

УДК 691.327:666.973.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2026.39.7>

МІЦНІСНІ ТА ДЕФОРМАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ

Кравченко Сергій Анатолійович¹, Постернак Олександр Олексійович²,
Уразманова Надія Фанісівна³

¹ кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: ck@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-7235-0312

² кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: alex.bk@ukr.net, orcid: 0000-0002-7016-6941

³ асистент кафедри архітектурних конструкцій,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: nadegdaurazmanova@odaba.edu.ua, orcid:0000-0002-3415-4150

Анотація. Метою дослідження є експериментальне визначення й узагальнення міцнісних і деформативних характеристик конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів на пористих заповнювачах із використанням багатокомпонентних в'язучих з метою отримання розрахункових параметрів, необхідних для проектування бетонних і залізобетонних конструкцій, а також обґрунтування доцільності їх застосування в будівництві та при відновленні зруйнованих об'єктів.

Методологія. Дослідження виконано із застосуванням розрахунково-експериментального методу підбору складів легких бетонів, що включав вибір виду пористих заповнювачів, призначення витрати багатокомпонентного в'язучого, оптимізацію зернового складу та водовмісту бетонної суміші. Обробку експериментальних даних здійснено методами математичної статистики й регресійного аналізу з довірчою імовірністю 95%.

Результати. Установлено вплив виду дрібного заповнювача, типу пористого крупного заповнювача й складу багатокомпонентного в'язучого на міцнісні та деформативні властивості керамзитобетонів, керамзитоперлітобетонів і кералітобетонів у діапазоні міцності 5...30 МПа. Отримано регресійні залежності для кубикової та призмової міцності, модуля пружності, меж мікротріщиноутворення, а також деформацій усадки й повзучості. Показано, що використання вапна та золи-виносу в складі в'язучих забезпечує зниження витрати портландцементу без погіршення деформативних і тріщиностійких характеристик. З'ясовано, що модуль пружності легких бетонів на кварцовому піску в середньому на 10–20% перевищує відповідні значення бетонів на пористих пісках.

Наукова новизна. Для легких бетонів на місцевих пористих заповнювачах отримано узагальнені регресійні моделі, що описують залежність міцнісних, деформативних характеристик і меж мікротріщиноутворення від факторів складу. Установлено кількісні залежності між міцністю на розтягування та критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень, що дає змогу оцінювати тріщиностійкість легких бетонів при розрахунку конструкцій.

Практична значущість. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні складів легких бетонів і визначенні розрахункових характеристик

бетонних і залізобетонних конструкцій житлових і громадських будівель. Запропоновані склади забезпечують підвищення техніко-економічної ефективності будівництва за рахунок зменшення витрати цементу й раціонального використання місцевих матеріалів і техногенних відходів.

Ключові слова: легкі бетони, конструкційно-теплоізоляційні бетони, пористі заповнювачі, керамзитобетон, керамзитоперлітобетон, кералітобетон, багатокомпонентне в'язуче, міцнісні характеристики, деформативні властивості, модуль пружності, мікротріщиноутворення, усадка бетону, повзучість бетону, рівняння регресії, бетонні та залізобетонні конструкції.

ВСТУП

Дослідження й виробничий досвід показують, що переваги будівництва в низці суттєво передбачається застосуванням легких бетонів, особливо в тих випадках, коли є досить потужна база для виробництва місцевих пористих заповнювачів.

Питання вдосконалення структури та властивостей легких бетонів, а також їх особливості й переваги на змішаних заповнювачах і композиційних в'язучих відображено в багатьох вітчизняних і зарубіжних дослідженнях. Збільшити обсяг бетону, що виготовляється, знизити вартість можна шляхом застосування багатокомпонентного в'язучого до складу, якого, крім зменшеної кількості портландцементу, входять негашене вапно, зола-віднесення ТЕЦ і хімічні добавки [4, с. 21].

Проблема використання легких бетонів є досить актуальним завданням, оскільки передбачає вирішувати багато актуальних завдань сучасного будівництва в Україні та ЄС і водночас екологічні, ресурсозберігаючі й економічні проблеми за рахунок технологічних і техногенних відходів при застосуванні та виготовленні місцевих пористих заповнювачів і багатокомпонентних в'язучих.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Останнім часом накопичилося багато досліджень міцності й деформативності легких бетонів і конструкцій на їх основі, які відображено в роботах Є.М. Бабица, В.М. Вирового, В.Г. Суханова та ін. [3; 6; 7; 8; 9; 13], а також закордонних дослідників [10; 12; 15; 16; 20]. На сучасному етапі значний внесок у розвиток бетонів з використанням шлаку й золи зробили Л.І. Дворкін, О.Л. Дворкін та інші [1; 11; 14; 17; 18; 19; 20], але в основному ресурсозберігаючі питання за рахунок застосування промислових відходів при виготовленні пористих заповнювачів і в'язучих розглядаються для важких бетонів і мала кількість наукових публікацій стосується легких бетонів.

