

ТЕНДЕНЦІЇ ВИРОБНИЦТВА КЕРАМЗИТУ ТА ВИКОРИСТАННЯ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ В СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ

¹Вінницький національний технічний університет

Досліджено стан виробництва керамзиту та керамзитобетону, як сучасного стінового конструкційно-теплоізоляційного матеріалу в Україні та окремих країнах СНД. Наведено статистичну інформацію щодо обсягів виробництва керамзиту та керамзитобетону в окремих країнах світу та історична довідка виникнення його як будівельного матеріалу. Показано, що пік виробництва керамзиту припав на 80-ті роки минулого століття. Подано дані щодо вдосконалення нормативної бази, яка стосується виробництва керамзиту. Розкриті основні причини скорочення виробництва керамзиту та керамзитобетону.

Подано результати розрахунків товщини стінових конструкції та порівняльний аналіз основних стінових матеріалів на відповідність нормативним вимогам термічного опору. Проаналізовано сучасні підходи прогнозування міцності керамзитобетону, розраховано коефіцієнт конструктивної якості керамзитобетону. Наведені основні напрямки покращення якості керамзитового гравію. Охарактеризовано порівняльні теплофізичні властивості деяких стінових матеріалів для забезпечення термічного опору відповідно до нормативних вимог. Визначені основні підходи до переробки будівельних відходів. Науково обґрунтовано технологічні можливості рециклінгу будівельних відходів та можливості їх використання у виробництві будівельних матеріалів.

Ключові слова: керамзит, використання керамзитобетону, законодавчо-нормативна база, рециклінг відходів будівельного виробництва.

Вступ

Керамзит, як штучний пористий заповнювач, вогнестійкий, морозостійкий, не має шкідливих для здоров'я домішок та водночас є екологічно чистим матеріалом, який використовується в будівництві.

На початку ХХ століття американець Стефан Хайд запатентував матеріал для легких будівельних блоків. Цей матеріал отримали шляхом випалювання легкої глини і сланцю в тунельній печі. В США вперше в 1918 році почалось його виробництво і до 1959 року щорічно вироблялось близько 4 млн м³.

Для отримання керамзиту придатні легкоплавкі глини і глинисті сланці, у складі яких переважають монтмориллоніт, бейделліт і гідролюди. Керамзит отримують шляхом прискороного випалу легкоплавких глин в обертових печах за температури 1050...1200 °С. Оптимальний вміст органічної речовини в керамзитових глинах 0,5...1,5 %. Найсприятливіший хімічний склад: Fe₂O₃ + FeO — не менше 4 %, СаО — не більше 6 %, Al₂O₃ — до 20 %. Для виготовлення глинозольного керамзиту зола застосовується як добавка, що вводиться в глину (10...30 %). Найпридатніша зола-винос з вмістом кремнезему 33...57 % і глинозему 14...37 %.

За 30-тирічний період, починаючи з 1965 року, виробництво пористих наповнювачів в колишньому СРСР переросло у велику підгалузь будівельних матеріалів. В 1961 році в Куйбишеві (Самара) створили єдиний в країні головний інститут НДІКерамзит, який в подальшому реорганізовано в СПКБ з проектування нових заводів.

Колішній СРСР займав перше місце в світі з виробництва пористих наповнювачів. В країні діяло 463 підприємства і в 1986 році обсяг виробництва цих наповнювачів склав 47,7 млн м³, в тому числі близько 40,39 млн м³ штучних. В 1989 році досягнуто історичний максимум виробництва керамзиту — 39,42 млн м³ [1].

Завдяки використанню збірних конструкцій в декілька раз зростала швидкість монтажу самої «коробки» будинку та скорочувались витрати на внутрішні і зовнішні оздоблювальні роботи. Великопанельне і великоблочне будівництво, переважно з керамзитобетону, дало можливість в порі-

вняно короткі терміни збільшити житловий фонд більше ніж вдвічі. Пік виробництва і використання керамзитобетону в житловому будівництві припав на 80-ті роки. На великопанельне домобудівництво приходилось до 80 %.

В роки перебудови і переходу колишніх республік до ринкової економіки, в Україні відбулось падіння обсягів будівництва житла в 4 рази та, відповідно, суттєве скорочення виробництва будівельних матеріалів. Падіння економіки Україні тривало 10 років — найдовше серед пострадянських країн. Тому частина державних підприємств промисловості будівельних матеріалів (ДБК, підприємства залізобетонного виробництва, ніздрюватого бетону, цегельні заводи) були просто закриті або перепрофільовані для різних цілей.

Метою роботи є оцінка сучасного стану виробництва керамзиту, керамзитобетону та перспектив відродження їх виробництва.

