

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ З КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОМУ В'ЯЖУЧОМУ

Кравченко С.А., к.т.н., доцент,
Постернак О.О., к.т.н., доцент,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ckogasa@yandex.ua

Анотація. Наведені основні результати експериментальних досліджень зразків, елементів і конструкцій з конструкційного та конструкційно-теплоізоляційного керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. Експериментально отримані дані з несучої здатності, тріщиностійкості і деформативності згинальних елементів (балок), фрагментів стінових панелей та зовнішніх стінових блоків, виготовлених з керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. Проведено порівняльний аналіз дослідних і теоретичних руйнівних навантажень. Доведена технічна можливість використання керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому в конструкціях цивільних будівель. Проведені дослідження конструкцій з керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому та карбонатному піску показали, що їх розрахунок можна виконувати, як для звичайних керамзитобетонів, наведених у діючих нормах.

Ключові слова: керамзитобетон, в'язуче, міцність, деформації, балки, стінові блоки, фрагменти стінових панелей.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОМ ВЯЖУЩЕМ

Кравченко С.А., к.т.н., доцент,
Постернак А.А., к.т.н., доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ckogasa@yandex.ua

Аннотация. Приведены основные результаты экспериментальных исследований образцов, элементов и конструкций из конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем. Экспериментально получены данные по несущей способности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов (балок), фрагментов стеновых панелей и наружных стеновых блоков, изготовленных из керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем. Проведен сравнительный анализ опытных и теоретических разрушающих нагрузок. Доказана техническая возможность использования керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем в конструкциях гражданских зданий. Проведенные исследования конструкций из керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем и карбонатном песке показали, что их расчёт можно выполнять, как для обычных керамзитобетонов, приведенных в действующих нормах.

Ключевые слова: керамзитобетон, вяжущее, прочность, деформации, балки, стеновые блоки, фрагменты стеновых панелей.

RESEARCH OF LIGHT WEIGHT CONCRETE CONSTRUCTIONS ON CEMENT-ASH BINDING

Kravchenko S.A., Ph.D., Assistant Professor,

Abstract. The main results of experimental research patterns, elements and structures from the structural and constructional and heat insulation expanded clay concrete on cement-ash binder are presented. The optimum compositions of expanded clay concrete on cement-ash binder are proposed to obtain low weight structures, which conform the requirements of load-bearing capacity, crack resistance and deformation capacity. The data on the load-bearing capacity, crack resistance and deformation capacity of bent elements (beams), fragments of wall panels and exterior wall blocks, made from expanded clay concrete on cement-ash binder are obtained experimentally. The conducted analysis of the experimental and theoretical failure loads is made. The executed analysis of load-bearing capacity research, crack resistance and deformation capacity of bent elements, fragments of wall panels and exterior wall blocks, made from expanded clay concrete on cement-ash binder and carbonate sand shows that their estimation can be done for plain expanded clay concrete according to the existing standards. The technical ability of expanded clay concrete using on cement-ash binder in the construction of civil buildings is proved. Research of structures from expanded clay concrete on cement-ash binder and carbonate sand shows, that their calculation can be done according to the existing standards as for plain expanded clay concrete.

Keywords: lightweight concrete, binding, durability, deformation, beams, wall blocks, fragments of wall panels.

Вступ. Відомо, що одним з актуальних завдань у діяльності будівельного комплексу країни є розвиток виробництва конкурентоспроможних виробів і конструкцій для житлових, цивільних і промислових будівель. Створення конструкцій зниженої матеріалоємності та необхідної довговічності з одночасною розробкою ресурсозберігаючих технологій їх виготовлення – це одне з основних напрямків успішного вирішення зазначеної задачі.

Основним напрямом зниження матеріалоємності в будівництві є: зниження маси будівельних конструкцій на основі вживання ефективних матеріалів; широке використання промислових відходів; економія сировини, паливно-енергетичних ресурсів у виробництві матеріалів і конструкцій. Особливе значення має широке впровадження у виробництво бетонних і залізобетонних виробів відходів і вторинних продуктів промисловості [1].

Цілі і завдання. Поставлена нами мета включала розробку та отримання конструкцій зниженої маси, порівняно з важким бетоном, які б відповідали вимогам щодо несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності. Завданням дослідження було розробити оптимальні склади бетону, з подальшим проведенням випробувань конструкцій придатних до експлуатації в сучасному будівництві.

Об'єкти і методи дослідження. Об'єктами досліджень були дослідні зразки (куби та призми), згинальні елементи (балки), фрагменти стінових панелей і зовнішні стінові блоки у натуральну величину. Методами дослідження послужило використання попереднього досвіду у випробуванні зразків, елементів та конструкцій з легких бетонів, які включали в собі визначення несучої здатності, тріщиностійкості і деформативності. Також було проведено порівняльний аналіз отриманих розрахункових та експериментальних даних.