МЕТА

Мета статті полягала в дослідженні й отриманні експериментальних даних міцнісних і деформативних властивостей конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів на пористих заповнювачах для подальшої рекомендації впровадження на відновлення зруйнованих будівель.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У дослідженнях використовували [2; 5] портландцемент ВАТ «Південь цемент» марки 400; вапно активністю 60% на CaO; зола-віднесення Ладжинської ТЕС з $S_{\text{вд}}=3000 \text{ см}^2/\text{г}$; керамзитовий гравій фракцій 5...10 і 10...20 мм у співвідношенні $V_{5...10}/V_{10...20} = 1,5$; кералітовий гравій, отриманий у печах випалу ПВ 2,5x40, як сировину використовували мулисті ґрунти на берегових гідровідвалах портів Білгород-Дністровський, Усть-Дунайськ і Південний фракцій 5...10 і 10...20 мм; карбонатний пісок Орловського родовища; пісок річковий щільний «Тельманівський кар'єр», модуль крупності 1,36; пісок перлітовий «ТОВ Перліт-Інвест» пластифікатор С-3.

При підборі складів використовували розрахунково-експериментальний метод, що включає такі операції:

- вибір заповнювача;
- призначення попередньої витрати в'язучого;
- призначення зернового складу та витрати заповнювача;
- визначення витрати води, що забезпечує зручноукладальність бетонної суміші;
- установлення залежностей між витратою в'язучого й міцністю бетону;
- коригування та призначення виробничого складу.

Випробування зразків кубів і призм для визначення міцнісних і деформативних властивостей легких бетонів проводили відповідно до чинних норм ДСТУ.

Оптимальні склади та характеристики міцності досліджуваних бетонів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Склади та характеристики легких бетонів

Проектна міцність (МПа)	Цемент (кг/м³)	Зола (кг/м³)	Вапно (кг/м³)	Великий заповнювач (кг/м³)	Пісок (кг/м³)	Вода (л)	f _{ck} (np) (МПа)	f _{ck} (28) (МПа)	Щільність (кг/м³)	Примітка
Керамзитобетон на карбонатному піску										
10	250	-	-	392	472	270	-	10,6	1190	Бетон природного твердіння
15	400	-	-	267	750	250	-	19,7	1480	
20	550	-	-	152	1002	230	-	22,9	1670	
25	550	-	-	143	933	270	-	25,7	1690	
Кералітобетон на карбонатному піску										
10	250	-	-	211	1194	202	7,4	10,7	1685	Карбонатний пісок Орловського родювища
15	280	-	-	342	1025	178	11,7	19,1	1675	
20	360	-	-	325	975	192	15,4	23,7	1690	
25	455	-	-	306	919	203	20,1	25,9	1710	
Керамзитобетон на кварцовому піску та багатокомпонентному в'язучому (БКВ)										
10	110	150	130	420	480	245	9,8	10,8	1320	С-3 – 0,3...0,5%, гіпс – 25кг/м3
15	120	200	150	350	430	266	13,2	16,1	1425	
20	180	150	125	440	360	275	18,6	21,9	1400	
25	240	200	150	350	280	284	25,8	28,5	1450	
Керамзитоперлітобетон на багатокомпонентному в'язучому (БКВ)										
5	100	100	160	450	190	225	4,2	5,1	1120	С-3 – 0,3...0,4%, гіпс – 20кг/м3
7,5	160	150	130	440	210	240	6,3	7,4	1260	
10	190	210	130	520	350	305	8,7	10,4	1370	
12,5	210	200	150	480	475	325	11,7	13,2	1450	
Керамзитобетон на карбонатному піску та цементно-зольному в'язучому										
15	250	90	-	545	572	210	14,5	16,4	1565	С-3 – 0,6%
20	300	120	-	430	725	225	17,6	20,7	1665	
25	350	150	-	505	540	245	21,2	26,6	1690	

За результатами експериментальних досліджень із 95% надійністю отримано квадратичні рівняння регресії кубикової та призмової міцності на 28 добу, керамзитобетону на багатокомпонентному в'язкому й кварцовому піску, які з урахуванням лише значущих коефіцієнтів регресії мають вигляд:

$$f_{ck}(28) = 19,95 + 3,7x_1 + 1,7x_2 + 1,9x_3 + 3,0x_4 + 2,7x_1^2 + 1,2x_1x_3 - 1,4x_4^2 - 2,1x_5^2 \quad (1)$$

$$f_{cd}(28) = 18,5 + 3,3x_1 + 1,5x_2 + 1,7x_3 + 2,8x_4 + 2,5x_1^2 + 1,1x_1x_3 - 1,178x_4^2 - 1,833x_5^2 \quad (2)$$