Результати дослідження

Зростання нормативних вимог до термічного опору огорожувальних конструкцій привели до того, що керамзит і керамзитобетон став менш затребуваний в будівництві. Відбулась фізична ліквідація багатьох підприємств з виробництва керамзитового щебеню та гравію.

В Білорусії з чотирьох заводів, які були побудовані за часів Радянського Союзу, на сьогодні працює лише два. В Україні станом на 2017 рік «на плаву» залишилось лише чотири заводи і ті працюють не ритмічно. Обсяг виробництва керамзитового гравію в РФ скоротився майже в 11 разів, тобто з 38 млн м³ у 1990 році до 3,4 млн м³ у 2011 році [2].

Зростання вартості енергоносіїв та транспортних витрат легкоплавкої глини зумовило значне зростання собівартості керамзиту. Наприклад, транспортування глини для Вінницького заводу керамзитового гравію здійснювалось більше ніж за 100 км, тому не випадково, що це підприємство припинило свою діяльність уже в перші роки незалежності країни. Зниження рівня попиту на продукцію суттєво вплинуло на рентабельність та конкурентоспроможність керамзитового виробництва, хоча будівельна галузь й досі відчуває потребу у цьому матеріальному ресурсі, з урахуванням відсутності повноцінної альтернативи керамзиту.

Енергоємність виробництва 1 м³ керамзиту марки 300 і 350 за насипною густиною у європейських виробників становить 45...63 кг у.п./м³, а вітчизняних виробників — 80...150 кг у.п./м³.

Наприклад, за даними самого виробника, Хмельницький завод керамзитового гравію виробляє керамзит середньою густиною 630 кг/м³. За такої щільності керамзиту стіни з керамзитобетону матимуть густину 1300...1700 кг/м³. Товщина одношарової конструкції стіни буде наблизитись до 2 м або за традиційної товщини стіни до 50 см, потребує додаткового утеплення. Для виконання порівняльних розрахунків (табл. 1) товщини стін з різних матеріалів використані дані ДБН В.2.6-31:2016.

Таблиця 1

Порівняльні теплофізичні властивості стінових матеріалів для забезпечення термічного опору, рівного 3,3 м²·К/Вт

Стіновий матеріал	Середня густина, кг/м ³	Товщина стіни, м	Трудозатрати, люд.·год/м ²	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К
Газобетон	300	0,31	7,1	0,09
Газобетон	400	0,36	7,1	0,11
Силікатна цегла	1850	2,53	13,1	0,7
Глиняна цегла	1800	2,31	13,1	0,6
Керамзитобетон	900...1000	1,85	7,8	0,33...0,44
Керамзитобетон	1600...1800	2,42	7,8	0,67...0,80
Арболіт на цементі	300	0,462	7,8	0,14

Як відомо, на житловий комплекс України припадає близько 40 % енергоносіїв від їх загально-го кінцевого споживання. В результаті підвищення нормативних показників термічного опору огорожувальних конструкцій відбулось суттєве обмеження та витіснення керамзиту та одношарових керамзитобетонних виробів з будівельних проектів. Натомість, починаючи з 2000 року рекордними темпами почало зростати виробництво та використання ніздрюватого бетону, як альтернативного теплоізоляційного і конструкційно-теплоізоляційного стінового матеріалу. Якщо в 90-х роках в Україні обсяг виробництва ніздрюватих бетонів становив 1,7 млн м³, то у 2000 році обсяги

їх виробництва різко скоротились до 0,1 млн м³, але уже в 2016 році відбулось зростання виробництва майже в 36 раз — до 3,6 млн м³. За даними Всеукраїнської асоціації виробників автоклавного газобетону у 2016 році частка ніздрюватих бетонів в стінових матеріалах вперше перевищила 51 %. На сьогодні газобетонні блоки D300 визнані «найтеплішим» матеріалом для одношарових стін. Завдяки низькій щільності і теплопровідності зовнішні стіни товщиною 300...375 мм взагалі не потребують додаткового утеплення і задовольняють нормативним вимогам ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель [3] в частині термічного опору огорожувальних стін $R \geq 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Численними дослідженнями технологій легких бетонів встановлено, що бетони на пористих заповнювачах за переліком технічних властивостей (водонепроникність, морозостійкість, тріщиностійкість, корозійна стійкість тощо) не поступаються важким бетонам. Подальші дослідження виробництва та використання керамзиту та керамзитобетону в колишніх країнах СНД спрямовувалися на удосконалення нормативної бази виробництва керамзиту.

