

УДК 624.07:691.328:69.07

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ЗГИНАЛЬНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ З КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА
БАГАТОКОМПОНЕНТНОМУ В'ЯЖУЧОМУ ПРИ ДОВГОТРИВАЛІЙ
ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ**

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА
МНОГОКОМПОНЕНТНОМ ВЯЖУЩЕМ ПРИ ДЛИТЕЛЬНО-
ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ**

**BEARING STRENGTH AND DEFORMABILITY BENDED ELEMENTS
FROM CLAYDITE-CONCRETE ON MULTICOMPONENT BINDER OF
LONG-ACTION LOAD**

Кравченко С.А., к.т.н., доц, Постернак О.О., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, г. Одеса)

Кравченко С.А., к.т.н., доц, Постернак А.А., к.т.н., доц. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Kravchenko S.A., candidate of technical sciences, docent, Posternak A.A., candidate of technical sciences, docent. (Odessa state academy of civil engineering and architecture)

Наведено результати експериментальних досліджень згинальних елементів з керамзитобетону на багатоконпонентному в'язучому і кварцовому піску при довгостроково діючому навантаженні. Надана схема конструкції і армування дослідних зразків – балок. Описана методика експериментальних досліджень, результати випробувань згинальних елементів і їх аналіз, а також обсяг, цілі і результати випробувань.

Приведены результаты экспериментальных исследований изгибаемых элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем и кварцевом песке при длительно действующей нагрузке. Представлена схема конструкции и армирования опытных образцов – балок. Описана методика экспериментальных исследований, результаты испытаний изгибаемых элементов и их анализ, а также объем, цели и результаты испытаний.

The results of experimental research of bended elements from claydite-concrete on multicomponent binder and quartz sand in case of long-action load are given. The scheme of experimental model-beams construction and reinforcement is presented. The technique of experimental researches, results of bent elements tests and their analysis, and also volume, the purposes and results of tests are described. During the tests, the deflections of beams, the average deformation of the reinforcement and compressed and stretched zones concrete were measured. The conducted experimental researches made it possible to obtain data on the load-bearing capacity, deformability and crack formation of bending elements under long-action load, and to define the main parameters, which affect the deformation properties. It was determined that level of long-acting load, the value of the reinforcement coefficient and the duration of exposure under load have a significant impact on the strength and deformation characteristics of the bent elements from claydite-concrete on multicomponent binder. It was proved that the calculation of the bearing capacity, crack resistance and deformability of the bending elements from claydite-concrete on multicomponent binder and quartz sand should be carried out according to the current regulations, using the specified values of the calculated parameters.

Ключові слова:

Деформативність, згинальний, балки, керамзитобетон, в'язуче
Деформативность, изгибаемый, балки, керамзитобетон, вяжущее.
Deformations, bended, beams, claydite-concrete, binder.

Введение. Известно, что одной из актуальнейших задач в деятельности строительного комплекса страны является развитие производства конкурентоспособных изделий и конструкций для жилых, гражданских и промышленных зданий. Создание конструкций сниженной материалоемкости и требуемой долговечности с одновременной разработкой ресурсосберегающих технологий их изготовления – это одно из основных направлений успешного решения указанной задачи.

Основным преимуществом бетонов на пористых заполнителях по сравнению с тяжёлым бетоном является пониженная плотность, что позволяет уменьшить массу конструкции и обеспечивает экономические преимущества при возведении фундаментов, особенно для высотных зданий, а также в несущих конструкциях, особенно работающих на изгиб, где собственная масса составляет значительную часть от полной нагрузки [1].

Проблема использования легких бетонов является весьма актуальной задачей, поскольку предусматривает решение многих задач современного строительства и одновременно решать экологические, ресурсосберегающие и экономические проблемы за счёт изготовления местных пористых заполнителей и многокомпонентных вяжущих [2].

Анализ последних достижений. За последнее время накопилось много исследований прочности и деформаций легких бетонов и конструкций на их основе, приведены в работах М.А. Ахматова, Э.М. Бабича, В.Н. Вырового, Б.С. Комисаренко, Р.Л. Маиляна, А.И. Костюка, Н.Я. Спивака, В.Г. Суханова, А.Б. Пирадова и др.

На современном уровне значительный вклад в развитие бетонов с использованием шлака и золы внесли Ш.Т. Бабаев, Е.В. Гончикова, С.А. Высоцкий, Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, А.Г. Зоткин, С.В. Зинченко, Н.Р. Рузиев, А.В. Каляскин, и др., но в основном ресурсосберегающие вопросы за счёт применения промышленных отходов при изготовлении пористых заполнителей и вяжущих рассматриваются для тяжелых бетонов.