Результати досліджень. В Одеській державній академії будівництва та архітектури розроблена технологія виробництва малоцементних бетонів. У основі технології лежить використання портландцементу і активної мінеральної добавки (золи-виносу) для виготовлення і дослідження згинальних елементів, партії крупних зовнішніх стінних блоків та внутрішніх стінових панелей [2].

Склади бетону для експериментальної партії згинальних елементів, крупних зовнішніх стінових блоків, фрагментів внутрішніх стінових панелей наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Склад бетону для зразків

Проектна міцність, МПа	Елементи [3, 4]	Витрата матеріалів на 1 м ³ бетону					
		цемент, кг/м ³	зола, кг/м ³	керамзит, кг/м ³	пісок, кг/м ³	С-3, %	вода, л
7,0	Зовнішні стінові блоки	150	90	500	500	0,3	205
8,0		200	120	460	240	0,3	190
20	Дослідні балки	300	120	430	725	0,3	225
25	Фрагменти внутрішніх стінових панелей	250	150	500	500	0,3	230

Матеріали, використані в дослідженнях для виготовлення перерахованих конструкцій, мали наступні характеристики:

– керамзитовий гравій 5...10 мм, не фракціонований Куліндоровського індустріального концерну “Інто-буд”, марки за насипною щільністю М 600, умовною міцністю в циліндрі, рівною 2,8...3,0 МПа;

– карбонатний пісок Орловського родовища Одеської обл.;

– цемент М 400 Криворізьського заводу – ДСТУ Б В.2.7-112-2002;

– зола-виносу Ладиженської ТЕС з питомою поверхнею $S_y=3000 \text{ см}^2/\text{г}$;

– суперпластифікатор С-3 – ТУ-2481-001-51831493-00.

Керамзитобетонну суміш укладали у форми і ущільнювали на вібростолі. Після витримки 2...4 год. відформовані вироби з контрольними зразками (куби, призми) завантажували в пропарювальні камери. Пропарювання виробів проводили при температурі +80°С. З кожного складу керамзитобетону виготовляли по 6 кубів і 6 призм.

Призми і куби випробовували після пропарювання і під час випробування конструктивного елементу [5].

Результати випробування:

1. *Згинальні елементи* – балки розмірами 100×150×1200 мм, характеристики наведені в табл. 2, 3.

Випробування дослідних елементів – балок проводили у віці 90±5 діб з метою визначення їх несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності. Дослідні руйнівні моменти в балках 1 серії перевищують розрахункові згідно [6], в середньому, на 3,4 %, а в балках 2 серії на 4,4 %.

В процесі випробування згинальних елементів визначалися деформації стиснутої зони бетону, деформації арматури, ширина розкриття тріщин і прогини. Дослідні значення деформацій стиснутої зони $\epsilon_{cm}^{дослід.}$ добре узгоджуються з розрахунковими $\epsilon_{cm}^{розн.}$. Середні значення відношення $\epsilon_{cm}^{дослід.} / \epsilon_{cm}^{розн.}$ для балок 1 і 2 серії відповідно дорівнюють 1,04 і 1,06. Проведеними дослідями встановлено збільшення значень $\epsilon_{cm}^{дослід.}$ із зростанням кількості робочої арматури.

Таблиця 2 – Міцнісні характеристики згинальних елементів

Серія	Позначення	M_u^{on} , Нм	$M_u^{розн.}$, Нм	$\frac{M_u^{on} - M_u^{розн.}}{M_u^{розн.}} \times 100, \%$	M_{crc}^{on} , Нм	$M_{crc}^{розн.}$, Нм	$\frac{M_{crc}^{on} - M_{crc}^{розн.}}{M_{crc}^{розн.}} \times 100, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	БК-1-1	7260	7075	2,61	1120	1150	-2,61
	БК-1-2	7250		2,47	1200		4,35
	БК-1-3	7425		4,95	1100		-4,34
2	БК-2-1	7625	7310	4,31	1775	1710	3,80
	БК-2-2	7590		3,83	1800		5,26
	БК-2-3	7680		5,06	1750		2,34

Таблиця 3 – Деформації згинальних елементів

Серія	Марка балки	$\varepsilon_{bm}^{досл} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_{bm}^{теор} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_{bm}^{досл} / \varepsilon_{bm}^{теор}$
1	2	3	4	5
1	БК-1-1	158	147	1,07
	БК-1-2	149		1,01
	БК-1-3	155		1,05
2	БК-2-1	196	186	1,05
	БК-2-2	193		1,04
	БК-2-3	199		1,07

При збільшенні відсотка армування $\rho_w = 1,21\%$ (1 серія) до $\rho_w = 1,74\%$ (2 серія) деформації бетону стиснутої зони збільшуються, в середньому, в 1,02 разу. Дослідні значення деформацій арматури, практично, на всіх етапах завантаження більші від розрахункових значень: для балок 1 і 2 серії в середньому перевищують в 1,03...1,05 разу.