Вдосконалення нормативної бази виробництва керамзиту

В радянському ГОСТ 9757–90 «Гравій, щебінь і пісок штучні пористі. Технічні умови» передбачено виробництво керамзитового гравію по крупності зерен: 5...10, 10...20 і 20...40 мм і керамзитового піску фракції 0...5. У кожній фракції допускалось до 5 % дрібніших і до 5 % більших зерен в порівнянні з номінальними розмірами. За показником насипної щільності керамзитовий гравій розподілявся на 10 марок: від 250 до 800, причому до марки 250 відносився керамзитовий гравій з насипною щільністю до 250 кг/м³, до марки 300 — керамзит насипної щільності до 300 кг/м³ і т. п. Чим більше фракція керамзитового гравію, тим, як правило, менше насипна щільність, оскільки великі фракції містять найбільш спучені гранули.

В Україні на заміну ГОСТ 9757-90 ввели прогресивніший ДСТУ Б В.2.7-17-95 «Будівельні матеріали. Гравій, щебінь і пісок штучні пористі. Технічні умови», де передбачалось уже 15 марок за насипною густиною від 100 до 1100 кг/м³ та встановлювалась мінімальна марка за насипною густиною в розмірі 100 кг/м³.

Що стосується інших пострадянських країн (Азербайджан, Вірменія, Білорусь, Казахстан, Киргизстан, Молдова, РФ, Таджикистан, Узбекистан), то на сьогодні основним чинним нормативним документом, що регламентує виробництво керамзитобетону, є Міждержавний стандарт ГОСТ 32496-2013. Починаючи з 01.07.2015 року, на території Азербайджану, Вірменії, Казахстану Киргизії та РФ введений в дію державний стандарт ГОСТ-2014 «Легкі бетони. Технічні вимоги», який відповідає європейським регіональним стандартам EN 13055-1:2004 та EN 206-1:2000.

Технічні вимоги до теплоізоляційних бетонів передбачають наявність таких характеристик: теплопровідність бетону в сухому стані не більше 0,14 Вт/м·К, марка середньої густини не більше D500, міцність на стиск не менше 0,3 МПа. Для конструкційно-теплоізоляційного бетону густина має бути не менше D500, міцність на стик не менше 1 МПа, морозостійкість не менше F25, а для конструкційного керамзитобетону марка середньої густини не вище D2000. Міцність на стиск не менше 12,5 МПа.

В залежності від властивостей і вихідної сировини, використаних добавок і спеціальних технологічних прийомів, передбачається виробництво керамзитового гравію, щебеню, піску з різними показниками густини та міцності для різних сфер застосування:

- особливо легкий с насипною густиною 100...250 кг/м³, міцністю $R = 0,5$ МПа;
- легкий з густиною 300...450 кг/м³, міцністю $R = 1...2,5$ МПа;
- з підвищеною міцністю $R = 5,5...8$ МПа.

Легкий керамзит насипною щільністю 200...450 кг/м³ забезпечує отримання ефективних огорожувальних виробів з керамзитобетону з високими теплозахисними властивостями (панелі, блоки, моноліт), а щільніший керамзит 600...800 кг/м³ забезпечує вищу міцність керамзитобетону 5,5...10 МПа, що цілком прийнятно для використання як стіновий матеріал в малоповерховому житловому будівництві.

Марка щебеню і гравію за міцністю в залежності від міцності легкого бетону повинна відповідати вимогам ГОСТ-25820. Марка за морозостійкістю має бути не нижче F15. Втрата маси після 15 циклів змінного заморожування і відтанення не повинна перевищувати 8 %. Співвідношення між основними показниками керамзитового гравію та щебеню подано в табл. 2. Як видно з табл. 2, виробництво керамзитового щебеню та гравію, відповідно до вимог міждержавного стандарту ГОСТ 32496-2013 «Заповнювачі пористі для легких бетонів. Технічні вимоги», введеного в дію з

01.01.2015 року, передбачає виробництво керамзитового щебеню та гравію насипною густиною за аналогією з українським ДСТУ від 100 кг/м³ до 1000 кг/м³.

Таблиця 2

Основні співвідношення між характеристиками насипної густини та міцності деяких заповнювачів

Заповнювач	Насипна густина, кг/м ³	Марка за насипною густиною,	Міцність, МПа	Марка за міцністю, не менше
Керамзитовий гравій	100...150	M150	До 0,5	П15
	150...200	M200	До 0,5	П15
	200...300	M250	0,5...0,7	П25
	300...350	M300	0,7...1,0	П35
	350...400	M400	1,0...1,5	П50
	400...450	M450	1,5...2,0	П75
	450...500	M500	2,0...2,5	П100
	500...600	M600	2,5...3,3	П125
	600...700	M700	3,3...4,5	П150
	700...800	M800	4,5...5,5	П200
	800...900	M900	5,5...6,5	П250
900...1000	M1000	6,5...8,0	П300	
Керамзитовий щебінь	100...150	M150	До 0,5	П15
	150...200	M200	До 0,5	П15
	200...250	M250	До 0,5	П15
	250...300	M300	0,5...0,6	П35
	300...350	M350	0,6...0,8	П50
	350...400	M400	0,6...0,8	П50
	400...450	M450	0,8...1,2	П75
	450...500	M500	1,2...1,6	П100
	500...600	M600	1,6...2,0	П125
	600...700	M700	2,0...3,0	П150
	700...800	M800	3,0...4,0	П200
	800...900	M900	4,0...5,0	П250
	900...1000	M1000	5,0...6,0	П300

