

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.10>

УДК 691.327:666.973.2

ДЕФОРМАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА КАРБОНАТНОМУ ПІСКУ ТА ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОМУ В'ЯЖУЧОМУ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ ЧИННИКІВ СКЛАДУ

Столевич Ігор Анатолійович¹, Постернак Олександр Олексійович²,
Костюк Анатолій Іванович³, Уразманова Надія Фанісівна⁴,
Кравченко Сергій Анатолійович⁵

¹Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів
Одеської державної академії будівництва і архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: stolevich.i.a@gmail.com, orcid: 0000-0001-6729-8532

²Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій
і транспортних споруд
Одеської державної академії будівництва і архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: alex.bk@ukr.net, orcid: 0000-0002-7016-6941

³Кандидат технічних наук, професор, професор кафедри залізобетонних конструкцій
і транспортних споруд
Одеської державної академії будівництва і архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: isi@ogasa.org.ua, orcid: 0000-0002-5642-2443

⁴Асистент кафедри архітектурних конструкцій
Одеської державної академії будівництва і архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: nadegdaurazmanova@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-3415-4150

⁵Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій
і транспортних споруд
Одеської державної академії будівництва і архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: ck@ogasa.org.ua, orcid: 0000-0002-7235-0312

Анотація. Мета. Метою дослідження є визначення деформативних властивостей керамзитобетону на карбонатному піску з заміною частини портландцементу на золу-виносу.

Методологія. Використовувались зразки кубів та призм стандартних розмірів, пропарених протягом 28 та 115 діб по режиму 3+7+2 при $t=85\pm 5^\circ$. Отриманні експериментальні данні опрацьовували за допомогою експериментально-статичного моделювання і розраховували з використанням типової версії програми COMPEX-99. При дослідженні основних характеристик керамзитобетону був використаний план Бокса-Бенкіна розмірністю $K=3$.

Результати. Були отримані рівняння регресії у вигляді поліномів другого ступеня, що відображають залежності впливу досліджуваних чинників на властивості керамзитобетону. В результаті попередніх досліджень підібрано склади

керамзитобетону на карбонатному піску і цементно-зольному в'язучому міцністю при стиску від 12,7 МПа до 28,0 МПа та визначено, що зола-винос не зменшує міцність бетону, по відношенню до звичайного керамзитобетону. Побудовано діаграму у вигляді куба, що відображає вплив цементно-зольного в'язучого, агрегатно-структурного чинника і віку на призмову міцність. Визначено, що призмова міцність зростає при збільшенні витрат в'язучого і віку бетону. Для агрегатно-структурного чинника вплив на призмову міцність обернений. Зроблено висновки, що зростання кубової і призмової міцності в часі аналогічні зростанню для звичайного керамзитобетону. Помічено, що умови твердіння не суттєво впливають на коефіцієнт призмової міцності. Значення коефіцієнта призмової міцності знаходяться в межах значень для звичайних легких бетонів. При зміні значень агрегатно-структурного фактора від 0,6 до 0,4 і збільшенні витрат цементно-зольного в'язучого в прийнятному діапазоні варіації, модуль пружності зростає з затухаючою інтенсивністю. Встановлено, що при збільшенні міцності керамзитобетону величини нижньої та верхньої області мікроруйнувань зростають для керамзитобетону на карбонатному піску більше, ніж на кварцовому. Збільшення цементно-зольного в'язучого монотонно підвищує верхню границю області мікроруйнувань. Отримані квадратичні рівняння регресії граничних деформацій стиску у віці 1пп., 28, 115 діб.

Наукова новизна. У роботі визначено деформативні властивості керамзитобетону на карбонатному піску з заміною частини портландцементу на золу-виносу

Практична значущість. Використовуючи золу-винос і місцеві пористі заповнювачі є перспективою в економії цементу та заповнювачів для виготовлення конструкції в житловому будівництві.

Ключові слова: деформативність, керамзитобетон на карбонатному піску і цементно-зольному в'язучому, зола-виносу, рівняння регресії, призмова міцність, кубікова міцність, модуль пружності, агрегатно-структурний фактор, мікротріщиноутворення, границі області мікроруйнувань, деформація стиску.