Основная цель статьи заключается в исследовании несущей способности и деформативности изгибаемых элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем при длительном действии нагрузки.

Методика исследования. Материалы, использованные в исследованиях, имели следующие характеристики:

- керамзитовый гравий 5...10 мм, нефракционированный Кулиндоровского индустриального концерна “Инто-Строй”, марки по насыпной плотности М 600, условной прочностью в цилиндре, равной 2,8...3,0 МПа;
- песок кварцевый Кременчугского карьера;
- цемент М 400 Криворожского завода – ДСТУ Б В.2.7-112-2002;
- зола-унос Ладыжинской ТЭС – ГОСТ 25818-91;
- известь негашёная Кулиндоровского завода, содержание активной окиси кальция СаО-75%;
- гипс строительный – ДСТУ Б В.2.7-104-2000;
- суперпластификатор С-3–ТУ-2481-001-51831493-00.

Балки были изготовлены из бетона С 8/10 с размерами 100x150x2000 мм при длительном исследовании армированные сварными каркасами (рис. 1) ;

Испытание балок проводили с целью выявления их фактической несущей способности, трещиностойкости и деформативности.

Испытание балок при длительном нагружении производили в специальных установках (рис.1), в которых нагрузка на балку передавалась через распределительную траверсу в виде сосредоточенных сил, приложенных в третях пролёта с помощью грузов, подвешенных на рычаге установки с соотношением плеч 1:20. Каждую установку тарировали с помощью образцового динамометра ДОСМ-5. Нагрузки на балку определяли по тарировочной кривой.

Балки загружали за 8-10 ступеней до нагрузок, равных 0,4-0,5 от разрушающей, с выдержкой на каждой ступени 15 мин. для снятия отсчётов по приборам и просмотра трещин. В процессе нагружения и выдержки под нагрузкой с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0.01мм и 0.001мм измеряли прогибы балок, средние деформации арматуры и бетона сжатой и растянутой зоны. В сжатой грани в середине устанавливался

индикатор (цена деления 0.01). Деформации сжатой зоны измеряли при помощи двух индикаторов часового типа (цена деления 0.01) расположенных

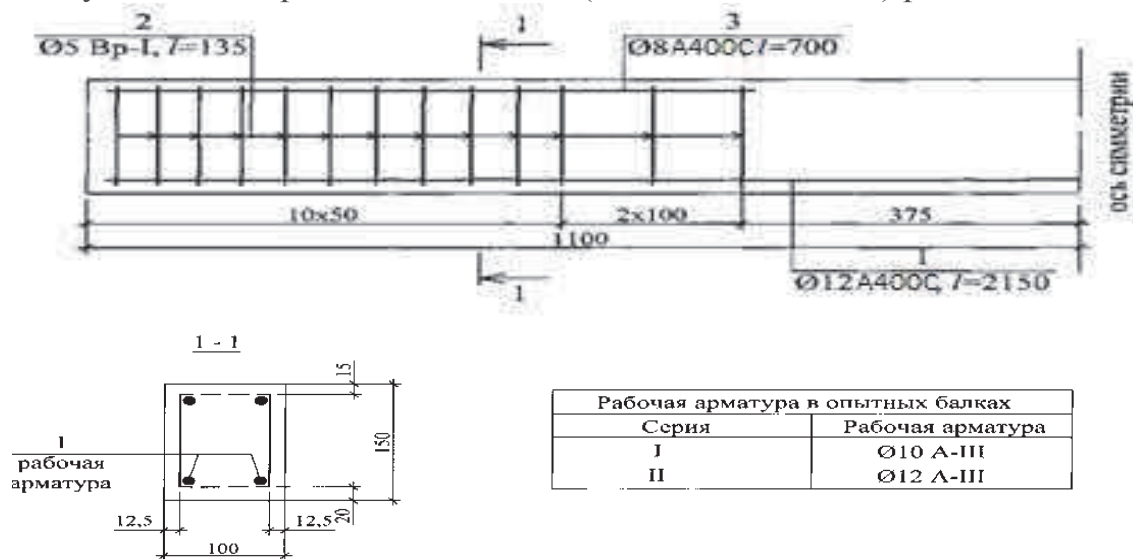


Рис.1. Конструкция и армирование опытных балок



Рис. 2. Испытание балок длительно действующей нагрузкой.

по краям сжатой грани бетон. Деформации арматуры измеряли на выпусках расположенных в растянутой арматуре на расстоянии от центра 150 мм, при помощи индикатора (цена деления 0.001).