Для балок 1 серії з відсотком армування $\rho_w = 1,21\%$ ширина розкриття тріщин складала в середньому 0,1...0,137 мм, а в серії 2 з $\rho_w = 1,74\%$ – в середньому 0,08...0,111 мм. Середня відстань між тріщинами дорівнювала 5...15 см. Дослідні значення w_k не перевищували нормативну ширину розкриття тріщин згідно [6].

У наших дослідах для армованих балок стрижньовою арматурою А400С, в робочій стадії ($M=0,625M_u^{дослід.}$) від короточасної дії навантаження отримані прогини, які досягли величини $\sim 4...6$ мм, що складало біля $(1/200...1/160)l_0$.

Співвідношення дослідних і розрахункових прогинів складає в середньому для балок 1 серії $f^{дослід.}/f^{розн.} = 1,017$, для балок 2 серії $f^{дослід.}/f^{розн.} = 1,0$.

2. Фрагменти внутрішніх стінових панелей, характеристики наведені в табл.4, 5.

Аналіз результатів випробування фрагментів внутрішніх стінових панелей у віці 29...41 діб показав, що, практично, всі вони задовольняють вимогам за несучою здатністю. Величини дослідних руйнівних навантажень N_u , перевищують відповідні розрахункові на 3,7%. Це пов'язано з тим, що із зростанням ексцентриситету додатку рівнодійного вертикального навантаження N_u значно зменшується.

Таблиця 4 – Міцнісні та деформативні характеристики фрагментів внутрішніх стінових панелей

Серія зразків	Вік бетону τ , сут.	Міцність при стиску, МПа		Початковий модуль пружності, $E_b \times 10^2$, МПа	Щільність, ρ , кг/м ³	$\frac{R_b}{R}$	Відношення січного модуля пружності до початкового модуля пружності		
		R	R_b				$\frac{E_{0,5}}{E_b}$	$\frac{E_{0,8}}{E_b}$	$\frac{E_{0,9}}{E_b}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ФП-1	29	19,8	19,2	118	1380	0,97	0,93	0,76	0,68
ФП-2	30	20,2	19,4	120	1380	0,96	0,89	0,76	0,66
ФП-3	35	20,1	19,1	116	1380	0,95	0,92	0,75	0,68
ФП-4	36	20,2	19,4	120	1380	0,96	0,89	0,75	0,67
ФП-5	40	20,0	18,8	119	1380	0,94	0,9	0,75	0,66
ФП-6	41	20,2	19,9	121	1380	0,99	0,9	0,75	0,66

Таблиця 5 – Руйнуючі навантаження фрагментів внутрішніх стінових панелей

Серія зразків	Руйнуюче навантаження на зразок N_u , кН	Розрахункове руйнуюче навантаження $N_u^{розр}$, кН	$\frac{N_u^{розр} - N_u}{N_u} \times 100\%$
ФП-1	910	852	- 6,4
ФП-2	700	669	-4,5
ФП-3	780	746	-4,4
ФП-4	1140	1114	-2,3
ФП-5	920	889	-3,4
ФП-6	910	898	-1,3

При проведенні досліджень фрагментів внутрішніх стінових панелей переміщення верхньої плити преса відбувалося у всіх випадках, при цьому, відносні випадкові ексцентриситети склали $e = 0,0020 \dots 0,0087$. Проведений аналіз відносних випадкових ексцентриситетів вказує на високу однорідність бетону на цементно-зольному в'язучому.

На початкових етапах навантаження в середній частині по висоті зразків були відмічені лише подовжні деформації укорочення. До навантаження $0,9 N_u$ залежність між пружними прогинами і N_i / N_u була прямолінійна. Прогини зразків склали при $0,5 N_u$ від 0,32 до 0,48 мм і при $0,9 N_u$ від 0,90 до 1,12 мм. Руйнування зразків сталося в середній частині по висоті зразків.