ВСТУП

Особливу увагу приділено проблемі зростання і здешевлення громадських та цивільних об'єктів, збільшення їх рівня індустріалізації, що може бути досягнутим за рахунок вдосконалення конструктивних рішень, використання ефективних будівельних матеріалів. Використання легких бетонів, в тому числі керамзитобетонів на цементно-зольному в'язучому з хімічними добавками являється актуальною задачею, оскільки передбачає економію сировинних ресурсів, цементу, утилізацію відходів виробництва та покращення стану оточуючого середовища.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За останній час накопичено багато досліджень міцності та деформативності легких бетонів і конструкцій на їх основі, наведені в роботах А.І. Костюка [13], А.С. Столевича [9, 10], Чандра С. [14], Діллі М. [15], Мелбі К. [16], Невиль А. [17], Норден Дж. [18], Суранені П. [19], Заріф М. [20] та ін. Значний вклад в розвиток бетонів з використанням шлаку і золи

внесли Очеретний В.П., Ковальський В.П. [11], Л.Й. Дворкін [2] та ін., в основному використання золи і шлаку розглядалось для важких бетонів.

МЕТА

В зв'язку з цим ми задалися метою дослідити деформативні властивості керамзитобетону на карбонатному піску з заміною частини портландцементу на золу-винос, так як характеристики керамзитобетону з золою освітленні недостатньо.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження проводились в лабораторіях кафедри ЗБіКК ОДАБА та ЗЗБК ООО «Куліндорівського індустріального концерну».

В дослідженнях використовували: портландцемент ВАТ «ЮГ цемент» марка 400; золу-винос Ладижинської ТЕС з питомою поверхнею $S_{\text{пит.}} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$, але не більше 40% від кількості в'язучого; керамзитовий гравій (Куліндорівського заводу із глин Фонтанського місцезнаходження Одеської області) фракцій

5...10 і 10...20 мм у відношенні по об'єму $V_{5...10}/V_{10.20} = 1,5$; карбонатний пісок Орловського місцезнаходження Одеської області, отриманий із відходів каменопилення вапняка-черепашника; пластифікатор С-3 в кількості 0,6%.

Після витримки 4 години, зразки кубів 10x10x10 см і призми 10x10x40 см тримали в пропарювальній камері КПУ-1 по режиму 3+7+2 при $t=85\pm 5^\circ$. Кубики і призми випробувалися після пропарювання на 28 та 115 діб [1; 4; 7; 8].

Отриманні експериментальні дані опрацьовували за допомогою експериментально-статистичного (ЕС) моделювання, яке дозволяє оцінити ступінь впливу чинників на деформативні властивості керамзитобетону на карбонатному піску та цементно-зольному в'язучому, і розраховували з використанням типової версії програми COMPEX-99. При дослідженні основних характеристик керамзитобетону був використаний план Бокса-Бенкіна розмірністю $K=3$. Дослідні чинники та рівні їх варіації наведені в табл. 1. Були розраховані рівняння регресії в виді поліномів другого ступеня, які відображають залежності впливу досліджуваних чинників на властивості керамзитобетону.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Для вивчення деформативних властивостей в часі, були раніш проведені досліди по вибору складів, які розглянуті в роботі [6]. При дослідженні зразків на 28 добу, ми отримали керамзитобетон на карбонатному піску і цементно-зольному в'язучому міцністю при стиску від 12,7 МПа до 28,0 МПа. Можна відзначити, що зола-винос не зменшує міцність бетону по відношенню до звичайного керамзитобетону, а навіть покращує його властивості [6].

Розрахунок коефіцієнтів регресії, в відповідності до вихідної матриці планування, проводили на ЕОМ. Перевірка надійності коефіцієнтів регресії виконувалось по критерію Стюдента, перевірка адекватності від отриманих рівнянь – по критерію Фішера.

Призмova міцність (f_{cd}). Діаграма в виді куба, побудована по моделі (2) і відображає вплив цементно-зольного в'язучого, агрегатно-структурного чинника і віку на призмovu міцність, ілюстровано на рис. 2.а.

