

УДК 624.044:624.041.6

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ І
КОНСТРУКЦІЙ З КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА
БАГАТОКОМПОНЕНТНОМУ В'ЯЖУЧОМУ**

**LOAD-BEARING CAPACITY AND DEFORMABILITY OF EXPANDED
CLAY CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES ON
MULTICOMPONENT BINDER**

**Кравченко С.А., к.т.н., доц., Постернак О.О., к.т.н., доц.,
Столевич І.А., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та
архітектури)**

**Kravchenko S.A., PhD in Engineering, Associate Professor, Posternak
A.A., PhD in Engineering, Associate Professor, Stolevich I.A., PhD in
Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Construction
and Architecture)**

У статті наведені основні матеріали та експериментальні зразки, що використовуються у дослідженнях. Наведено основні склади керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому згідно проектної міцності для виготовлення експериментальної партії елементів та конструкцій. Отримано результати експериментальних досліджень несучої здатності, деформативності та тріщиностійкості згинальних елементів, стінових блоків в натуральну величину і фрагментів стінових панелей із керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому.

The main materials and experimental samples used in the studies and the results of their analysis are presented in the article. In the manufacture of samples, elements and structures, the developed technology of low-cement lime-containing concretes was used. This technology is based on the use of a four-component binder, which, in addition to portland cement and ground quicklime, also includes an active mineral additive (fly ash) and gypsum. The main compositions of expanded clay concrete on multicomponent binder according to design strength for manufacture of experimental batch of bent elements, wall blocks in full size and fragments of wall panels are presented. Results of experimental studies of bearing capacity, deformability and crack resistance of bent elements with dimensions 100x150x2000 mm made of expanded clay concrete on multicomponent binder and quartz sand with reinforcement with diameter of 10 and 12 mm were obtained.

The results of experimental studies of bearing capacity and deformability of fragments of wall panels made of expanded clay concrete on multicomponent binder and quartz sand with grid reinforcement with diameter of 6 mm were obtained. The results of investigation of bearing capacity, deformability and crack resistance of wall blocks in natural value of corresponding series 87 of expanded clay concrete on multicomponent binding and quartz sand are given. Comparative analysis of experimental data with theoretical data when considering issues of strength and deformability of the examined elements and structures made of expanded clay concrete on a multicomponent binder is shown. The possibility of using expanded clay concrete with a multicomponent binder in elements and structures of reduced material capacity and required durability has been proved with the simultaneous development of resource-saving technologies for their manufacture.

Ключові слова: несуча здатність, деформативність, тріщиностійкість, керамзитобетон, багатокомпонентне в'язуче

Keywords: bearing capacity, deformability and crack resistance, expanded clay concrete, multicomponent binder

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

Використання відходів промисловості у виробництві матеріалів і конструкцій призводить не тільки до утилізації, але й дозволяє отримати дешевий місцевий сировинний матеріал і сприяє охороні навколишнього середовища. Необхідність використання золошлакових відходів пов'язана з їх шкідливим впливом на навколишнє природне середовище. Розпилення золи ТЕС при її зберіганні у відвалах становить небезпеку для водного і повітряного басейнів. Поблизу відвалів погіршуються умови життя людей.

За останній час накопичилося багато досліджень міцності та деформативності легких бетонів і конструкцій на їх основі, наведені в роботах М.А. Ахматова, Є.М. Бабича, В.М. Вирового, Б.С. Комісаренко, Р.Л. Майляна, Л.П. Орентліхера, Н.Я. Співака, В.Г. Суханова, О.Б. Пірадова та інші.

На сучасному рівні значний внесок у розвиток бетонів з використанням шлаку і золи внесли Ш.Т. Бабаєв, Є.В. Гончікова, С.А. Висоцький, Л.І. Дворкін, О.Л. Дворкін, А.Г. Зоткін, М.Ю. Лещинський, Н.Р. Рузів та інші, 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 досліджень полягає в порівнянні експериментальних даних несучої здатності та деформативності елементів та конструкцій з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому з теоретичними.

Відомо, що одним з найактуальніших завдань у діяльності будівельного комплексу країн є розвиток виробництва конкурентоспроможних виробів і конструкцій для житлових, цивільних і промислових будівель. Створення конструкцій зниженої матеріалоемкості і необхідної довговічності з одночасною розробкою ресурсозберігаючих технологій їх виготовлення – це один з основних напрямків успішного вирішення зазначеного завдання.