Для спрощення квадратичних рівнянь регресії (1,2) використана лінійна залежність виду:

$$f_{ck}(28) = 55,2 - 34,4[(В/БКВ) + r] \quad (3)$$

$$f_{cd}(28) = 19,2 - 30,3[(В/БКВ) + r] \quad (4)$$

У результаті застосування регресійного аналізу прийнято лінійне рівняння регресії модуля пружності керамзитобетону на

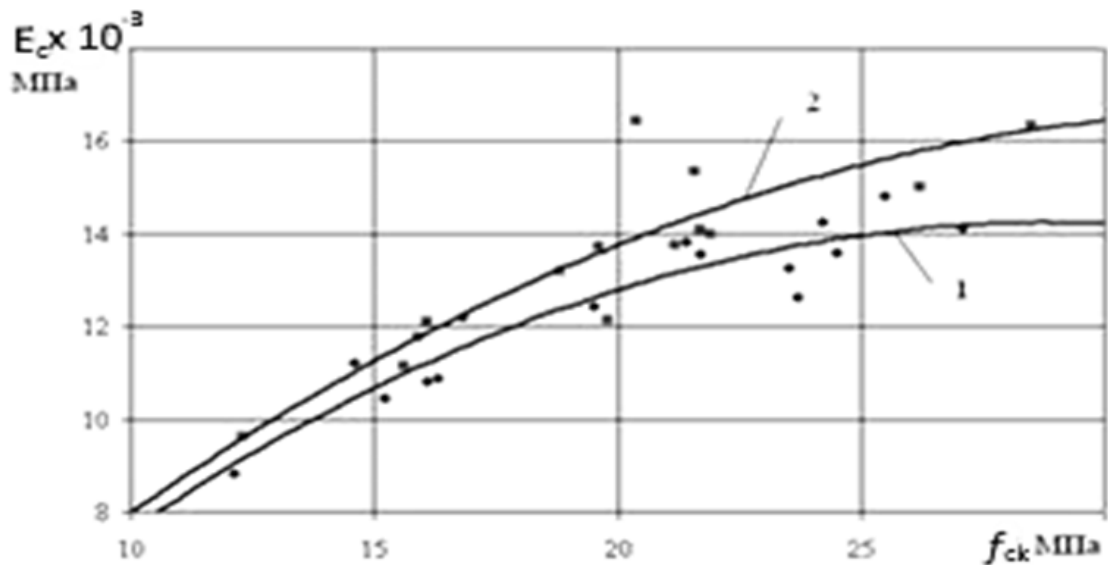
кварцовому піску та багатокомпонентному в'язучому, яке має вигляд:

$$E_c(28) \cdot 10^{-3} = 25,136 - 12,8[(В/БКВ) + r] \quad (5)$$

Отримані дані з керамзитобетону на карбонатному піску близькі до результатів для керамзитобетону на кварцовому піску й на 15–20% перевищують значення модуля пружності керамзитобетону на керамзитових пісках. На рис. 1 представлена залежність модуля пружності від міцності.

З рис. 1 варто зауважити, що модуль пружності керамзитобетону на кварцовому піску більший, ніж на карбонатному, і в середньому їх значення відрізняються на 10%. Знижений модуль пружності деяких видів легких бетонів відзначався також і в роботах інших авторів.

Одним із основних факторів, що впливають на параметричні точки мікротріщиноутворення, є міцність зчеплення між цементним каменем і зернами заповнювача.



- 1 – керамзитобетон на карбонатному піску;
2 – керамзитобетон на кварцовому піску.