Підвищення якості керамзитового гравію

Міцність пористих заповнювачів бетону визначається шляхом здавлюванням зерен в стандартному циліндрі сталевим пуансоном на задану глибину. Випробування керамзитового гравію в циліндрі дає лише умовну відносну характеристику його міцності, часто дещо занижену. Встановлено, що дійсна міцність керамзиту при випробуванні в бетоні в 4...5 разів перевищує стандартну характеристику. Залежність граничної міцності керамзитобетону на стиск в залежності від середньої густини з класом міцності на стиск В 12,5...В 20 відповідає середньостатистичним даним бетону за середньої густини D1400 [4]. А в роботі [5] підтверджується можливість отримання високорухливих і самоущільнювальних керамзитобетонних сумішей, оптимальної гранулометрії мінеральної складової в поєднанні з поризацією розчинної складової із застосуванням ефективних суперпластифікаторів і стабілізаторів керамзитобетонів класів В 12,5...В 20 з маркою середньої густини D1400 в самоущільнювальних бетонних сумішах.

За даними [6], виготовлення високоміцних керамзитобетонів з використанням полікарбосилатного суперпластифікатора забезпечує можливість зменшення водоцементного відношення до 0,35 зі збереженням рухомості керамзитобетонної суміші на рівні 1...2 см та отримання керамзитобетону з максимальною міцністю до 45 МПа, з цього випливає дещо неоднозначний висновок про те, що міцність легких бетонів визначаються саме цементною матрицею, а не заповнювачем.

Цілком логічно, що найраціональнішим видом керамзиту є керамзитовий гравій, який має форму, наближену до сферичної (рис. 1).

Визначальним показником якості керамзитового гравію є його відносно висока міцність за малої густини (ККЯ). Це дозволяє отримувати на основі керамзиту легкий бетон і виробити з нього, що характеризуються високим коефіцієнтом конструктивної якості (ККЯ).

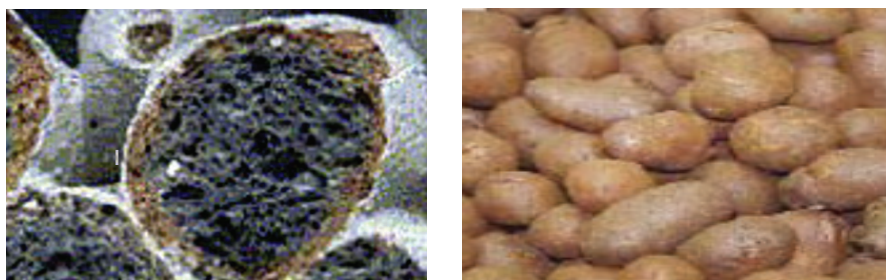


Рис. 1. Макроструктура та зовнішній вигляд зерен керамзиту правильної та неправильної форми

$$KKЯ = \left(\frac{R_{CT}}{D} \right) = \left(\frac{450}{1800} \right) = 0,25, \quad (1)$$

де R_{CT} — міцність керамзитобетону на стиск, кг/см²; D — густина керамзитобетону, кг/м³. Для порівняння ККЯ важкого бетону становить 0,18. Іншими словами ККЯ можна назвати приведеною міцністю матеріалу до одиниці його густини. Але не менш важливими факторами якості виробів з керамзитобетону є міцність бетону на згин та об'ємний вміст самого керамзиту в бетоні.

Для прогнозування міцності керамзитобетону здійснено багато спроб зробити це шляхом використання емпіричних математичних формул за даними об'ємного вмісту та міцності самих компонентів керамзитобетону. Типовою для цієї групи формул є формула Ю. Є. Корніловича

$$R_b = R_p (1 - \varphi) + R_k \varphi, \quad (2)$$

де R_p — міцність розчинної складової; φ — об'ємна концентрація крупного заповнювача; R_k — коефіцієнт крупності пористого заповнювача (керамзиту).