В ОДАБА (Одеській державній академії будівництва та архітектури) розроблена технологія малоцементних вапняновмісних бетонів. В основі даної технології лежить застосування чотириконтентного в'язучого, до складу якого, окрім портландцементу і меленого негашеного вапна, також входять активна мінеральна добавка (зола-винос) і гіпс, для виготовлення і дослідження згинальних елементів, партії великих зовнішніх стінових блоків і панелей [1].

Склади бетону для експериментальної партії згинальних елементів, великих зовнішніх стінових блоків, фрагментів стінових панелей наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Склад бетону

Міцність, МПа	Зразки [1,2,3]	Витрата матеріалів на 1 м ³ бетону							
		Цемент, кг/м ³	Вапно кг/м ³	Зола, кг/м ³	Керамзит, кг/м ³	Пісок, кг/м ³	Гіпс, кг/м ³	С-3, %	Вода, л
7,0	зовнішні	100	150	100	500	500	25	0,3	235
8,0	стінові	100	125	100	630	420	25	0,3	225
7,0	блоки	130	125	120	485	500	25	0,3	245
8,0		130	125	190	620	410	25	0,3	220
7,5	дослідні балки	100	100	100	460	200	25	0,3	170
20,1	фрагменти внутрішніх стінових панелей	220	150	200	460	200	25	0,3	230

Матеріали, які використані у дослідженнях для виготовлення перерахованих конструкцій, мають наступні характеристики:

- керамзитовий гравій 5...10 мм, нефракціонований Куліндорівського індустріального концерну "ІНТО-Строй", марки по насипній щільності М600, умовною міцністю в циліндрі, рівній 2,8 ... 3,0 МПа;
- пісок кварцовий Кременчуцького кар'єру;
- цемент М 400 Криворізького заводу-ДСТУ Б в.2. 7-112-2002;
- зола-винесення Ладизинської ТЕС-ГОСТ 25818-91;
- негашене вапно Куліндорівського заводу, у якому вміст активного окису кальцію СаО-75%;
- гіпс будівельний-ДСТУ Б в. 2. 7-104-2000;
- суперпластифікатор С-3-ГУ-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. Пропарку виробів виконували за температури 80°C. З кожного складу керамзитобетону виготовляли по два експериментальних елементи, по 6 кубів і 6 призм. Призми і куби випробовували після пропарювання і в день випробування конструктивного елемента [2].

Результати випробування:

1. Згинальні елементи - балки розмірами 100x150x2000 мм (табл. 2,3).

Випробування дослідних елементів-балок проводили у віці 90±5 діб з метою визначення їх несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності. Дослідні руйнуючі моменти в балках 1 серії перевищують розрахункові, в середньому, на 1,5%, а в балках 2 серії – на 5,7%.

Таблиця 2

Серія	Познач.	$M_{и}^{докл}$, Нм	$M_{и}^{розр}$, Нм	$\frac{M_{и}^{докл} - M_{и}^{розр}}{M_{и}^{розр}} \times 100, \%$	$M_{срс}^{докл}$, Нм	$M_{срс}^{розр}$, Нм	$\frac{M_{срс}^{докл} - M_{срс}^{розр}}{M_{срс}^{розр}} \times 100, \%$
1	БК-1-1	5930	6060	2,1	2430	2594	6,3
	БК-1-2	6350		4,8	2710		4,4
	БК-1-3	5980		1,3	2460		5,1
2	БК-2-1	8170	7790	4,9	3100	2945	5,3
	БК-2-2	8300		6,5	3090		4,7
	БК-2-3	8230		5,7	3120		5,8

Таблиця 3

Серія	Марка балки	$\epsilon_{ст}^{докл} \cdot 10^{-5}$	$\epsilon_{ст}^{теор} \cdot 10^{-5}$	$\epsilon_{ст}^{докл} / \epsilon_{ст}^{теор}$
1	БК-1-1	115	118	0,97
	БК-1-2	124		1,05
	БК-1-3	121		1,02
2	БК-2-1	161	156	1,03
	БК-2-2	167		1,07
	БК-2-3	164		1,05

У процесі випробування згинальних елементів визначали деформації стиснутої зони бетону, деформації арматури, ширину розкриття тріщин і прогини. Дослідні значення деформацій стиснутої зони $\epsilon_{cm}^{досл}$ добре узгоджуються з розрахунковими $\epsilon_{cm}^{розра}$ [3]. Середні значення відношення $\epsilon_{cm}^{досл} / \epsilon_{cm}^{розра}$ для балок 1 і 2 серії відповідно дорівнюють 1,02 і 1,05. Проведеними дослідями встановлено збільшення значень $\epsilon_{cm}^{досл}$ зі зростанням кількості робочої арматури.