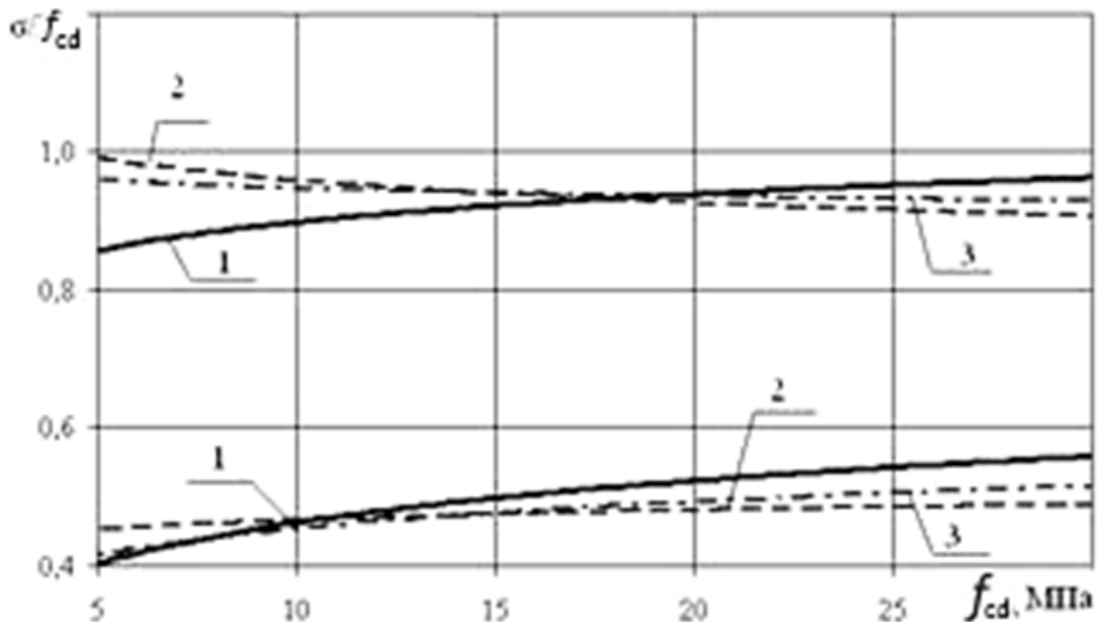
Рис. 1. Залежність модуля пружності від кубикової міцності [18]

З рис. 2 для лінії 1 отримані лінійні залежності напруги осьового стиснення від призмової міцності керамзитобетону (6) і (7):

$$f_{cr}^0 / f_{cd} = 0,2618 + 0,0873 \lg(f_{cd}) \quad (6)$$

$$f_{cr}^v / f_{cd} = 0,7629 + 0,0589 \lg(f_{cd}) \quad (7)$$

На рис. 2 наведено дані про характеристики деформування призм, з яких видно, що напруга осьового стиснення для керамзитобетону LC12/15 дорівнює $f_{cr}^0 = (0,49-0,54) f_{cd}$ та для LC16/20 – $f_{cr}^0 = (0,51-0,57) f_{cd}$. Напруги, що відповідають початку утворення магистральних тріщин руйнування, дуже близькі



- 1 – на карбонатному піску та цементно-зольному в'язучому;
2 – на кварцовому піску та БКВ; 3 – на карбонатному піску.

Рис. 2. Залежність верхньої та нижньої меж мікротріщиноутворення керамзитобетону від призмової міцності [18]

до призмінної міцності керамзитобетону ($f_{cr}^v = 0,9-0,95 f_{cd}$), що й пояснює руйнування призми.

У цих дослідженнях підвищені межі мікротріщиноутворення дають змогу рекомендувати керамзитобетони, у тому числі й на цементно-зольному в'язучому для конструкцій.

Дослідні значення усадочних деформацій керамзитобетону природного твердіння становили $(66..90)10^{-5}$, при використанні теплової обробки усадку керамзитобетону на вапняковому піску можна зменшити на 30%.

Повзучість пропареного керамзитобетону на кварцовому піску вища на 18-22,6% за значення повзучості керамзитобетону на карбонатному піску.

За результатами експериментальних досліджень із 95% надійністю отримано квадратичні рівняння регресії кубикової та призмової міцності на 28 добу, керамзитоперлітобетону на багатокомпонентному в'язучому та кварцовому піску, які з урахуванням лише значущих коефіцієнтів регресії мають вигляд:

$$f_{ck}(28) = 6,99 + 4,4x_1 + 1,14x_2 - 0,95x_3 + 0,45x_1x_2 - 0,46x_1^2 + 0,54x_2^2 + 0,29x_3^2 \quad (12)$$

$$f_{cd}(28) = 5,87 + 4,27x_1 + 1,14x_2 - 0,93x_3 + 0,59x_1x_2 - 0,21x_2x_3 + 0,47x_2^2 + 0,42x_3^2 \quad (13)$$

Для спрощення квадратичних рівнянь регресії (12, 13) використана лінійна залежність виду:

$$f_{ck}(28) = 24,4 - 17,1[(B/БКВ) + r] \quad (14)$$

$$f_{cd}(28) = 23,5 - 16,8[(B/БКВ) + r] \quad (15)$$

У результаті застосування регресійного аналізу прийнято лінійне рівняння регресії модуля пружності керамзитоперлітобетону на багатокомпонентному в'язучому, яке має вигляд:

$$E_c(28) \cdot 10^{-3} = 21,1 - 13,4[(B/БКВ) + r] \quad (6)$$

Коефіцієнт Пуасона для керамзитоперлітобетону на багатокомпонентному в'язучому становив від 0,17 до 0,29.

