

УДК 691.322

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.92.1165

ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЦЕГЛИ, ВІДБРАНОЇ З БУДІВЕЛЬ І СПОРУД, ПОШКОДЖЕНИХ В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

КОНОПЛЯНИК О. Ю.¹, канд. техн. наук, доц.,

КОТОВ М. А.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,

ЛЯСОТА О. В.³, здобувач,

ОЛЕЙНИКОВ В. М.⁴, студ.

¹ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+ 38 (067) 762-24-55, e-mail: konoplianiuk.alexander@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

^{2*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: 38kotokoto38@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

³ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій. Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 483-03-73, e-mail: lyasota198422@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

⁴ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій. Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 483-03-73, e-mail: valeralevnikov2005@gmail.com

Анотація. *Вступ.* В теперішній час в будівельній галузі актуальним питанням є використання вторинних відходів, які утворюються в процесі життєдіяльності людини [1] або отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих та знесення існуючих будівель і споруд [2]. Таким напрямом діяльності є рециклінг, тобто один з варіантів переробки відходів. Одним із способів реалізації даної тематики є отримання складів бетонів шляхом використання вторинних заповнювачів, отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд. *Аналіз сучасного стану* розробки і дослідження бетонів показав, що на основі подрібнення будівельних виробів і конструкцій з бетону, залізобетону, цегли, скла та ін, що були пошкоджені в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд, можуть бути отримані заповнювачі для повторного використання. Окрім цього, застосування вторинного заповнювача – це важлива умова для збереження довкілля і зниження навантаження на природні ресурси. *Аналіз публікацій* показав, що конструктивні бетони можуть бути отримані на вторинних заповнювачах, подрібнених з матеріалу конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд. Відомо використання вторинного бетонного заповнювача для отримання конструкційних бетонів [3; 4] де автори стверджують, що за умови використання якісного та добре відсортованого переробленого заповнювача можна отримати бетони з необхідною міцністю. Однак при цьому відмічається, що вузьким місцем при застосуванні вторинних заповнювачів є неоднорідність структури заповнювача, яке двокomпонентною і складається з щільного первинного заповнювача і пористого залишкового цементного розчину. При такій структурі вторинного заповнювача первинний заповнювач і залишковий цементний розчин можуть працювати і окремо, особливо під дією періодичного зволоження, низьких та високих температур. В літературних джерелах мають місце відомості про використання в якості заповнювача склобою об'ємною насипною вагою 700 кг/м³ для виробництва бетонів [5]. Однак широке застосування склобою стримується через економічну складову, а саме, що вторинна переробка склобою більш ефективна для виготовлення нових виробів на основі скла. Відомо застосування в складах бетонів вторинного заповнювача, подрібненого з глиняної звичайної та силікатної цегли [6; 7]. В цьому випадку такі заповнювачі треба вважати однокомпонентними, так як елементи кладки, з яких відібрана вказана цегла, вміщують в себе мінімальну кількість розчину зі швів і здебільше цей розчин відпадає від заповнювача в процесі подрібнення. Заповнювачі з подрібненої цегли мають підвищену поверхневу пористість і тріщиностійкість [7], яка суттєво впливає на підсос вологи з цементного тіста. Однак, цей ефект підвищує зчеплення між цементним тістом і заповнювачем, а тому руйнування бетону на основі подрібненого заповнювача з цегли відбувається на відміну від бетону на заповнювачі, отриманого в результаті подрібнення бетону, не по контакту заповнювач-цемент. *Мета роботи* полягає в визначенні можливості використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, пошкодженої в результаті руйнування будинків і споруд під час військових дій. *Висновки.*

Розглянута можливість використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної пошкодженої в результаті руйнування будинку під час військових дій. В результаті дослідження цегли в лабораторних умовах встановлено, що вона відповідає по міцності марки М100 і має середню густину $1\,740\text{ кг/м}^3$. Така цегла водостійка, так як має коефіцієнт розм'якшення 0,84, а її водопоглинення складає 16,38 %. Вторинний заповнювач, який отриманий шляхом подрібнення цегли глиняної звичайної має об'ємну насипну густину 935 кг/м^3 і по фракційному складу його можна поділити на дві частини: великий – фракції 5–25 мм в кількості 65,8 % і дрібний – фракції 0,16–5 мм в кількості 16,0 %. На основі отриманих характеристик цегли глиняної звичайної і вторинного заповнювача подрібненого з цієї цегли, будуть розроблені склади конструкційних бетонів для застосування при будівництві будівель і споруд.