3. *Крупні зовнішні стінові блоки (ЗСБ-1-1,2; ЗСБ-2-1,2), характеристики наведені в табл. 6, 7.*

Таблиця 6 – Загальні характеристики зовнішніх стінових блоків

№ складу	Вік, діб	Геометричні розміри блоків, мм			Міцність при стиску, МПа		Модуль пружності, МПа	Щільність, кг/м ³
		товщина, h	ширина, b	довжина, l	R	R_b		
1	30	385	1210	2180	6,9	4,1	3158	1020
	34	388	1180		7,6	7,2	5280	1065
2	41	387	1183	2180	5,1	4,8	3655	1090
	44	384	1182		6,8	6,5	4971	1120

Таблиця 7 – Міцнісні та деформативні характеристики зовнішніх стінових блоків

Марка блоку	Дослідні навантаження, кН		Теоретичне навантаження N_p^T , кН	Розрахункове навантаження N , кН	$\frac{N_p^o}{N_p^T}$	$\frac{N_{crc}}{N}$	$\frac{N_{crc}}{N_p^o}$
	N_p^o	N_{crc}					
1	2	3	4	5	6	7	8
ЗСБ-1-1	188	188	182	124	1,04	1,52	1,0
ЗСБ-1-2	320	320	311	258	1,05	1,26	1,0
ЗСБ-2-1	214	214	209	195	1,03	1,11	1,0
ЗСБ-2-2	279	248	279	258	1,01	0,98	0,89

На території Куліндоровського індустріального концерну ТОВ «КІК» було здійснено промислове виготовлення експериментальної партії стінових блоків серії 87, відповідно до проектного класу по міцності на стиск С 8/10 і маркою по середній щільності D1200 з керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому [4].

Отримані дослідні руйнівні навантаження $N_u^{\text{дослід.}}$ перевищують відповідні розрахункові значення $N_u^{\text{розрах.}}$ в середньому на 3,0 %. Перевищення дослідних руйнівних навантажень над розрахунковими для більшості блоків визначалося тим, що вертикальна вісь випробуваних блоків переміщалася при руйнівному навантаженні небагато і, отже, ексцентриситети додатку навантажень склали менше 10 мм.

Найбільше перевищення дослідних руйнівних навантажень над розрахунковими склало 5% для блоку ЗСБ-1-2 з міцністю 7,6 МПа і ОК=2 см, найменше 1% для блоку ЗСБ-2-2 з міцністю 6,8 МПа і ОК=4 см.

При випробуванні зовнішніх стінових блоків дослідне навантаження тріщиноутворення перевищило відповідні розрахункові значення цього навантаження, в середньому на 21%. Перші тріщини в блоках утворилися при навантаженні $0,9 N_u^{\text{дослід.}}$ від руйнівного.

Висновки:

1. В результаті проведених досліджень отримано конструкційний та конструкційно-теплоізоляційний керамзитобетон на карбонатному піску та цементно-зольному в'язучому міцністю 7...25 МПа, середньою щільністю 1100...1600 кг/м³, при заміні частини цементу золою ТЕС в межах 20...35%.

2. Встановлено, що в залізобетонних елементах, що згинаються, з керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому довжиною 1,2 м при короткочасній дії навантаження дослідні значення моментів тріщиноутворення на 3,4...4,4 % перевищують теоретичні; максимальна ширина розкриття тріщин склала 0,13 мм; прогини за експлуатаційного навантаження ($0,625M_u^0$) досягли 4...6 мм; ширина розкриття тріщин не перевищила 0,25 мм.

3. Дослідження фрагментів внутрішніх стінових панелей показало, що дослідні руйнуючі навантаження у середньому на 3,7 % перевищили розрахункові, руйнування сталося в середній частині по висоті зразків.

4. При короткочасному випробуванні зовнішніх стінових блоків дослідні руйнуючі навантаження у середньому на 3% перевищували розрахункові, навантаження тріщиноутворення у середньому на 21 % перевищило розрахункове.

5. Методика розрахунку бетонних згинальних елементів, центрально- і позакентровостиснутих елементів, яка приведена в ДБН В.2.6 – 98:2009, може бути рекомендована для практичного розрахунку зовнішніх стінових блоків і фрагментів внутрішніх стінових панелей з керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому.

Література

1. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 80 с.

2. Кравченко С.А. Керамзитобетонные конструкции на малоцементном известосодержащем вяжущем. / С.А. Кравченко, К. Мади, И.А. Столевич, С.В. Макаров, А.С. Столевич // Научно-технический сборник “Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания та споруди”. – Рівне, 2006. – вип.14. – С. 68 - 74.

3. ДСТУ Б В.2.6-112:2010. Блоки стінові бетонні і залізобетонні для будівель. Загальні технічні умови. – Київ, 2011. – 18 с.

4. ДСТУ Б В.2.6-2-95. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. – Київ, 1996. – 22 с.

5. Методические рекомендации по определению основных механических характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружениях. – М.: НИИЖБ, 1984. – 40 с.

6. ДБН В.2.6 – 98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення., Київ 2011. – 71с.

Стаття надійшла 18.07.2016