Аналіз результатів також показує, що спостерігається тісна кореляція між величиною міцності на розтягування f_{ctd} та критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень k_{1c} .

Для визначення критичного коефіцієнта інтенсивності напруг керамзитоперлітобетону на багатокомпонентному в'язкому та кварцовому піску отримана залежність:

$$k_{1c} = a f_{ctd} \quad (17)$$

де $a = 0,255 m^{1/2}$ – величина, що характеризує кут нахилу апроксимуючої прямої.

Отримані дані по керамзитобетону на карбонатному піску близькі з результатами для керамзитобетону на кварцовому піску й на 15-20% перевищують значення модуля пружності керамзитобетону на керамзитових пісках.

За результатами експериментальних досліджень міцності властивостей кералітобетону з 95% надійністю отримано квадратичні рівняння регресій кубикової та призмової міцностей, модуля пружності, мікротріщиноутворення, граничної стисливості, усадки, повзучості на 28 добу, для їх спрощення досліджена лінійна залежність [18]:

$$f_{cd}(28) = 41,3 - 14,7[(B/Ц) + r] \quad (18)$$

Для встановлення коефіцієнта призмової міцності f_c використані дослідні значення контрольованих параметрів f_{ck} , f_{cd} , що дало змогу методом найменших квадратів отримати рівняння регресії:

$$f_c = 0,933 + 0,0032 f_{ck} - 0,000149 f_{ck}^2 \quad (19)$$

У результаті застосування регресійного аналізу прийнято лінійне рівняння регресії модуля пружності кералітобетону, яке має вигляд:

$$E_c(28) \cdot 10^{-3} = 19,14 - 4,71[(B/Ц3) + r] \quad (20)$$

Для визначення меж ділянки мікротріщиноутворення кералітобетону на карбонатному піску використовували квадратичні рівняння регресії $R_{cr}^0(28)$ та $R_{cr}^v(28)$ залежно від чинників складу. У результаті застосування регресійного аналізу для кожного з прийнятих вікових груп кералітобетону отримано лінійні рівняння регресії виду:

$$R_{cr}^0(28) = \{0,571 - 0,064(B/Ц+r)\} f_{cd} \quad (21)$$

$$R_{cr}^v(28) = \{0,982 - 0,030(B/Ц+r)\} f_{cd} \quad (22)$$

Розвиток у часі процесу усадки й повзучості кералітобетону досить достовірно може бути апроксимований залежністю (23) у будь-який момент часу $t > 1$:

$$\varepsilon_{sc}(t, t_w) = \left[144,7 \left(\frac{B}{Ц} + r \right) - 73,1 \right] \cdot \left[1 - e^{-0,0101 \left(\frac{B}{Ц} + r \right) (t-1)} \right] \quad (23)$$

Граничне значення міри повзучості віком 28 діб можна визначити за лінійним рівнянням:

$$C(\infty, 28) = 1,317 \left(\frac{B}{Ц} + r \right)^{2,1} \quad (24)$$

ВИСНОВКИ

При оптимізації складів рекомендується використовувати методику комплексного підходу, що враховує технологічні й експлуатаційні вимоги до бетону. Використання вапна, золи та карбонатного піску в легких бетонах є найбільш перспективним способом економного споживання цементу й заповнювачів.

Фактори складу істотно впливають на межі ділянки мікроруйнувань: збільшення витрати багатокомпонентного в'язучого та концентрація керамзитового гравію підвищують $f^0_{\text{крс}}$ та $f^v_{\text{крс}}$.

Отримані експериментальні дані міцнісних і деформативних властивостей можуть бути рекомендовані для виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій міцністю 5...30 МПа.

Дослідження підтвердили високу ефективність легких бетонів на пористих заповнювачах, значну економію портландцементу, доцільність використання перелічених раніше легких бетонів для збірних і монолітних конструкцій житлових і громадських будівель.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини : монографія / Л.Й. Дворкін та ін. Рівне : НУВГП, 2017. 424 с.
- [2] Кравченко С.А., Постернак О.О. Дослідження конструкцій з керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури* : збірник наук. праць. Одеса : ОДАБА, 2016. № 64. С. 141–146.
- [3] Кравченко С.А., Постернак О.О., Зінченко С.В., Агаєва О.А., Столевич І.А. Дослідження міцнісних і деформативних властивостей керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. *Нові технології в будівництві*. 2021. № 39. С. 54–60. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.39.8>.
- [4] Кравченко С.А., Постернак О.О. Мікротріщиноутворення та коефіцієнт інтенсивності напружень керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури* : збірник наук. праць. Одеса : ОДАБА, 2018. № 70. С. 56–62.
- [5] Кравченко С.А., Постернак О.О. Основні деформативні властивості керамзитобетонів. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : збірник наук. праць. Рівне : УДУВГП, 2018. № 36. С.47–54. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i36.248>.
- [6] Кравченко С.А., Постернак О.О., Столевич І.А. Несуча здатність та деформативність елементів і конструкцій з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві* : збірник наук. праць. Луцьк : Луцький національний технічний

університет, 2021. № 16. С. 85–92. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-11).