Окрема група математичних залежностей враховує міцність компонентів, об'ємний вміст і деформативні властивості. У разі початкового руйнування бетону з розчинної частини може бути використана формула Б. Г. Скрамтаєва

$$R_b = R_p \left[1 + \left(\frac{E_\varepsilon}{E_p - 1} \right) \varphi \right], \quad (3)$$

де E_ε і E_p — відповідно, модулі пружності заповнювача і розчину.

На початку руйнування бетону із заповнювачем застосовують формулу С. Є. Фрейдельда

$$R_b = R_\varepsilon \left[1 + \left(\frac{E_p}{E_\varepsilon} - 1 \right) (1 - \varphi) \right], \quad (4)$$

де R_ε — міцність заповнювача.

Зазначені формули (2)—(4) не стали «робочими» для технолога, враховуючи особливість granulometрії керамзитового гравію — наявність кулеподібних та циліндричних частинок гравію ускладнило можливість досягти щільної прогнозованої упаковки. Це привело до зростання кількості розчинної фази (цемент + пісок + вода) в керамзитобетоні і збільшувало його густину, тому масово використовувались повітровтягуючі добавки, які поризували розчинну фазу.

В роботі [7] подано узагальнені сучасні підходи прогнозування густини та міцності керамзитобетону, розрахунки складів легких бетонів за даними технологічними властивостями. На основі експериментальних і розрахункових значень міцності конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів класів В7,5 і менше, міцність на осьовий розтяг складає 12...17 % від міцності на стиск, а для конструкційних керамзитобетонів — 7...10 %.

Надзвичайно важливо використовувати в житловому будівництві матеріали з гарантованими, підтвердженими багаторічними дослідженнями та практикою, експлуатаційними показниками. Керамзит і вироби на його основі забезпечують здорові умови життя, пожежну безпеку. Практично у всьому діапазоні висотності будівель тривалий час (до зростання вартості енергоносіїв та підвищення нормативних вимог термічного опору) великопанельний будинок за вартістю в середньому був дешевше цегельного на 20...25 %, а монолітного — на 15...20 %.

Незважаючи на значну шкоду, завдану промисловості будівельних матеріалів в період перебудови 1990-х рр., керамзитові підприємства можуть випускати керамзит і забезпечувати інші на-

прямки його використання в житловому будівництві, наприклад, звукоізоляція міжповерхових перекриттів, стяжки під підлогу, монолітні перекриття, найчастіше керамзит використовується, як утеплювач. Керамзит має виражені дренажні властивості, тому використовується для будівництва насипів на дорогах, пішохідних доріжок, транспортних споруд та інше [8]—[9].

З 60-х рр. в нашій країні переважала одностороння спрямованість у використанні керамзиту переважно для великопанельного домобудівництва і в першу чергу для зовнішніх стінових конструкцій. Тобто всі потенційні можливості керамзиту і керамзитобетону повністю не використовувалися, тоді як спектр застосування керамзитобетону в будівництві досить широкий — від теплоізоляційного керамзитобетону до використання в каркасно-монолітному будівництві як несучі конструкції [9]—[10].

Якщо за радянських часів переважно виготовлявся так званий «важкий» керамзит насипною щільністю 550...600 кг/м³, то на сьогодні через зростання нормативних вимог до теплозахисту будівель на будівельних об'єктах, має використовуватись якісніший керамзит з низькою щільністю 100...300 кг/м³. Якщо з 1 т глини можна отримати близько 2 м³ важкого керамзиту, то легкого — більше 3 м³ за однакових витрат на енергоресурси. В Європейських країнах на виробництво 1 м³ керамзиту в середньому витрачається 35...45 м³ природного газу, в той час коли на краших заводах СНД усередненим значенням вважається 150...200 м³ газу. В колишньому СРСР ціни на природний газ становили лише 7 % від світових цін, саме зростання вартості природного газу до світового рівня стало нездоланною перешкодою для багатьох виробників керамзиту.

Для привабливості виробів з керамзитобетонів, підвищення заводської готовності керамзитобетонних блоків, виробники використовують відомі технологічні прийоми, які спрямовані на підвищення термічного опору за рахунок збільшення кількості повздовжніх щілин, влаштування внутрішніх термовкладишів з пінопласту, лицьових пластин з природного пісковика, черепашника або бетонних пластин з лицьовою поверхнею цегли, під фарбування. Користуються попитом керамзитобетонні блоки з облицюванням, які виробляються за типом сендвіча. Як правило, вони складаються з несучої частини, утеплювача і декоративного шару (рис. 2). Враховуючи те, що питома вага малоповерхового житла в останні роки в СНД зростає (в Україні становить 65...68 %), стінові блоки з керамзитобетону займають певну нішу в структурі стінових матеріалів, що і сприяє вдосконаленню технології їх виробництва.