При збільшенні відсотка армування $\mu = 1,3\%$ (1 серія) до $\mu = 1,9\%$ (2 серія) деформації бетону стиснутої зони збільшуються в середньому у 1,56 разів. Дослідні значення деформацій арматури практично на всіх етапах завантаження менші від розрахункових на 25% для балок 1 серії і на 22% для балок 2 серії.

Перші тріщини з'явилися при навантаженнях, які склали для балок 1 серії $(0,30 - 0,36)M_u^{досл}$, а для балок 2 серії $(0,40 - 0,42)M_u^{досл}$. Ширина розкриття тріщин в зоні чистого вигину балок при експлуатаційному навантаженні перебувала в межах 0,07 – 0,16 мм і збільшувалася зі зменшенням відсотка армування. При цьому навантаженні її найбільше значення $a_{сгс} = 0,11$ мм було виявлено в балках 1 серії.

Дослідні прогини балок 1 і 2 серії при дії експлуатаційних навантажень складали відповідно 15,2 – 18,7 мм і 21,1 – 24,4 мм, а їх відношення до розрахункових $f^{досл} / f^{розра} = 1,06$ для балок 1 серії і $f^{досл} / f^{розра} = 1,08$ для балок 2 серії.

2. Фрагменти внутрішніх стінових панелей табл.4,5

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

При проведенні досліджень фрагментів внутрішніх стінових панелей переміщення верхньої плити преса відбувалося у всіх випадках, при цьому відносні випадкові ексцентриситети становили $m = 0,0020-0,0087$. Проведений аналіз відносних випадкових ексцентриситетів вказує на високу однорідність керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому.

На початкових етапах навантаження в середній частині по висоті зразків були відзначені лише поздовжні деформації укорочення. До навантаження 0,9 N_u залежність між пружними прогинами і N_i / N_u була прямолінійна. Прогини зразків складали 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.

3. Зовнішні стінові блоки (НСБ-1-1,2; СНБ-2-1,2; НСП-3-1,2, НСБ-4-1,2)[4] табл. 6,7.

На території Куліндорівського індустріального концерну було здійснено промислове виготовлення експериментальної партії стінових блоків серії 87 відповідно до проектного класу за міцністю на стиск В7,5 і маркою за середньою щільністю D1300 з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому.

Таблиця 4

Серія зразків	Вік бетону τ , діб	Міцність при стиску, МПа		Початковий модуль пружності, $E_c \cdot 10^2$, МПа	Щільність, ρ , кг/м ³	$\frac{f_{cd}}{f}$	Відношення поточного модуля пружності до початкового модуля пружності		
		f	f_{cd}				$\frac{E_{0,5}}{E_c}$	$\frac{E_{0,8}}{E_c}$	$\frac{E_{0,9}}{E_c}$
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

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

Таблиця 6

№ складу	Вік, діб	Геометричні розміри блоків, мм			Міцність при стиску, МПа		Модуль пружності, МПа	Щільність, кг/м ³
		товщина, h	ширина, b	довжина, l	f	f_{cd}		
1	30	385	1210	2180	6,9	4,1	3158	1020
	34	388	1180		7,6	7,2	5280	1065
2	41	387	1183		5,1	4,8	3655	1090
	44	384	1182		6,8	6,5	4971	1120
3	49	386	1190		5,3	5,0	4362	1045
	51	389	1198		5,5	5,3	4543	1030
4	99	383	1183		7,9	7,4	6497	1180
	103	380	1195		6,2	5,9	5187	1155

Таблиця 7

Марка блока	Дослідні навантаження, кН		Теоретичне навантаження N_p^T , кН	Розрахункове навантаження N , кН	$\frac{N_p^{досл}}{N_p^T}$	$\frac{N_{erc}}{N}$	$\frac{N_{erc}}{N_p^o}$
	$N_p^{досл}$	N_{erc}					
НБС-1-1	189	189	182	124	1,04	1,52	1,0
НБС-1-2	326	326	311	258	1,05	1,26	1,0
НБС-2-1	216	216	209	195	1,03	1,11	1,0
НБС-2-2	282	252	279	258	1,01	0,98	0,89
НБС-3-1	234	182	218	195	1,07	0,93	0,78
НБС-3-2	250	182	234	195	1,07	0,93	0,73
НБС-4-1	340	340	316	258	1,08	1,32	1,0
НБС-4-2	280	240	253	195	1,11	1,23	0,86

Отримані дослідні руйнуючі навантаження $N_u^{досл}$ перевищують відповідні розрахункові значення $N_u^{розра}$ в середньому, на 5,7%. Перевищення дослідних руйнуючих навантажень над розрахунковими для більшості блоків визначалося тим, що вертикальна вісь випробуваних блоків переміщалося при руйнівному навантаженні незначно і, отже, ексцентриситети прикладання навантажень становили менше 10 мм.