Ключові слова: рециклінг; цегла; вторинний заповнювач; випробування цегли; бетон

PROSPECTS FOR FURTHER APPLICATION OF BRICKS SELECTED FROM BUILDINGS AND STRUCTURES DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

KONOPLIANYK O.Yu.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
KOTOV M.A.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
LYASOTA O.V.³, *Applicant*,
OLEYNIKOV V.M.⁴, *Stud.*

¹ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. + 38 (067) 762-24-55, e-mail: konoplianyk.alexander@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

^{2*} Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: 38kotokoto38@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

³ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 483-03-73, e-mail: lyasota198422@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

⁴ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. + 38 (096) 483-03-73, e-mail: valeraleynikov2005@gmail.com

Abstract. Introduction. Currently, the construction industry is a topical issue in the use of secondary waste generated in the process of human life [1] or obtained as a result of crushing construction products and structures damaged as a result of military operations, natural disasters and demolition of existing buildings and structures [2]. Such a direction of activity is recycling, that is, one of the options for processing waste. One of the ways to implement this topic is to obtain concrete compositions by using secondary aggregates obtained as a result of crushing construction products and structures damaged as a result of military operations, natural disasters or demolition of existing buildings and structures. **Analysis of the current state** of development and research of concretes showed that aggregates for reuse can be obtained based on crushing construction products and structures made of concrete, reinforced concrete, brick, glass, etc., which were damaged as a result of military operations, natural disasters or demolition of existing buildings and structures. In addition, the use of secondary aggregate is an important condition for preserving the environment and reducing the burden on natural resources. **Analysis of publications** has shown that structural concrete can be obtained on secondary aggregates, crushed from the material of structures damaged as a result of military operations, natural disasters or demolition of existing buildings and structures. The use of secondary concrete aggregate for obtaining structural concrete is known [3; 4] where the authors claim that if high-quality and well-sorted recycled aggregate is used, concrete with the required strength can be obtained. However, it is noted that the bottleneck in the use of secondary aggregates is the heterogeneity of the aggregate structure, which is two-component and consists of dense primary aggregate and porous residual cement mortar. With such a structure of the secondary aggregate, the primary aggregate and residual cement mortar can also work separately, especially under the influence of periodic moistening, low and high temperatures. In the literature there is information about the use of cullet with a bulk density of 700 kg/m^3 as an aggregate for the production of concrete [5]. However, the widespread use of cullet is restrained by the economic component, namely, that the secondary processing of cullet is more effective for the production of new glass-based products. It is known to use secondary aggregate crushed from clay ordinary and silicate bricks in concrete compositions [6; 7]. In this case, such aggregates should be considered single-component, since the masonry elements from which the specified brick is selected contain a minimum amount of mortar from the joints and most of this mortar disappears from the aggregate during the grinding process. Aggregates made of crushed brick have increased surface

porosity and crack resistance [7], which significantly affects the suction of moisture from the cement dough. However, this effect increases the adhesion between the cement paste and the aggregate, and therefore the destruction of concrete based on crushed brick aggregate occurs, unlike concrete on aggregate obtained as a result of crushing concrete, not by the aggregate-cement contact. **The purpose of the work** is to determine the possibility of using in concrete compositions the aggregate obtained as a result of crushing ordinary clay bricks damaged as a result of the destruction of buildings and structures during military operations. **Conclusions.** The possibility of using in concrete compositions the aggregate obtained as a result of crushing ordinary clay bricks damaged as a result of the destruction of a building during military operations was considered. As a result of the study of the brick in laboratory conditions, it was established that it corresponds to the M100 brand in strength and has an average density of 1 740 kg/m². Such a brick is waterproof, as it has a softening coefficient of 0.84, and its water absorption is 16.38 %. The secondary aggregate, which is obtained by crushing ordinary clay bricks, has a bulk density of 935 kg/m³ and can be divided into two parts by fractional composition: large – fractions of 5–25 mm in the amount of 65.8 % and fine – fractions of 0.16–5 mm in the amount of 16.0 %. Based on the obtained characteristics of ordinary clay bricks and secondary aggregate crushed from this brick, structural concrete compositions will be developed for use in the construction of buildings and structures.