Рис. 2. Зовнішній вигляд керамзитобетонних блоків з термовкладишами та декоративним облицюванням

Зокрема, нова 13-щілинна конструкція керамзитобетонного блоку, що розроблена в Білорусії, забезпечує опір теплопередачі 3,718 м²·К/Вт. Однією з особливостей багат шарового стінового керамзитобетонного блоку «Албор» (Росія), виконаного з системою «паз-чверть» по периметру, забезпечує надійне замикання зовнішніх вертикальних і горизонтальних швів, а також захист зовнішніх огорожувальних конструкцій від атмосферних опадів і продування. В Україні, під брендом «Ковальська», виробляють блоки з керамзитобетону прямокутної форми різних розмірів — для стін і для перегородок, «цілі», «половинки» і «одна-третина» масою від 4 до 16 кг. Щільніший керамзит (600...800 кг/м³) з високою міцністю 5,5...10 МПа придатний для зведення несучих конструкцій, що особливо важливо для багатоповерхових, висотних будівель та спеціальних видів будівництва.

Проблемною стороною експлуатації панельного житла, так званих «хрущовок», які були масово побудовані у 60—80 рр. минулого століття з використанням керамзитобетонних панелей, є їх моральна застарілість та енергозатратність під час утримання. Досвід Східноєвропейських постра-

дьянських країн та республік колишнього СРСР свідчить про необхідність їх модернізації, адже термічний опір стін товщиною 0,37...0,5 м становить 0,65...0,9 м²·К/Вт за сьгоднішніх нормативних 3,3 м²·К/Вт. Такі стіни втрачають в декілька разів більше теплової енергії під час опалювального сезону. Застарілий житловий фонд потребує масового утеплення та заміни інженерних мереж. Окремі аварійні будівлі та споруди підлягають знесенню, в наслідок чого виникає проблема утилізації будівельних відходів.

Рециклінг будівельних відходів

Термін «рециклінг» об'єднує безліч процесів, пов'язаних з повторною переробкою і виділенням корисних компонентів із відходів. В Україні рециклінг є поки що відносно новим поняттям, проте поступова євроінтеграція сприяє активному розвитку процесів, пов'язаних з можливостями повторного використання та утилізацією відходів.

Уже більш ніж 30 років в Європі діє Асоціація зі знесення будівель (European Demolition Association), яка об'єднує компанії з 17 країн. Основними завданнями асоціації є, в першу чергу, обмін досвідом в області знесення будівель, розвиток технологічних можливостей сміттєперероблення та актуалізація цієї проблематики на державному і громадському рівнях. У більшості країн Європи рівень переробки будівельних відходів перевищує в середньому 90 %. Наприклад, в Німеччині функціонує понад 400 заводів, які переробляють будівельне сміття, а тільки в одному Берліні працює більше 100 переробних центрів. В окремих європейських країнах діють закони, які забороняють звозити на полігони будівельні відходи.

Дослідження, проведені в США, Канаді та Німеччині підтвердили переваги бетону, що виготовляється з щебеню, будівельного лому для будівництва доріг. В США, Канаді вивезення та складування будівельного сміття на приміських звалищах коштує досить дорого, так як переробляти відходи значно дешевше, ніж вивозити їх у відвал. У більшості розвинених країн в середньому 50 % від загального обсягу виробництва будівельних матеріалів використовують продукти переробки будівельних відходів.

Від однієї стандартної «хрущовки» може утворюватись в середньому 3000 м³ будівельних відходів. Кількість таких будинків, що підлягають модернізації або знесенню, становить в Україні більше 25 тис., що в загальному житлову фондів становить більше 20 % житла. За приблизними розрахунками фахівців, на сьогодні у Києві щорічно утворюється біля 1500 тис. т будівельних відходів. Тільки 70...80 тис. т переробляється в щебінь, інші вивозяться на полігони або накопичуються на несанкціонованих сміттєзвалищах.

Вважається, що під час добування природного щебеню витрачається енергії до 8 разів більше, ніж під час отримання щебеню з бетону. Виробництво вторинного щебеню дозволяє не лише заощаджувати природні ресурси, але і скоротити транспортні витрати, земельні ділянки під нові полігони та несанкціоновані звалища, які забруднюють довкілля. За усередненими даними, із загальної маси будівельних відходів 50 % складає бетон та залізобетон, 34 % — кам'яні стінові матеріали, 8 % — асфальтові відходи, 7 % — відходи деревини, металів, пластику, скла, гіпсу, 1 % — інші відходи.