[7] Очеретний В.П., Ковальський В.П., Машницький М.П., Діденко А.Ф. Використання відходів промисловості для виробництва ефективних будівельних матеріалів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2010. № 2. С. 53–55.

[8] Столевич І.А., Постернак О.О., Петраш С.В., Костюк А.І., Уразманова Н.Ф. Бетони на пористих заповнювачах в будівництві *Теорія та практика дизайну* : збірник наук. праць. Київ, 2024. № 32. С. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.8>.

[9] Столевич І.А., Постернак О.О., Костюк А.І., Уразманова Н.Ф., Кравченко С.А. Деформативні властивості керамзитобетону на карбонатному піску та цементно-зольному в'язучому в залежності від впливу чинників складу *Теорія та практика дизайну* : збірник наук. праць. Київ, 2023. № 28. С. 96–103. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.10>.

[10] Chandra S., Berntsson L. *Lightweight Aggregate Concrete Science, Technology and Applications*. Norwich, UK, USA : Noyes Publications/William Andrew Publishing, 2002. 100 p.

[11] González-Fonleboa, Martínez-Abella F., Rodríguez-Álvaro R., Rey-Bouzon E., Seara-Paz S., Herrador M. F. Use of coal bottom ash and other waste as fine aggregates in lightweight cement-based materials. *Waste and Byproducts in Cement-Based Materials*. 2021. P. 53–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820549-5.00026-7>.

[12] Kim M.O., Qian X., Lee M.K., Park W-S., Jeong S.T., Oh N.S. Determination of Structural Lightweight Concrete Mix Proportion for Floating Concrete Structures. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*. 2017. Vol. 29. Iss. 6. P. 315–325. DOI: <https://doi.org/10.9765/KSCOPE.2017.29.6.315>.

[13] Kravchenko S.A., Posternak O.O., Kostyuk A.I., Stolevich I.A. Microcrack appearance and coefficient of tension intensity ceramsite concrete on multicomponent binding. *IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng.* 1164. 012039. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1164/1/012039>.

[14] Rodacka M., Domagała L., Szydłowski R. Assessment of Properties of Structural Lightweight Concrete with Sintered Fly Ash Aggregate in Terms of Its Suitability for Use in Prestressed Members. *Materials (Basel)*. 2023 Aug 2. № 16(15). P. 5429. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16155429>.

[15] Selman S.M., Abbas Z.K. The use of lightweight aggregate in concrete: a review. *Journal of Engineering*. 2022. Vol. 28. № 11. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2022.11.01>.

[16] Spitzer J. A review of the development of lightweight aggregate, history and actual survey. *Proc. Int. Symp. Structural Lightweight Concrete*. 1995. P. 13–21.

[17] Stolevych I.A., Posternak O.O., Kovtunencko O.V., Petraш S.V., Urazmanova N.F. Investigation of creep deformations of keralite concrete on carbonate sand. *Теорія та практика дизайну*. 2025. Vol. 35. P. 75–82. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.35.8>.

[18] Stolevich I., Posternak O., Kostiuk A., Urazmanova N. Strength and deformation properties of concrete and structures on porous aggregates of the south of Ukraine. *Materials Science Forum*. 1169. P. 87–97. DOI: <https://doi.org/10.4028/p-qpghx0>.

[19] Stolevych I.A., Posternak O.O., Petrash S.V., Kovtunen O.V., Urazmanova N.F. Research and analysis of the influence of recipe and technological factors on the strength of expanded clay concrete on quartz sand. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk : LNTU, 2024. Vol. 21. P. 235–243. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-25).

[20] Thienel K.C., Haller T., Beuntner N. Lightweight concrete – from basics to innovations. *Materials*. 2020. Vol. 13. № 5. Art. no. 1120. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13051120>.

REFERENCES

[1] Dvorkin, L.I., Zhytkovskyi, V.V., Marchuk, V.V., Stepasiuk, Yu.O., & Skrypyuk, M.M. (2017). Efektyvni tekhnologii betoniv iz zastosuvanniam tekhnoloheni syrovyny [Effective concrete technologies using man-made raw materials]. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].

[2] Kravchenko, S.A., & Posternak, O.O. (2016) Doslidzhennia konstruksii z keramzytobetonu na tsementno-zolnomu viazhuhomu [Study of expanded clay concrete structures on cement-ash binder]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury – Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture* : bulletin of scientific works (Vols.64), (pp. 141–146). Odesa: ODABA [in Ukrainian].