По діаграмі можливо помітити наступне: призмova міцність зростає при збільшенні витрат в'язучого і, відповідно, віку бетону. Для агрегатно-структурного чинника дія на призмovu міцність обернена, що відображено на рис. 1.а.

$$\ln(f_{cd}) = 2,923 + 0,267x_1 - 0,09x_1^2 + 0,056x_1x_2 - 0,142x_2 \pm 0x_2^2 \pm 0x_1x_3 + 0,164x_3 - 0,081x_3^2 \pm 0x_2x_3 \quad (2)$$

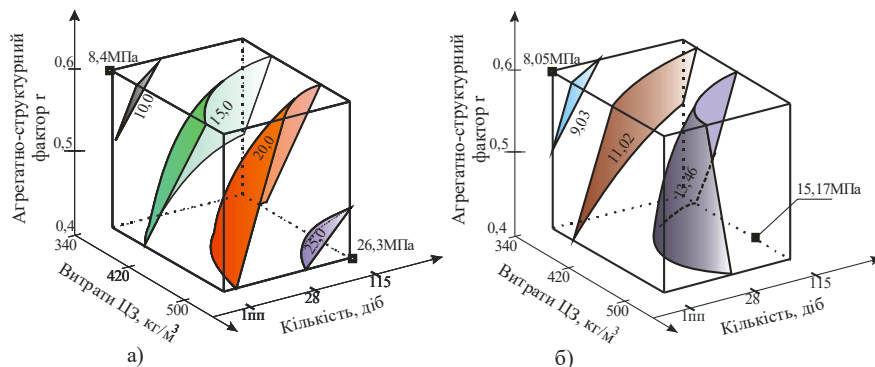


Рис. 1. Ізопервини впливу чинників складу на призмovu міцність (а) і модуль пружності (б) керамзитобетону на цементно-зольном в'язучому

Таблиця 1

Рівні варіації чинників

Чинники		Рівні варіації			Інтервал варіації
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	ΔX
Витрати цементно-зольного в'язучого ЦЗ, (кг/м³)	X_1	340	420	500	± 80
Агрегатно-структурний чинник r	X_2	0,4	0,5	0,6	$\pm 0,1$
Вік бетону на моменту випробувань lg(t)	X_3	0,8451	1,4472	2,0493	± 90

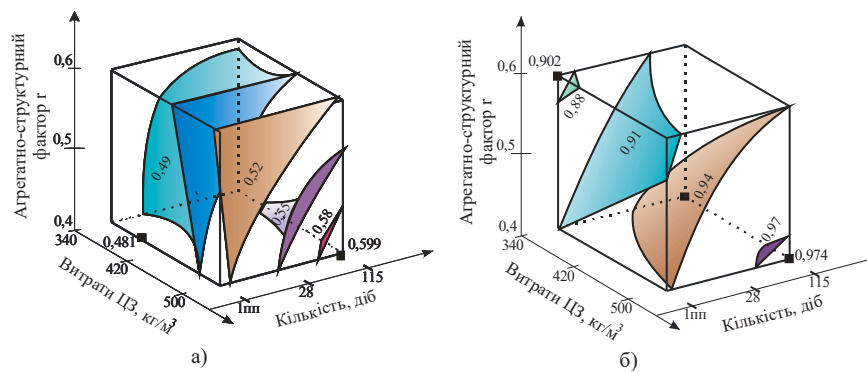


Рис. 2. Ізоповервні впливу чинників складу нижню (а) и верхню границю (б) мікротріщиноутворення керамзитобетону на карбонатному піску

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що ріст, як кубкової, так і призової міцності в часі, практично співпадають з ростом в часі звичайного керамзитобетону.

Для переходу від кубикової міцності до призової, існує коефіцієнт призової міцності $\varphi = f_{cd}/f_c$. Коефіцієнт призової міцності для легких бетонів, декілька вище, ніж для важких [2]. Для оцінки впливу чинників складу на коефіцієнт призової міцності представлена ЕС – модель виду (3).

$$\varphi = 0,911 - 0,004x_1 - 0,04x_1^2 - 0,003x_1x_2 + 0,006x_2 - 0,008x_2^2 \quad (3)$$

Умови твердіння не суттєво впливають на коефіцієнт призової міцності. В наших дослідженнях φ змінюється від 0,847 до 0,928 і свідчить про те, що ці величини знаходяться в межах значень φ для звичайних легких бетонів.

Модуль пружності (E_c). Одною з важливих характеристик деформативних властивостей бетону, крім міцності, являється початковий модуль пружності, який необхідний для визначення витрат попередніх напружень в конструкціях.

$$\ln(E_c) = 2,584 + 0,137x_1 - 0,105x_1^2 + 0,065x_1x_2 - 0,047x_2 \pm 0x_2^2 \pm 0x_1x_3 + 0,110x_3 - 0,034x_3^2 \pm 0x_2x_3 \quad (4)$$

Характер зміни модуля пружності при збільшенні в'язучого залежить від агрегатно-структурного фактора g . При змінненні значень g від 0,6 до 0,4 і збільшенні витрат цементно-зольного в'язучого в прийнятному діапазоні варіації, модуль пружності зростає з затухаючою інтенсивністю. Інтенсивність затухання збільшується при зменшенні значення g , ілюстровано на рис. 1.б.

