

19. Shinkevich E.S. Complex activated aerated composites of thermal-moisture hardening on silicate matrix / E.S. Shinkevich, E.S. Lutskin, A.A. Koichev, G.G. Bondarenko, Yu.V. Dotsenko // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – Київ, 2015. – Вип. 54. – С.144-152.

20. Койчев О.О. Поризовані ефективні стінові виробы на основі силікатної матриці / О.О. Койчев, Е.С. Шинкевич, Г.Г. Бондаренко // Вісник ОДАБА. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2014. – Вип. 55. – С. 150-158.

21. ДСТУ Б А.1.1-13-94. Матеріали дрібноштучні стінові. Терміни та визначення.