Найбільше перевищення дослідних руйнуючих навантажень над розрахунковими склало 11% для блоку НБС-4-2 з міцністю 6,2 МПа і ОК=2 см, найменше 1% для блоку НБС-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 16%. Перші тріщини в блоках утворилися при навантаженні 0,9 $N_u^{досл}$ від руйнівного.

За результатами досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Експериментально доведена технічна можливість використання конструкційно-теплоізоляційного керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому в стінових блоках та панелях цивільних будівель, які задовольняють нормативним вимогам за несучою здатністю, тріщиностійкістю і деформативністю.

2. Методика розрахунку бетонних згинальних елементів, центрально стиснутих і позакентрово стиснутих елементів, наведена в ДБН [5], може бути рекомендована для практичного розрахунку зовнішніх стінових блоків і фрагментів внутрішніх стінових панелей з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. Використання даної методики підтвердило хороший збіг дослідних і теоретичних руйнуючих навантажень.

3. За результатами досліджень у виробничих умовах можна рекомендувати використання керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому в конструкціях громадських та цивільних будівель.

References

1. Stolevych A.S. Konstruktsyonnye lehkye betony / A.S. Stolevych, S.V. Makarov, Y.A. Stolevych, K.M. Mady, S.A. Kravchenko // Visnyk ODABA : zb. nauk. prats. – Odesa, 2006. – vyp.21. – S. 246-255.
2. Kravchenko S.A. Yssledovanye svoistv konstruktsyonno-teplozolyatsyonnykh lehkykh betonov na porystykh zapolnyteliakh / S.A. Kravchenko, A.A. Posternak // Aktualnye nauchnye yssledovaniya v sovremennom myre: KhKhKhII Mezhdunar. nauchn. konf., 26-27 dekabria 2017 h., Pereiaslav-Khmelnyskiy. // Sb. nauchnykh trudov – Pereiaslav- Khmelnytskyi, 2017. – Выр. 12(32), ch. 1 – S.. 129-135.
3. Rozrakhunok i konstruiuvannya zalizobetonnykh balok : navchalnyi posibnyk / Ye.M. Babych, V.Ie. Babych. – 2-e vydannia. – Rivne : NUVHP, 2017. – 191s.
4. Kravchenko S.A. Keramzytobetonnye konstruktsyy na malotsementnom yzvestesoderzhazhem viazhushchem. / S.A. Kravchenko, K. Mady, Y.A. Stolevych, S.V. Makarov, A.S. Stolevych // Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk "Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy". – Rivne, 2006. – vyp.14. – S. 68 - 74.
5. DBN V.2.6-98:2009. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 71s.

Список використаної літератури

1. Столевич А.С. Конструкционные лёгкие бетоны / А.С. Столевич, С.В. Макаров, И.А. Столевич, К.М. Мадя, С.А. Кравченко // Вісник ОДАБА : зб. наук. праць. – Одеса, 2006. – вип.21. – С. 246-255.
2. Кравченко С.А. Исследование свойств конструкционно-теплоизоляционных лёгких бетонов на пористых заполнителях / С.А. Кравченко, А.А. Постернак // Актуальные научные исследования в современном мире: XXXII Междунар. научн. конф., 26-27 декабря 2017 г., Переяслав-Хмельницкий. // Сб. научных трудов – Переяслав- Хмельницкий, 2017. – Вып. 12(32), ч. 1 – С. 129-135.
3. Розрахунок і конструювання залізобетонних балок : навчальний посібник / Є.М. Бабич, В.Є. Бабич. – 2-е видання. – Рівне : НУВГП, 2017. – 191с.
4. Кравченко С.А. Керамзитобетонные конструкции на малоцементном известсодержащем вяжущем. / С.А. Кравченко, К. Мадя, И.А. Столевич, С.В. Макаров, А.С. Столевич // Науково-технічний збірник "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди". – Рівне, 2006. – вип.14. – С. 68 - 74.
5. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71с.