Найвагомішу нішу будівельних відходів займають керамічні відходи — глиняна цегла, керамзитобетон. Як відомо, основним компонентом глини є інертний каолінит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, який під час випалювання втрачає воду і переходить в активний каоліновий ангідрид — метакаолін $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, аморфізований в результаті видалення гідратної води. При взаємодії випалених глин з гідроксидом кальцію за звичайних температур утворюються гідрат геленіта $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 8H_2O$ і гідросілікат кальцію типу CSH (В) з відношенням C/S в залежності від концентрації CaO в водному розчині, рівним 0,8...1,5.

Використання відходів (подрібненого керамзитобетону) має свої особливості. В останні десятиліття окремими країнами в якості пуцоланових добавок до цементу знаходять застосування обпалені глини з обмеженим вмістом каолініту, що диктується необхідністю економії витрат за перевезення природних пуцоланових добавок, які вводяться в процесі виробництва цементів [12]—[14].

Використання подрібненого бою цегли, черепиці, керамзиту, аглопориту, горілих порід, обпаленої глини в складі цементу забезпечує економію мінерального в'язучого до 15...20 %. Таким чином, зазначені продукти є альтернативою природним активним мінеральним добавкам, які використовуються у сучасному виробництві цементів та бетонів. Саме тому відходи керамзитобетону необхідно розглядати, як легкий заповнювач в легкі бетони та цінну активну мінеральну добавку до цементів та бетонів.

Висновки

Підвищення вартості енергоносіїв та зростання показників термічного опору огорожувальних конструкцій в колишніх пострадянських країнах спричинило суттєве зменшення обсягів виробництва керамзиту та керамзитобетону. Використання керамзитобетону як стінового матеріалу для потреб малоповерхової забудови або огорожувальних конструкцій висотних будинків в каркасно-монолітному будівництві потребує виготовлення стінових блоків або панелей з додатковим термо-вкладишем.

Потенційне зростання в Україні обсягів виробництва керамзиту, як ефективного матеріалу, має базуватись на впровадженні нового енергетичного обладнання з виробництва керамзиту з насипною щільністю 100...450 кг/м³.

Виготовлення керамзиту вищої щільності має супроводжуватись зростанням ККЯ керамзитобетону. Світова практика свідчить про те, що легкі бетони на пористих заповнювачах дають значне зменшення загальної маси будівель і споруд, зниження матеріало- та трудомісткості, з одночасним збереженням необхідної капітальності і довговічності об'єктів. При цьому суттєво зменшується навантаження на основи та фундамент будівлі.

Для переробки та утилізації будівельних відходів Україна має долучитись до європейської Асоціації зі знесення будівель (European Demolition Association). Простежується тісний кореляційний зв'язок між необхідністю переробки будівельних відходів та реалізацією статті 32 Закону України «Про відходи», відповідно до якої з 1 січня 2018 року Україна зобов'язалася сортувати все сміття за видами матеріалів, а також розділяти його на придатне для повторного використання або захоронення. В рамках реалізації Закону України «Про відходи» органами місцевого самоврядування мають бути розроблені стимулюючі заходи щодо переробки відходів, а в населених пунктах має бути створена інфраструктура для збирання, первинного та вторинного сортування.

Враховуючи велику тоннажність будівельних відходів та їх практичну цінність, вони мають перероблятися та стати додатковою сировинною базою у виробництві щебеню, традиційного та важкого бетону, легких бетонів, штучних активних мінеральних добавок в цемент. За аналогією з практикою розвинених країн, в містах України необхідно створити пересувні механізовані мобільні комплекси демонтажу будинків та будівельні майданчики переробки відходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Экономическая информация о работе промышленности пористых заполнителей СССР за 1986-1990 годы*. Самара: НИИКерамзит, 1992.
- [2] В. М. Горин, «Применение керамзитобетона в строительстве — путь к энерго- и ресурсоэффективности, безопасности зданий и сооружений», *Строительные материалы*, № 8, с. 8-10, 2010.
- [3] Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. (2016, лип. 08). *Державні будівельні норми В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель»*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://dbn.at.ua/dbn/DBN_V.2.6-31-2016_Teplova_izolyatsiya_budively.pdf.
- [4] П. Г. Комохова, Ред., *Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси*. С.-Пб.: НПО «Профессионал», 2007, 804 с.
- [5] Г. В. Несветаев и А. В. Беляев «Самоуплотняющийся керамзитобетон классов В12,5—В20 с маркой по средней плотности D1400», *Интернет-журнал «Науковедение»*, т. 8, № 1, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN116>.
- [6] К. К. Пушкарьова, К. О. Каверин, та Д.О. Калантаєвський «Дослідження високоміцних цементних композицій, модифікованих комплексними органо-кремнеземистими добавками», *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 5 (77), с. 42-51, 2015.
- [7] Л. Й. Дворкін, та О. Л. Дворкін, *Основи бетонознавства*. Київ: Основа, 2007, 616 с.
- [8] В. М. Горин, С. А. Токарева, та М. К. Кабанова «Керамзит и керамзитобетон — материал для современного индустриального домостроения», *Строительные материалы*, № 7, с. 18-20, 2011.
- [9] А. В. Мішутін, С. О. Кровяков, та В. Л. Богущький «Застосування модифікованих бетонів на легких заповнювачах для конструкцій тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд», *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*, № 56, с. 68-74, 2015.
- [10] К. К. Пушкарьова, та К. О. Каверин «Використання високоміцних керамзитобетонів в каркасно-монолітному будівництві», *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, вип. 33, с. 75-83, 2016.
- [11] А. И. Звездов, и В. Р. Фаликман. «Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре», *Жилищное строительство*, № 7, с. 2-5, 2008.
- [12] G. Habert, N. Choupaу, G. Escadeillas, D. Guillaume and J. Montel “Clay content of argillites: Influence on cement based mortars,” *Applied Clay Science.*, vol. 43, no. 3-4, pp. 2009.
- [13] R. Fernandez, F. Martirena and K. Scrivener “The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite”, *Cement and Concrete Research*. vol. 41, pp. 113-122, 2011.
- [14] А. Тирони, М. Тресса, и А. Сиан «Термическая активация каолиновых глин», *Цемент и его применение*. № 11-12, с. 145-148, 2012.