Keywords: recycling; brick; secondary aggregate; brick testing; concrete

Постановка проблеми. В теперішній час в будівельній галузі актуальним питанням є використання вторинних відходів, які утворюються в процесі життєдіяльності людини [1] або отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих та знесення існуючих будівель і споруд [2]. Таким напрямом діяльності є рециклінг, тобто один з варіантів переробки відходів. Одним із способів реалізації даної тематики є отримання складів бетонів шляхом використання вторинних заповнювачів, отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд.

Аналіз сучасного стану розробки і дослідження бетонів показав, що на основі подрібнення будівельних виробів і конструкцій з бетону, залізобетону, цегли, скла тощо, що були пошкоджені в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд, можуть бути отримані заповнювачі для повторного використання. Окрім цього, застосування вторинного заповнювача – це важлива умова для збереження довкілля і зниження навантаження на природні ресурси.

Аналіз публікацій показав, що конструктивні бетони можуть бути отримані на вторинних заповнювачах, подрібнених з матеріалу конструкцій, пошкоджених в

результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд. Відомо використання вторинного бетонного заповнювача для отримання конструкційних бетонів [3; 4] де автори стверджують, що за умови використання якісного та добре відсортованого переробленого заповнювача можна отримати бетони з необхідною міцністю. Однак при цьому відмічається, що вузьким місцем при застосуванні вторинних заповнювачів є неоднорідність структури заповнювача, яка є двокомпонентною і складається з щільного первинного заповнювача і пористого залишкового цементного розчину. При такій структурі вторинного заповнювача первинний заповнювач і залишковий цементний розчин можуть працювати і окремо, особливо під дією періодичного зволоження, низьких та високих температур. В літературних джерелах мають місце відомості про використання в якості заповнювача склобою об'ємною насипною вагою 700 кг/м³ для виробництва бетонів [5]. Однак широке застосування склобою стримується через економічну складову, а саме, що вторинна переробка склобою більш ефективна для виготовлення нових виробів на основі скла. Відомо застосування в складах бетонів вторинного заповнювача, подрібненого з глиняної звичайної та силікатної цегли [6; 7]. В цьому випадку такі заповнювачі треба вважати однокомпонентними, так як елементи кладки, з яких відібрана вказана цегла, вміщують в себе мінімальну кількість розчину зі швів і здебільше цей розчин

відпадає від заповнювача в процесі подрібнення. Заповнювачі з подрібненої цегли мають підвищену поверхневу пористість і тріщиностійкість [7], яка суттєво впливає на підсос води з цементного тіста. Однак, цей ефект підвищує зчеплення між цементним тістом і заповнювачем, а тому руйнування бетону на основі подрібненого заповнювача з цегли відбувається на відміну від бетону на заповнювачі, отриманого в результаті подрібнення бетону, не по контакту заповнювач-цемент.

Мета роботи – визначення можливості використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, пошкодженої в результаті руйнування будинків і споруд під час військових дій.

Виклад матеріалу. Для визначення можливості використання в складах бетону вторинного заповнювача, відбирали цеглу глиняну звичайну з будівлі, яка була зведена в 1962 році. Таким чином, вік цегли під час дослідження складав 62 роки. При дослідженні такої цегли враховували те, що за такий довгий період експлуатації її фазовий склад сформувався повністю, а характеристики отриманого в результаті подрібнення заповнювача будуть стабільні на протязі подальшої експлуатації в складах бетону. Враховували також і те, що в результаті подрібнення цегли утворюються однокомпонентний заповнювач на відміну від подрібнення бетону, коли утворюються двокомпонентний заповнювач, який складається з первинного щебеню та залишкового на ньому розчину.

Згідно поставленої мети дослідження проводили в два етапи. На першому етапі визначали основні фізико-механічні характеристики цегли глиняної звичайної, а на другому етапі характеристики заповнювача, якій був подрібнений з цієї цегли.

На першому етапі досліджень в умовах учбово-дослідницької лабораторії кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ННІ Придніпровська державна академія

будівництва та архітектури визначали міцність цегли глиняної звичайної на згин і стиск у висушеному та насиченому водою стані. Визначення міцності цегли на згину висушеному стані призводили на 6 цеглинах, а в насиченому водою стані – на 4 цеглинах. Після випробування міцності цегли в насиченому водою стані обчислювали її коефіцієнт розм'якшення.

Міцність цегли глиняної звичайної на згин та стиск визначали відповідно до вимог нормативного документа [8]. Перед проведенням випробувань вимірювали характерні розміри цегли. Зразки вимірювали із похибкою до 1 мм. Кожен лінійний розмір зразка обчислювали як середнє арифметичне значення результатів вимірювань двох середніх ліній протилежних поверхонь зразка.