[3] Kravchenko, S.A., Posternak, O.O., Zinchenko, S.V., Ahaieva, O.A., & Stolevych, I.A. (2021). Doslidzhennia mitsnysnykh i deformatyvnykh vlastyvoستي keramzytobetonu na tsementno-zolnomu viazhuhomu [Research of durability and deformation properties of keramzite concrete on cement-ash astringent]. *Novi tekhnologii v budivnytstvi – New technologies in construction*, 39, 38–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.5> [in Ukrainian].

[4] Kravchenko, S.A., & Posternak, O.O. (2018) Mikrotrishchynoutvorenna ta koefitsient intensyvnosti napruzhen keramzytobetonu na bahatokomponentnomu viazhuhomu [Microcrack formation and stress intensity factor of expanded clay concrete on a multi-component binder]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury – Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture* : bulletin of scientific works (Vols.70), (pp. 56–62). Odesa: ODABA [in Ukrainian].

[5] Kravchenko, S.A., & Posternak, O.O. (2018) Osnovni deformatyvni vlastyvnosti keramzytobetoniv [The main deformation properties of expanded clay concrete]. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy – Resource-saving materials, structures, buildings and structures* : bulletin of scientific works (№ 36), (pp. 47–54). Rivne: NUWMNM. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i36.248> [in Ukrainian].

[6] Kravchenko, S.A., Posternak, O.O., & Stolevych, I.A. (2021) Nesucha zdattnist ta deformatyvni elementiv i konstruksii z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu viazhuhomu [Load-bearing capacity and deformability of expanded clay concrete elements and structures on multicomponent binder]. *Suchasnitekhnolohiitametody rozrakhunkiv u budivnytstvi – Modern technologies and methods of calculations in construction* : bulletin of scientific works (№ 16), (pp. 85–92). Lutsk: Lutsk National Technical university. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-11) [in Ukrainian].

[7] Ocheretnyi, V.P., Kovalskyi, V.P., Mashnytskyi, M.P., & Didenko, A.F. (2010) Vykorystannia vidkhodiv promyslovosti dlia vyrobnytstva efektyvnykh budivnykh materialiv [Use of industrial waste to produce efficient building materials]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruksii v budivnytstvi – Modern technologies, materials and structures in construction* : bulletin of scientific works (№ 2), (pp. 53–55). Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].

[8] Stolevych, I.A., Posternak, O.O., Petrash, S.V., Kostiuk, A.I., & Urazmanova, N.F. (2024) Betony na porystykh zapovniuvachakh v budivnytstvi [Concretes on porous aggregate in building]. *Zbirnyk naukovykh prats «Teoriia ta praktyka dyzainu» – Theory and practice of design* : bulletin of scientific works (№ 32), (pp. 63–69). Kyiv. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.8> [in Ukrainian].

[9] Stolevych, I.A., Posternak, O.O., Kostiuk, A.I., Urazmanova, N.F., & Kravchenko, S.A. (2023) Deformatyvni vlastyvnosti keramzytobetonu na karbonatnomu pisku ta tsementno-zolnomu viazhuhomu v zalezhnosti vid vplyvu chynnykiv skladu [Deformation properties of expanded clay aggregate concrete on carbonate sand and cement-ash astringent depending on the influence of composition factors]. *Theory and practice of design* : bulletin of scientific works (№ 28), (pp. 96–103). Kyiv. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.10> [in Ukrainian].

[10] Chandra S., & Bertsson L. (2002) Lighttight Aggregate Concrete Science, Technology and Applications. Norwich, UK, USA: Noyes Publications/William Andrew Publishing [in English].

[11] González-Fontebao, Martínez-Abella, F., Rodríguez-Álvarez, R., Rey-Bouzon, E., Seara-Paz, S., & Herrador, M.F. (2021). Use of coal bottom ash and other waste as fine aggregates in lightweight cement-based materials. *Waste and Byproducts in Cement-Based Materials*, 53–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820549-5.00026-7> [in English].

[12] Kim, M.O., Qian, X., Lee, M.K., Park, W-S., Jeong, S.T., & Oh, N.S. (2017). Determination of Structural Lightweight Concrete Mix Proportion for Floating Concrete Structures. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 29, 6, 315–325 [in English].

[13] Kravchenko, S.A., Posternak, O.O., Kostyuk, A.I., & Stolevich, I.A. (2021). Microcrack appearance and coefficient of tension intensity ceramsite concrete on multicomponent binding. *IOP Publishing Ltd*. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1164/1/012039> [in English].