Сердюк Василь Романович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, e-mail: modser@i.ua .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

B. R. Serdiuk¹

Trends of Expanded Clay Production and Use of Expanded-clay Concrete in Modern Construction

¹Vinnytsia National Technical University

In this article “Trends of expanded clay production and use of expanded-clay concrete in modern construction” the state of expanded clay and expanded-clay concrete production as a modern wall constructional-thermal insulating material in Ukraine and some other countries is discussed. Firstly, the general characteristic of technologically complex product of expanded clay, which requires the using of high-temperature production processes, is presented. Also, statistical information on volumes of expanded clay and expanded-clay concrete production in some countries of the world and historical information on its occurrence as a building material are analyzed.

It was shown that the peak of expanded clay production dates backed to the 80s of the last century. The main directions of improvement legislative and regulatory framework of expanded clay and expanded-clay concrete production are described. Also, the author discloses the general reasons of reducing production of expanded clay and expanded-clay concrete.

This paper is focused on calculations results of the thickness wall construction and comparative analysis of the main wall materials for compliance with the normative requirements of thermal resistance. Furthermore, the modern approaches forecasting of expanded-clay concrete strength have been analyzed.

The indicator of constructive quality of expanded-clay concrete has been calculated. Likewise, the basic approaches to processing of building waste and main directions the recycling wastes of building production, in particular ceramic products are determined. This work has been done to evaluate certain technological possibilities for the processing of construction waste and its use in the production of building materials.

Keywords: expanded clay, using expanded-clay concrete, normative base, recycling of construction waste.

Serdiuk Vasyl R. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Engineering System in Building, e-mail: modser@i.ua

В. Р. Сердюк¹

Тенденции производства керамзита и использования керамзитобетона в современном строительстве

¹Вінницький національний технічний університет

Исследовано состояние производства керамзита и керамзитобетона как современного стенового конструкционно-теплоизоляционного материала в Украине и отдельных странах СНГ. Показано, что пик производства керамзита пришелся на 80-е годы прошлого века. Приведена статистическая информация по объемам производства керамзита и керамзитобетона в отдельных странах мира и историческая справка возникновения его как строительного материала. Показано, что пик производства керамзита припал на 80-ые годы прошлого столетия. Приведены данные по совершенствованию нормативной базы, касающейся производства керамзита. Раскрыты основные причины сокращения производства керамзита и керамзитобетона.

Представлены результаты расчетов толщины стеновых конструкций и сравнительный анализ основных стеновых материалов на соответствие нормативным требованиям термического сопротивления. Проанализированы современные подходы прогнозирования прочности керамзитобетона, рассчитан коэффициент конструктивного качества керамзитобетона. Приведены основные направления улучшения качества керамзитового гравия. Охарактеризованы сравнительные теплофизические свойства некоторых стеновых материалов для обеспечения термического сопротивления согласно нормативным требованиям. Определены основные подходы к переработке строительных отходов. Научно обоснованы технологические возможности переработки строительных отходов и их использование в производстве строительных материалов.

Ключевые слова: керамзит, использование керамзитобетона, нормативная база, рециклинг отходов строительного производства.

Сердюк Василий Романович — д-р тех. наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных систем в строительстве, e-mail: modser@i.ua