Випробування цегли на згин проводили на пресі УММ-20 згідно зі схемою, яка наведена на рисунку 1. Для цього зразок встановлювали на двох опорах преса. Відстань між опорами (база вимірювання) складала 200 мм. Навантаження прикладали у середині прольоту через верхній опорний елемент. Середня швидкість навантаження на зразок складала 0,05 кН/с (5 кгс/с).

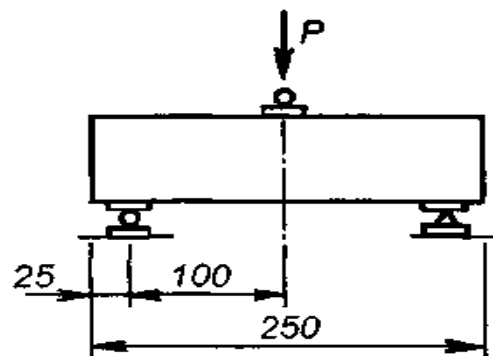


Рис. 1. Схема випробування цегли на згин

На рисунку 2 наведена фотофіксація випробування на згин цегли глиняної звичайної на пресі УММ-20.



Рис. 2. Випробування цегли глиняної звичайної на згин на пресі УММ-20

Міцність зразків на згин обчислювали за наступною формулою:

$$R_{зг} = \frac{1,5 \cdot P \cdot l}{b \cdot h^2}, \quad (1)$$

де P – руйнівне навантаження, кН;
 l – відстань між нижніми опорними

елементами, см; b – ширина зразка;
 h – висота зразка, см.

Межу міцності при згині зразків обчислювали в МПа (кгс/см²) як середнє арифметичне значення результатів випробувань встановленої кількості зразків. Результати визначення межі міцності цегли на згин наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробування міцності на згин цегли глиняної звичайної

Маркування цегли	Маса зразка, m , г	Розміри перерізу $l_{ср} \times b_{ср}$, мм	Висота зразка $h_{ср}$, мм	Площа зразка S , см ²	Об'єм зразка V , см ³	Густина, ρ , г/см ³	Руйнівне зусилля P , кН	Міцність на згин $R_{зг}$, МПа
1	3 592,0	251,5×120	64,75	301,8	1 954,16	1,838	6,6	3,94
2	3 438,35	253,25×120	66,0	303,9	2 005,74	1,714	7,4	4,23
3	3 085,95	243×115	62,5	279,45	1 746,56	1,767	7,1	4,55
4	3 402,8	249×119	65,0	296,31	1 926,02	1,767	5,8	3,46
5	3 213,75	249×117,5	65,5	292,58	1 916,4	1,677	4,8	2,86
6	3 368,3	247,5×119	68,5	294,53	2 017,53	1,670	5,4	2,90
Середнє значення						1,739	–	3,66

Як видно з таблиці 1 міцність цегли на згин знаходиться в межах 2,86–4,55 МПа, а середня міцність на згин дорівнює 3,66 МПа. Густина цегли глиняної звичайної знаходиться в межах 1,67–1,838 г/см³, а середня густина складає 1,739 г/см³.

На половинках цегли, одержаних після випробування на згин візуально оцінювали якість їхньої внутрішньої поверхні. На рисунку 3 наведена структура внутрішньої поверхні половинок цегли, які утворилися в результаті випробування міцності на згин.



Рис. 3. Структура внутрішньої поверхні зразків з цегли глиняної звичайної (№ 1–4) після випробування на згин

Структура внутрішньої поверхні зразків не рівномірна. Різний кольор внутрішньої поверхні свідчить про не рівномірну температуру обжигу по товщині цегли, в

результаті якої утворилися шари різної густини. Утворення різних за густиною шарів по товщині цегли значно впливає на міцнісні характеристики матеріалу цегли.

Випробування цегли на стиск проводили на пресі П-125 на половинках цегли, які були отримані після випробувань на згин. Перед випробуванням опорні поверхні половинок цегли вирівнювали шліфуванням. Для випробування на стиск поверхні половинок цегли укладали постільними один на одного. Половинки розміщували поверхнями розділу в протилежні сторони.

Половинки цегли доводили до руйнування на пресі П-125 (рис. 4). Швидкість підйому навантаження складала 4 кН за секунду.