Мікротріщиноутворення ($f_{c,cr}^0$ і $f_{c,cr}^v$). При збільшенні міцності керамзитобетону

величини нижньої та верхньої області мікроруйнувань декілька зростають [3, 12]. Ріст $f_{c,cr}^0$ і $f_{c,cr}^v$ для керамзитобетону на карбонатному піску більше, чим на кварцовому, так як зчеплення пористого заповнювача з цементним каменем набагато вище, ніж у звичайних бетонів [5].

$$f_{c,cr}^0 = 0,500 + 0,021x_1 + 0,020x_1^2 - 0,023x_1x_2 - 0,013x_2 \pm 0x_2^2 \pm 0x_1x_3 + 0,022x_3 \pm 0x_3^2 \pm 0x_2x_3 \quad (5)$$

$$f_{c,cr}^v = 0,933 + 0,013x_1 \pm 0x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 0,017x_2 \pm 0x_2^2 \pm 0x_1x_3 + 0,019x_3 - 0,008x_3^2 \pm 0x_2x_3 \quad (6)$$

Збільшення цементно-зольного в'язучого монотонно підвищує верхню границю області мікроруйнувань, це пов'язано з високою міцністю розчинної складової керамзитобетону рис. 2.б.

Деформація стиску (ϵ_{cu}). Граничну деформацію стиску визначали в процесі дослідження призм на стискання. Гранична деформація залежить від міцності бетону, складу бетонної суміші, крупності фракцій заповнювача, тривалості навантаження.

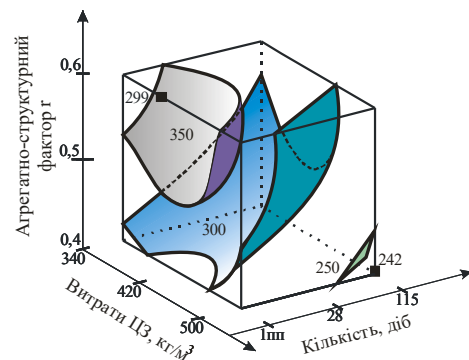


Рис. 3. Ізоповервні впливу чинників складу на граничну деформацію стиску керамзитобетону

По результатам експериментальних досліджень з 95% надійністю отримані квадратичні рівняння регресії граничних деформацій стиску ε_{cu} у віці 1пп., 28, 115 діб (7).

$$\ln(\varepsilon_{cu} \cdot 10^5) = 5,796 - 0,048x_1 - 0,105x_1^2 - 0,029x_1x_2 + 0,081x_2 - 0,040x_2^2 \pm 0x_1x_3 - 0,078x_3 \pm 0x_3^2 - 0,018x_2x_3 \quad (7)$$

ВИСНОВКИ

1. Встановлено вплив чинників складу в віці на призмову міцність, модуль пружності, мікротріщиноутворення і граничну деформацію стиску. Отримані загальні експериментально-статистичні моделі для розрахунку цих величин (2)–(7).

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Агафонова І.П., Постернак О.О., Кравченко С.А. Дослідження міцнісних і деформативних властивостей керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. *Нові технології в будівництві* : науково-технічний журнал. Київ. НДІБВ. № 40. 2021. С. 38–43. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.5>.
- [2] Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В. Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини : монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 424 с. ISBN 978-966-327-362-4.
- [3] Кравченко С.А., Постернак О.О. Дослідження зразків перекриття з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. *Вісник ОДАБА* : збірник наукових праць. Одеса. ОДАБА. № 66. 2017. С. 41–47.
- [4] Кравченко С.А., Постернак О.О. Дослідження конструкцій з керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. *Вісник ОДАБА* : збірник наукових праць. Одеса : ОДАБА. № 64. 2016. С. 141–146.
- [5] Кравченко С.А., Постернак О.О., Зінченко С.В. Дослідження міцнісних і деформативних властивостей керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. *Нові технології в будівництві* : науково-технічний журнал. Київ : НДІБВ. № 39. 2021. С. 54–60. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.39.8>.
- [6] Кравченко С.А., Постернак О.О. Мікротріщиноутворення та коефіцієнт інтенсивності напружень керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. *Вісник ОДАБА* : збірник наукових праць. Одеса : ОДАБА, № 70, 2018. С. 56–62.
- [7] Кравченко С.А., Постернак О.О. Несуча здатність та деформативність згинальних елементів з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому при довготривалій дії навантаження. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне : УДУВГП, № 35, 2018. С. 85–94.
- [8] Кравченко С.А., Постернак О.О. Основні деформативні властивості керамзитобетонів. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне : УДУВГП, № 36, 2018. С. 47–54.
- [9] Кравченко С.А., Постернак О.О., Столевич І.А. Конструкційні та конструкційно-