[14] Małgorzata, Rodacka, Lucyna, Domagała, & Rafał, Szydłowski (2023). Assessment of Properties of Structural Lightweight Concrete with Sintered Fly Ash Aggregate in Terms of Its Suitability for Use in Prestressed Members. *Materials (Basel)*, 16(15), 5429. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16155429> [in English].

[15] Selman S.M., & Abbas Z.K. (2022). The use of lightweight aggregate in concrete: a review. *Journal of Engineering*, 28, 11, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2022.11.01> [in English].

[16] Spitzer, J. (1995). A review of the development of lightweight aggregate, history and actual survey. *Proc. Int. Symp. Structural Lightweight Concrete*, pp. 13–21 [in English].

[17] Stolevych, I.A., Posternak, O.O., Kovtunenکو, O.V., Petrash, S.V., & Urazmanova N.F.

(2025). Investigation of creep deformations of keralite concrete on carbonate sand. *Teoriia ta praktyka dizainu – Theory and Practice of Design*. 35, 235–243. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.35.8/> [in English].

[18] Stolevich, I., Posternak, O., Kostyuk, A., & Urazmanova, N. (2025). Strength and deformation properties of concrete and structures on porous aggregates of the south of Ukraine. *Materials Science Forum*. (pp. 87–97). DOI: <https://doi.org/10.4028/pqpghx0> [in English].

[19] Stolevych, I.A., Posternak, O.O., Petrash, S.V., Kovtunenکو, O.V., & Urazmanova N.F. (2024). Research and analysis of the influence of recipe and technological factors on the strength of expanded clay concrete on quartz sand. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. (№ 21), (pp. 235–243). Lutsk: LNTU. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-25) [in English].

[20] Thienel, K.C., Haller, T., & Beuntner, N. (2020). Lightweight concrete – from basics to innovations. *Materials*, 13, 5, 1120. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13051120> [in English].

ABSTRACT

Kravchenko S., Posternak A., Urazmanova N. Strength and deformation properties of structural-thermal insulation lightweight concretes

Purpose. The purpose of this study is the experimental determination and generalization of the strength and deformability characteristics of structural-thermal insulating lightweight concretes based on porous aggregates using multicomponent binders, in order to obtain design parameters required for the structural design of concrete and reinforced concrete elements, as well as to substantiate the feasibility of their application in construction and in the restoration of damaged facilities.

Methodology. The research was carried out using a combined computational-experimental approach to the design of lightweight concrete mixtures, which included the selection of the type of porous aggregates, determination of the content of multicomponent binders, and optimization of particle size distribution and water content of the concrete mix. Tests of cubic and prismatic specimens were performed to determine strength, modulus of elasticity, and deformability characteristics in accordance with current standards. Experimental data were processed using methods of mathematical statistics and regression analysis with a confidence level of 95%.

Results. The influence of the type of fine aggregate, the type of porous coarse aggregate, and the composition of multicomponent binders on the strength and deformability properties of expanded clay concrete, expanded clay perlite concrete, and keramzite concrete within the strength range of 5–30 MPa was established. Regression relationships were obtained for cube and prism strength, modulus of elasticity, limits of microcrack initiation, as well as shrinkage and creep deformations. It was shown that the use of lime and fly ash in binder compositions reduces Portland cement consumption without deterioration of deformability and crack resistance characteristics. It was also found that the modulus of elasticity of lightweight concretes with quartz sand exceeds that of concretes with porous sands by an average of 10–20%.

Scientific novelty. For lightweight concretes based on local porous aggregates, generalized regression models were developed that describe the dependence of strength and deformability characteristics, as well as microcrack initiation limits, on mixture composition factors. Quantitative relationships between tensile strength and the critical stress intensity factor were established, enabling the assessment of crack resistance of lightweight concretes in structural calculations.

Practical relevance. The obtained results can be used in the design of lightweight concrete mixtures and in determining the design properties of concrete and reinforced concrete structures for residential and public buildings. The proposed compositions improve the technical and economic efficiency of construction by reducing cement consumption and ensuring the rational use of local materials and industrial by-products.

Keywords: lightweight concretes, structural-thermal insulating concretes, porous aggregates, expanded clay concrete, expanded clay perlite concrete, keramzite concrete, multicomponent binder, strength characteristics, deformability properties, modulus of elasticity, microcrack initiation, concrete shrinkage, concrete creep, regression equations, concrete and reinforced concrete structures.

AUTHOR'S NOTE:

Kravchenko Serhii, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Materials Resistance, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: ck@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-7235-0312.

Posternak Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Materials Resistance, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: alex.bk@ukr.net, orcid: 0000-0002-7016-6941.

Urazmanova Nadiia, Assistant at the Department of Architectural Structures, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: nadegdaurazmanova@odaba.edu.ua, orcid:0000-0002-3415-4150.

Дата першого надходження статті до видання: 27.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 24.04.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