Рис. 4. Випробування половинок цегли глиняної звичайної на стиск на пресі П-125

Межу міцності на стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу складених зразків. Результати визначання міцності на стиск цегли глиняної звичайної наведені в таблиці 2.

Як видно з таблиці 2 міцність цегли на стиск, знаходиться в межах 8,34–14,95 МПа, а середня міцність на стиск дорівнює 11,0 МПа.

Таблиця 2

Результати випробування міцності на стиск цегли глиняної звичайної

Маркування цегли	Розміри перерізу стиску $a_{\text{ср}} \times b_{\text{ср}}$, мм	Площа перерізу стиску S , см ²	Руйнівне зусилля P , кН	Міцність на стиск $R_{\text{ст}}$, МПа
1	93,5×120	112,2	120,63	10,75
2	96,5×119	114,84	116,0	10,1
3	106×112	118,72	177,5	14,95
4	102×119	121,38	145,0	11,95
5	98×117,5	115,15	113,75	9,88
6	103×119	122,57	102,25	8,34
Середнє значення				11,0

Для визначення характеристик водостійкості бетонів, таких як межа міцності при стиску, густина, та коефіцієнта розм'якшення використовували чотири зразки цегли глиняної звичайної.

Характер взаємодії бетонних зразків з водою визначали по відношенню до витриманих в нормальних умовах зразків. Для цього зразки-куби витримували під

водою на протязі 2-х діб, а потім виймали з води і витирали від залишкової води ганчіркою.

Міцність водо насичених бетонів на стиск та їх густину визначали аналогічно визначенню цих характеристик цегли до водонасичення. Результати визначення межі міцності водонасиченої цегли на згин і стиск наведені в таблицях 3 і 4 відповідно.

Таблиця 3

Результати випробування міцності на згин цегли глиняної звичайної водонасиченої

Маркування цегли	Маса сухого зразка, m_1 , г	Маса водонасиченого зразка, m_2 , г	Водопоглинання, W , %	Розміри перерізу $l_{\text{ср}} \times b_{\text{ср}}$, мм	Висота зразка $h_{\text{ср}}$, мм	Площа зразка S , см ²	Об'єм зразка V , см ³	Густина, ρ , г/см ³	Руйнівне зусилля P , кН	Міцність на згин $R_{\text{зг}}$, МПа
7	3 304,3	3 835,95	16,09	250,5×121,5	65,25	304,36	1 985,95	1,932	4,3	2,49
8	3 013,1	3 487,15	15,73	246×120	62,5	295,2	1 845,00	1,890	3,4	2,13
9	3 264,8	3 807,55	16,62	250,25×121	63,75	302,8	1 930,35	1,972	2,7	1,65
10	3 162,1	3 701,45	17,06	247×119	62,0	293,93	1 822,37	2,031	1,7	1,1
Середнє значення			16,38					1,956		1,84

Таблиця 4

Результати випробування міцності на стиск цегли глиняної звичайної водонасиченої

Маркування цегли	Розміри перерізу стиску $a_{\text{ср}} \times b_{\text{ср}}$, мм	Площа перерізу стиску S , см ²	Руйнівне зусилля P , кН	Міцність на стиск $R_{\text{ст}}$, МПа
7	114,5×121	138,55	126,65	9,11
8	117×120	140,4	129,13	9,2
9	103×123	126,69	106,25	8,19
10	95,5×120	114,6	121,25	10,58
Середнє значення				9,27

Коефіцієнт розм'якшення визначали згідно методики [9], як відношення міцності зразків на стиск в водонасиченому стані до міцності зразків в сухому стані за формулою

$$K_p = \frac{R_b}{R_c}, \quad (2)$$

Де R_b – міцність зразків після водонасичення, МПа; R_c – міцність зразків до водонасичення, МПа.

Водопоглинення за масою цегли звичайної, витриманої в нормальних умовах, визначали у відсотках згідно цегли у насиченому водою стані по нормативному документу [10] за формулою:

$$W_M = \frac{m_c - m_v}{m_c} \times 100, \quad (3)$$

де m_c – маса висушеного зразка, г; m_v – маса водо насиченого зразка, г.

Як видно з таблиці 3 міцність водонасиченої цегли на згин знаходиться в межах 1,1–2,49 МПа, а середня її міцність на згин дорівнює 1,84 МПа. Густина водонасиченої цегли глиняної звичайної знаходиться в межах 1,89–2,031 г/см³, а середня густина складає 1,956 г/см³.