2. Значення коефіцієнтів призмової міцності для керамзитобетону на карбонатному піску і цементно-зольному в'язучому складає 0,847–0,928, аналогічно величинам φ звичайних легких бетонів.

3. Модуль пружності керамзитобетону на карбонатному піску і цементно-зольному в'язучому зростає від 8,05 МПа до 15,17 МПа при дослідженні в часі від 1пп. до 115 діб.

4. З використанням пористого крупного заповнювача і пористого піску зростає нижня і верхня границя мікротріщиноутворення.

5. Використання золи-винос і місцевих пористих заповнювачів є перспективою в економії цементу та заповнювачів для виготовлення конструкцій в житловому будівництві.

REFERENCES

- [1] Ahafonova I.P., Posternak O.O., Kravchenko S.A., Ahaieva O.A., Stolevych I.A. (2021) Doslidzhennia mitsnisnykh i deformatyvnykh vlastyvostei keramzytobetonu na tsementno-zolnomu v'iazhuchomu. *Novi tekhnologii v budivnytstvi* : naukovo-tekhnicnyi zhurnal. Kyiv. NDIBV. № 40. S. 38-43. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.5>. [in Ukrainian]
- [2] Dvorkin L.I., Zhytkovskiy V.V., Marchuk V.V., Stepasiuk Yu.O., Skrypnyk M.M. (2017) *Efektivni tekhnologii betoniv iz zastosuvanniam tekhnogennoi syrovyny: monohrafiia*. Rivne. NUVHP. 424 s. ISBN 978-966-327-362-4. [in Ukrainian]
- [3] Kravchenko S.A., Posternak O.O. (2017). Doslidzhennia zrazkiv perekryttia z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu v'iazhuchomu. *Visnyk ODABA* : zbirnyk naukovykh prats. Odessa. ODABA. № 66. S.41-47. [in Ukrainian]
- [4] Kravchenko S.A., Posternak O.O. (2016). Doslidzhennia konstruksii z keramzytobetonu na tsementno-zolnomu v'iazhuchomu. *Visnyk ODABA* : zbirnyk naukovykh prats. Odessa. ODABA. № 64. S. 141-146. [in Ukrainian]
- [5] Kravchenko S.A., Posternak O.O., Zinchenko S.V., Ahaieva O.A., Stolevych I.A. (2021) Doslidzhennia mitsnisnykh i deformatyvnykh vlastyvostei keramzytobetonu na tsementno-zolnomu v'iazhuchomu. *Novi tekhnologii v budivnytstvi* : naukovo-tekhnicnyi zhurnal. Kyiv. NDIBV. № 39. S.54-60. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.39.8>. [in Ukrainian]
- [6] Kravchenko S.A., Posternak O.O. (2018) Mikrotrishchynoutvorennia ta koefitsiiient intensyvnosti napruzhen keramzytobetonu na bahatokomponentnomu v'iazhuchomu. *Visnyk ODABA* : zbirnyk naukovykh prats. Odessa. ODABA. № 70. S.56-62. [in Ukrainian]
- [7] Kravchenko S.A., Posternak O.O. (2018). Nesucha zdatnist ta deformatyvnyist zghynalnykh elementiv z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu v'iazhuchomu pry dovhotryvalii dii navantazhennia. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy* : zb. nauk. prats. Rivne. UDUVHP. № 35. S.85-94. [in Ukrainian]
- [8] Kravchenko S.A., Posternak O.O. (2018). Osnovni deformatyvni vlastyvosti keramzytobetoniv Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta

теплоізоляційні легкі бетони на пористих заповнювачах. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне : УДУВГП, № 31, 2015. С. 213–221.

[10] 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* : зб. наук. праць. Луцьк : Луцький національний технічний університет, № 16, 2021. 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).