Водопоглинення цегли знаходиться в межах 15,73–17,06 %, а середнє водопоглинення складає 16,38 %.

Як видно з таблиці 4 міцність водонасиченої цегли на стиск, знаходиться в межах 8,19–10,58 МПа, а середня міцність на стиск дорівнює 9,27 МПа.

Проведені на першому етапі випробування цегли глиняної звичайної на згин, стиск та водостійкість дозволили узагальнити результати досліджень. Узагальнені результати досліджень цегли глиняної звичайної наведені в таблиці 5. Марку цегли за міцністю на стиск і згин визначали по нормативному документу [11].

Таблиця 5

Загальні результати визначення міцнісних та водостійких характеристик цегли глиняної звичайної

Середня густина в сухому стані, ρ , кг/м ³	Межа міцності в сухому стані, МПа		Марка цегли, M			Межа міцності в насиченому водою стані, МПа		Водопоглинення W , %	Коефіцієнт розм'якшення, K_p
	При згині	При стиску	За міцністю на згин	За міцністю на стиск	Загальна	При згині	При стиску		
1 740	3,66	11,0	M250	M100	M100	1,84	9,27	16,38	0,84

Як видно з таблиці 5 межа міцності цегли глиняної звичайної при згині склала 3,66 МПа, а при стиску 11,0 МПа. Марка цегли, визначена за результатами випробування міцності на згин і стиск склала M250 і M100 відповідно. Загальну марку цегли прийняли за показниками міцності цегли на стиск і вона склала M100. Середня густина цегли глиняної звичайної склала 1740 кг/м³. Межа міцності водонасиченої цегли на згин і стиск склала 1,84 МПа і 9,27 МПа відповідно. Коефіцієнт розм'якшення цегли глиняної звичайної становить 0,84, що більше 0,7, тому цегла відноситься до водостійких матеріалів [9]. Цегла глиняна звичайна має велике водопоглинення яке становить 16,38 %.

На другому етапі досліджень розглядали можливість використання заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, властивості якої були визначені на першому етапі досліджень.

Подрібнення зразків цегли глиняної звичайної виконувалось на лабораторній

щоківій дробарці зі складним обертанням. Перед подрібненням цеглу глиняну звичайну роздавлювали на окремі куски на пресі П-125. Принцип роботи щоківій дробарки полягає в роздавлюванні куски цегли між двома плоскими поверхнями.

В результаті подрібнення в щоківій дробарці був отриманий заповнювач, який складався з великих та дрібних фракцій (рис. 5).



Рис. 5. Загальний вигляд заповнювача, отриманого після подрібнення цегли

Оскільки, при розробці складів бетонів суттєву роль відіграє фракційний склад заповнювача, то для якісного підбору складу бетонної суміші необхідно дослідити його основні характеристики.

Фракційний склад компонентів визначали за методикою [12, с. 9] шляхом просіювання проби через стандартний набір металевих сит d300h100. Залишки на ситах зважували за допомогою електронних ваг SPX6201 (0–6,2 кг). Об'ємну насипну густину подрібненого заповнювача визначали згідно з методикою для сипучих матеріалів [12, с. 28–29; 13]. Перед випробуванням фракційного складу та насипної густини лабораторну пробу заповнювача висушували до постійної маси.

Вміст зерен заповнювача пластинчастої (лещадної) або голчастої форми визначали окремо для кожної фракції, залишок якої на ситі був не менш 5 % за методикою [12, с. 16–17]. Для цього кожну пробу зважували та від неї вибирали зерна заповнювача, товщина яких менш довжини в три і більш разів. Вміст в кожній фракції заповнювача зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми $P_{пл}$, %, визначали за формулою:

$$P_{пл} = \frac{m_1}{m} 100, \quad (4)$$

де m – маса проби, г; m_1 – маса зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми.

Результати визначення фракційного складу вторинного заповнювача наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Фракційний склад вторинного заповнювача отриманого з цегли глиняної звичайної

Найменування компонентів	Залишки на ситах, %, з розміром вічок в мм											Об'ємна насипна густина, кг/м ³
	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менше 0,16	
Заповнювач	13,1	16,7	18,6	15,5	15,0	8,4	3,0	2,0	1,2	1,4	5,1	935
Зерна лещадної і голчастої форми, $P_{пл}$, %	5,2	1,75	1,3	4,05	3,4	3,05	–	–	–	–	–	



Рис. 6, а. Загальний вигляд залишків заповнювача на ситах з вічками 25, 20 і 15 мм відповідно



Рис. 6, б. Загальний вигляд залишків заповнювача на ситах з вічками 10, 5 і 2,5 мм відповідно

Як видно з таблиці 6 вторинний заповнювач, який отриманий шляхом подрібнення цегли глиняної звичайної можна поділити на дві частини: великий – фракції 5–25 мм в кількості 65,8 % і дрібний – фракції 0,16–5 мм в кількості 16,0 %. Заповнювач фракції менш 0,16 мм в кількості 5,1 % є тонкомеленою добавкою і буде застосований в сумішах разом з цементом. Об'ємна насипна густина заповнювача складає 935 кг/м³.

На рисунках 6а, 6б наведений загальний вигляд залишків заповнювача на стандартних ситах. Кількість зерен заповнювача пластинчастої (лещадної) або голчастої форми, визначений для фракцій 2,5–25 мм, знаходиться в межах 1,75–5,2 %. Така незначна кількість зерен пластинчастої або голчастої форми не вплине на загальні міцнісні характеристики бетону з

використанням цього вторинного заповнювача.

Висновки

Розглянута можливість використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, пошкодженої в результаті руйнування будинку під час військових дій. В результаті дослідження цегли в лабораторних умовах встановлено, що вона відповідає по міцності марки М100 і має середню густину 1 740 кг/м³. Така цегла водостійка, так як має коефіцієнт розм'якшення 0,84, а її водопоглинення складає 16,38 %.

Вторинний заповнювач, який отриманий шляхом подрібнення цегли глиняної звичайної має об'ємну насипну

густину 935 кг/м³ і по фракційному складу його можна поділити на дві частини: великий – фракції 5–25 мм в кількості 65,8 % і дрібний – фракції 0,16–5 мм в кількості 16,0 %. На основі отриманих характеристик цегли глиняної звичайної і вторинного заповнювача подрібненого з цієї цегли, будуть розроблені склади конструкційних бетонів для застосування при будівництві будівель і споруд. Кількість зерен заповнювача пластинчастої (лещадної) або голчастої форми, визначений для фракцій 2,5–25 мм, знаходиться в межах 1,75–5,2 %. Така незначна кількість зерен пластинчастої або голчастої форми не вплине на загальні міцнісні характеристики бетону з використанням цього вторинного заповнювача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 р. № 820-р: станом на 17 верес. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>
2. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 р. № 1073: станом на 3 трав. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-p#Text>
3. Silva R. V., de Brito J., Dhir R. K. Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 83. Pp. 108–118.
4. Савицький М. В., Смирнов А. С. Особливості використання подрібненого бетонного брухту в якості крупного заповнювача для бетону. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 6 (018). С. 111–117. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.111.1013>
5. Jain Harshit, Kumar Baradiya Vijay. Determination of Mechanical Properties of Mortar by Using Fine Crushed Glass (FCG) and Waste Rubber (WR). (March 16, 2019). *Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA)*. 2019. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssm.3353639>
6. Бешпаев З. У., Аствацатурова Л. Х., Колодяжный С. А., Вернигора С. А., Лопатинский В. В. Определение нормируемых характеристик рециклингового щебня из боя силикатного кирпича и перспективы его применения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. № 33 (2). С. 63–73. URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)
7. Farid Debieb, Kenai S. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*. 2008. № 22. Pp. 886–893.
8. ДСТУБ. В. 2.7-248:2011. Матеріали стінові. Методи визначення границь міцності при стиску і згині. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012.
9. Физические свойства бетона, определяемые путем его взаимодействия с водой. URL: www.bsu-5.ru/voda.
10. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинення, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. Київ : Держкоммістобудування України, 1997. 21 с.
11. ДСТУ Б. В. 2.7-61:2008. Будівельні матеріали. Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 45 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97). Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. Київ : Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 1999. 47 с.
13. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Технічні умови. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Київ : Держкоммістобудування України, 1996. 14 с.
14. Volchuk V. M., Kotov M. A., Plakhtii Ye. G., Tymoshenko O. A., Zinkevych O. H. Investigation of the

Influence of the Heterogeneous Structure of Concrete on its Strength. *Results in Materials*. 2025, vol. 25, p. 100659 (7 p.) URL: <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100659>