[11] Очеретний В.П., Ковальський В.П., Машницький М.П. Використання відходів промисловості для виробництва ефективних будівельних матеріалів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві* : науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, № 2, 2010. С. 53–55.

[12] Постернак О.О., Кравченко С.А., Агафонова І.П. Несуча здатність та деформативність збірно-монолітних та монолітних перекриттів із керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. *Нові технології в будівництві* : науково-технічний журнал. Київ : НДІБВ, № 37, 2020. С. 50–56. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.27.8>.

[13] Проектування керамзитобетонів з урахуванням рецептурно-технологічних факторів і конструкцій на їх основі для монолітного будівництва : монографія / В.С. Дорофєєв, А.І. Костюк та ін. Одеса. ОДАБА. 2014. 176 с.

[14] Chandra S., Berntsson L. *Lightweight Aggregate Concrete*. 1st ed. Noyes Publications. Norwich. UK. 2002. P. 450.

[15] Dilli M.E., Atahan H.N., Şengül C. A comparison of strength and elastic properties between conventional and lightweight structural concretes designed with expanded clay aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2015. 101. pp. 260–267.

[16] Melby K. Use of High Strength LWAC in Norwegian Bridges. In: Helland S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete, Kristiansand, Norway*. 18–22 June 2000. Norwegian Concrete Association. Oslo, Norway. 2000. pp. 47–56.

[17] Neville A. M. *Wlasciwosci betonu, wudanie 4*. Krakow. 2000. 874 s.

[18] Norden G., Thienel K.-C. Pumping of Lightweight Aggregate Concrete Based on Expanded Clay in Europe. In: Concrete S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete*.

[19] Suraneni P., Anleu B.P.C., Flatt R.J. Factors affecting the strength of structural lightweight aggregate concrete with and without fibers in the 1200–1600 kg/m³ density range. *Mater. Struct.* 2016. 49. pp. 677–688.

[20] Zareef M.A.M.E. Ph.D. Thesis. Technische Universität Berlin, Berlin, Germany. 2010. Conceptual and Structural Design of Buildings made of Lightweight and Infra-Lightweight Concrete. p. 119.

sporudy : zb. nauk. prats. Rivne. UDUVHP. № 36. S.47–54. [in Ukrainian]

[9] Kravchenko S.A., Posternak O.O., Stolevych I.A. (2015) Konstruktsiini ta konstruktsiino-teploizoliatsiini lehkii betony na porystykh zapovniuvachakh. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy* : zb. nauk. prats. Rivne. UDUVHP. № 31. S. 213–221. [in Ukrainian]

[10] Kravchenko S.A., Posternak O.O., Stolevych I.A. (2021). Nesucha zdatsnist ta deformatyvnist elementiv i konstruktsii z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu v'iazhuchomu. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi* : zb. nauk. prats. Lutsk. Lutskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet. № 16. S. 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). [in Ukrainian]

[11] Ocheretnyi V. P., Kovalskyi V. P., Mashnytskyi M. P., Didenko A. F. (2010). Vykorystannia vidkhodiv promyslovosti dlia vyrobnytstva efektyvnykh budivelnnykh materialiv. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi* : nauково-tekhnichniy zbirnyk. Vinnytsia. VNTU. № 2. S. 53–55. [in Ukrainian]

[12] Posternak O.O., Kravchenko S.A., Ahafonova I.P., Ahaieva O.A. (2020) Nesucha zdatsnist ta deformatyvnist zbirno-monolitnykh ta monolitnykh perekryttiv iz keramzytobetonu na bahatokomponentnomu v'iazhuchomu. *Novi tekhnolohii v budivnytstvi* : nauково-tekhnichniy zhurnal. Kyiv. NDIBV. № 37. S.50–56. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.27.8>. [in Ukrainian]

[13] Proektuvannia keramzytobetoniv z urakhuvanniam retsepturno-tekhnolohichnykh faktoriv i konstruktsii na yikh osnovi dlia monolitnoho budivnytstva : monohrafiia / V.S. Dorofieiev, A.I. Kostyuk ta in. Odessa. ODABA. 2014. 176 s. [in Ukrainian]

[14] Chandra S., Berntsson L. *Lightweight Aggregate Concrete*. 1st ed. Noyes Publications; Norwich, UK: 2002. p. 450.

[15] Dilli M.E., Atahan H.N., Şengül C. A comparison of strength and elastic properties between conventional and lightweight structural concretes designed with expanded clay aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2015, 101, pp. 260–267.