REFERENCES

1. *Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku* [On the approval of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030]. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 08.11.2017 no. 820-r: as of 17 Sep. 2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text> (in Ukrainian).
2. *Pro zatverdzhennia Poriadku povodzhennia z vidkhodamy, shcho utvorylys u zviazku z poshkodzhenniam (ruinuvanniam) budivel ta sporud vnaslidok boiovykh dii, terorystychnykh aktiv, dyversii abo provedenniam robot z likvidatsii yikh naslidkiv ta vnesennia zmin do deiakyykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy* [On approval of the Procedure for handling waste generated in connection with damage (destruction) of buildings and structures as a result of hostilities, terrorist acts, sabotage or work to eliminate their consequences and amending certain resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 27, 2022 no. 1073: as of May 3, 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-n#Text> (in Ukrainian).
3. Silva R.V., de Brito J. and Dhir R.K. Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2015, vol. 83, pp. 108–118.
4. Savytskyi M.V. and Smyrnov A.S. *Osoblyvosti vykorystannia podribnenoho betonnoho brukhtu v yakosti krupnogo zapovniuvacha dlia betonu* [Features of using crushed concrete scrap as a coarse aggregate for concrete]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 6 (018), pp. 111–117. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.111.1013> (in Ukrainian).
5. Jain Harshit and Kumar Baradiya Vijay. Determination of Mechanical Properties of Mortar by Using Fine Crushed Glass (FCG) and Waste Rubber (WR). (March 16, 2019). *Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA)*. 2019. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3353639>
6. Бєрпаєв З.У., Астватсатурова Л.К., Колодіазхніи С.А., Верньхора С.А. and Лопатинський В.В. *Oprehlenye normyruemykh kharakterystyk retsyklynhovoho shchebnia yz boia sylykatnoho kyrpycha y perspektivy eho prymerenyia*. [Determination of normalized characteristics of recycled crushed stone from silicate bricks and prospects for its application]. *Vestnyk NITS "Stroitelstvo"* [Bulletin of the SRC "Civil Engineering"]. 2022, no. 33 (2), pp. 63–73. URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73) (in Ukrainian).
7. Farid Debieb and Kenai S. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*. 2008, no. 22, pp. 886–893.
8. DSTUB. V. 2.7-248:2011. *Materialystynovi. Metody vyznachennia hranyts mitsnosti pry stysku i zghyni* [Materials. Methods for determining compressive and bending strength limits]. Kyiv Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2012. (in Ukrainian).
9. *Fyzycheskye svoystva betona, opredeliaemye putem eho vzaymodeistviya s vodoi* [Physical properties of concrete determined by its interaction with water]. URL: www.bs-5.ua/voda (in Russian).
10. DSTU B V.2.7-42-97. *Budivelni materialy. Metody vyznachennia vodopohlynennia, hustyny i morozostiikosti budivelnnykh materialiv i vyrobiv* [Building materials. Methods for determining water absorption, density and frost resistance of building materials and products]. Kyiv : State Committee for Urban Planning of Ukraine, 1997, 21 p. (in Ukrainian).
11. DSTU B. V. 2.7-61:2008. *Budivelni materialy. Tsehla ta kameni keramichni riadovi ta lytsovi. Tekhnichni umovy* [Building materials. Ceramic bricks and stones, ordinary and facing. Technical conditions]. Kyiv : Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2009, 45 p. (in Ukrainian).
12. DSTU B V.2.7-71-98 (HOST 8269.0-97). *Shchebin i hravii iz shchilnykh hirs'kykh porid i vidkhodiv promysloвого vyrobnytstva dlia budivelnnykh robot. Metody fizyko-mekhanichnykh vyprobuvan* [Crushed stone and gravel from dense rocks and industrial waste for construction work. Physical and mechanical test methods]. Kyiv : State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 1999, 47 p. (in Ukrainian).
13. DSTU B V.2.7-32-95. *Tekhnichni umovy. Budivelni materialy. Pisok shchilnyi pryrodnyi dlia budivelnnykh materialiv, vyrobiv, konstruktiv i robot* [Technical conditions. Building materials. Dense natural sand for building materials, products, structures and works]. Kyiv : State Committee for Urban Planning of Ukraine, 1996, 14 p. (in Ukrainian).
14. Volchuk V.M., Kotov M.A., Plakhtii Ye.G., Tymoshenko O.A. and Zinkevych O.H. Investigation of the Influence of the Heterogeneous Structure of Concrete on its Strength. *Results in Materials*. 2025, vol. 25, p. 100659 (7 p.) URL: <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100659>

Надійшла до редакції: 13.05.2025.