[16] Melby K. Use of High Strength LWAC in Norwegian Bridges. In: Helland S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete, Kristiansand, Norway*, 18–22 June 2000. Norwegian Concrete Association; Oslo, Norway: 2000. pp. 47–56.

[17] Neville A. M. *Wlasciwosci betonu, wudanie 4*, Krakow, 2000. – 874 s.

[18] Norden G., Thienel K.-C. Pumping of Lightweight Aggregate Concrete Based on Expanded Clay in Europe. In: Concrete S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete*,

[19] Suraneni P., Anleu B.P.C., Flatt R.J. Factors affecting the strength of structural lightweight aggregate concrete with and without fibers in the 1200–1600 kg/m³ density range. *Mater. Struct.* 2016;49:pp. 677–688.

[20] Zareef M.A.M.E. Ph.D. Thesis. Technische Universität Berlin; Berlin, Germany, 2010: Conceptual and Structural Design of Buildings made of Lightweight and Infra-Lightweight Concrete; p. 119.

ABSTRACT

Stolevich I., Posternak O., Kostyuk A., Urazmanova N., Kravchenko S. Deformation properties of expanded clay aggregate concrete on carbonate sand and cements-ash astringent depending on the influence of composition factors.

Purpose. The purpose of the research is determination of the deformation properties of expanded clay aggregate concrete on carbonate sand with the replacement of portland cement part for fly ash.

Methodology. Models of standard cubes and prisms were used after steaming for 28 and 115 days according to the 3+7+2 regime at $t=85\pm 5^\circ$. The obtained experimental data were processed using experimental-statistic modeling and calculated using the standard version of the COMPEX-99 program. When the main characteristics of expanded clay aggregate concrete were studying, the Box-Benkin plan with dimension $K=3$ was used.

Results. Regression equations were obtained in the form of polynomials of the second degree, reflecting the dependence of the studied factors influence on the properties of expanded clay aggregate concrete. As a result of preliminary researches, the compositions of expanded clay aggregate concrete on carbonate sand and cement-ash astringent with strength under compression from 12.7 MPa to 28.0 MPa were obtained. It was determined that fly ash doesn't reduce the strength of concrete, in relation to ordinary expanded clay aggregate concrete. A diagram in the form of a cube, reflecting the influence of cement-ash astringent, aggregate-structural factor and age on prism strength was constructed. It was determined that the strength of the prism increases with an increasing in the consumption of astringent and the age of concrete. For the aggregate-structural factor, the effect on prism strength is reversed. It was concluded that the growth of cube and prism strength over time is similar to the growth for ordinary expanded clay aggregate concrete. It was noticed that the conditions of hardening do not significantly affect the coefficient of prismatic strength. The values of the prismatic strength coefficient are within the range of values for ordinary lightweight concrete. When the values of the aggregate-structural factor change from 0.6 to 0.4 and the consumption of cement-ash astringent increases in the accepted range of variation, the modulus of elasticity increases with the fading intensity. It was established that the increasing of expanded clay aggregate concrete strength leads to increasing the values of the lower and upper regions of micro-cracks for expanded clay aggregate concrete on carbonate sand more than on quartz sand. An increase of the cement-ash astringent increases the micro-cracks area upper limit. The regression quadratic equations of ultimate compressive deformations at the age of 1, 28, 115 days were obtained.

Scientific novelty. In the article the deformation properties of expanded clay aggregate concrete on carbonate sand with the replacement of portland cement part for fly ash are determined.

Practical significance. Using fly ash and regional porous aggregates is promising in saving cement and aggregates for construction in residential construction.

Key words: deformations, expanded clay aggregate concrete on carbonate sand and cements-ash astringent, fly ash, regression equation, prism strength, cubic strength, modulus of elasticity, aggregate-structural factor, microcrack formation, limits of the microcracks area, compression deformation.

AUTOR'S NOTE:

Stolevich Igor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Strength of Materials, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: stolevich.i.a@gmail.com, orcid: 0000-0001-6729-8532

Posternak Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: alex.bk@ukr.net, orcid: 0000-0002-7016-6941

Kostyuk Anatoly, Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: isi@ogasa.org.ua, orcid: 0000-0002-5642-2443

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

Kravchenko Serhiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: ck@ogasa.org.ua, orcid: 0000-0002-7235-0312

Стаття подана до редакції 01.05.2023 р.