Следует отметить, что контроль усилий в процессе длительного действия нагрузки осуществляли по показаниям индикатора установленного над распределительной траверсой, отклонение которого составило 1-3% от контролируемой нагрузки. Все 1-ой экспериментальной группы и балок проводились в помещении с температурой $t = 20 \pm 3^\circ\text{C}$ и влажностью воздуха $W = 80 \pm 5\%$.

Результаты исследования. Для исследования длительной несущей способности и деформаций во времени изгибаемых элементов было проведено испытание двух серий балок, отличающихся коэффициентом армирования. Каждая серия состояла из 2-х балок.

Длительно действующую нагрузку, соответствующую принятому уровню загрузки, определяли по результатам кратковременных испытаний балок [3]. Средняя несущая способность определённая по результатам испытаний при кратковременном нагружении в возрасте $t_0 = 31$ сут., для 1 и 2 серии составила соответственно $M_u^{on} = 6130$ Нм ($C_v = 0,061$) и $M_u^{on} = 7800$ Нм ($C_v = 0,048$).

Начальные прогибы и деформации, полученные при нагружении балок длительно-действующей нагрузкой, приведены в табл.1.

На рис.3, 4, 5 приведены графики развития деформаций и прогибов балок при действии нагрузок различной интенсивности. Значения средних деформаций бетона сжатой зоны и прогибов приведены за вычетом величин, полученных от действия усадки и собственного веса балок.

Средние деформации арматуры при длительном нагружении балок БД-1-1,2 и БД-2-1,2 интенсивно развивались в первые 90 - 180 сут., достигая при этом 90-95% своих максимальных значений, что свидетельствует об относительно быстром выключении из работы бетона растянутой зоны. После этого периода деформации арматуры стабилизировались. Максимальный прирост деформаций арматуры при длительном нагружении балок БД-1-1,2 составил $(33 \div 43)10^{-5}$, а для балок БД-2-1,2 $(22 \div 30)10^{-5}$ или соответственно 18-22 % и 14-16% от начальных деформаций, полученных при нагружении.

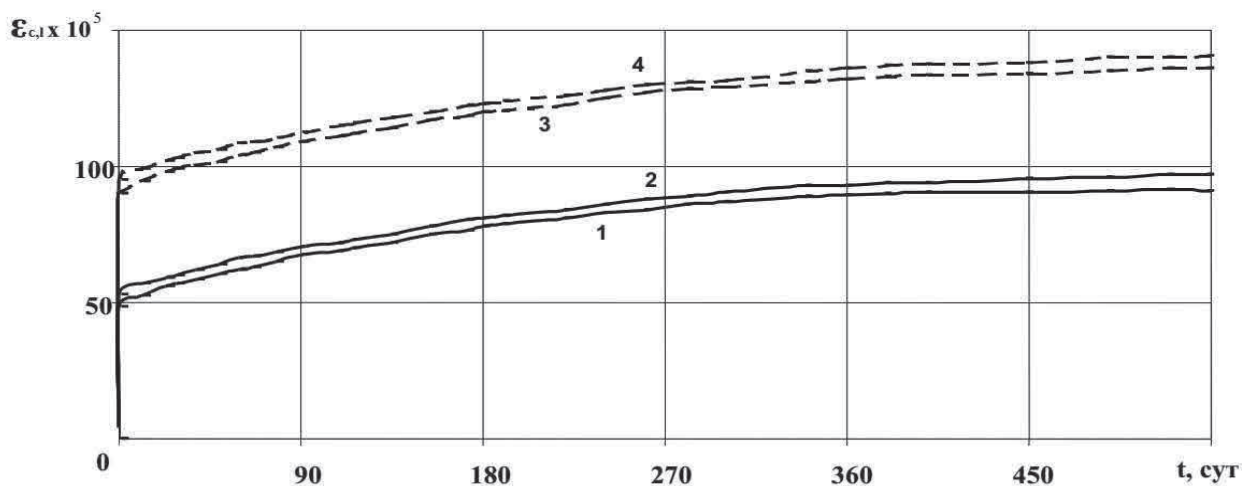
Полученные опытами результаты показывают, что коэффициент армирования и уровень длительно-действующего нагружения оказывают существенное влияние на величину деформаций арматуры в балках из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем(МКВ).

Деформации бетона сжатой зоны продолжали нарастать в течении 270 - 300 сут. После этого периода изменение деформаций сжатой зоны определялось в основном изменением температурно-влажностного режима. К возрасту $t - t_0 = 300$ сут прирост средних деформаций бетона сжатой зоны балок 1 серии состави $(90 \div 130)10^{-5}$, а балок 2 серии $(100 \div 150)10^{-5}$.

Таблица 1

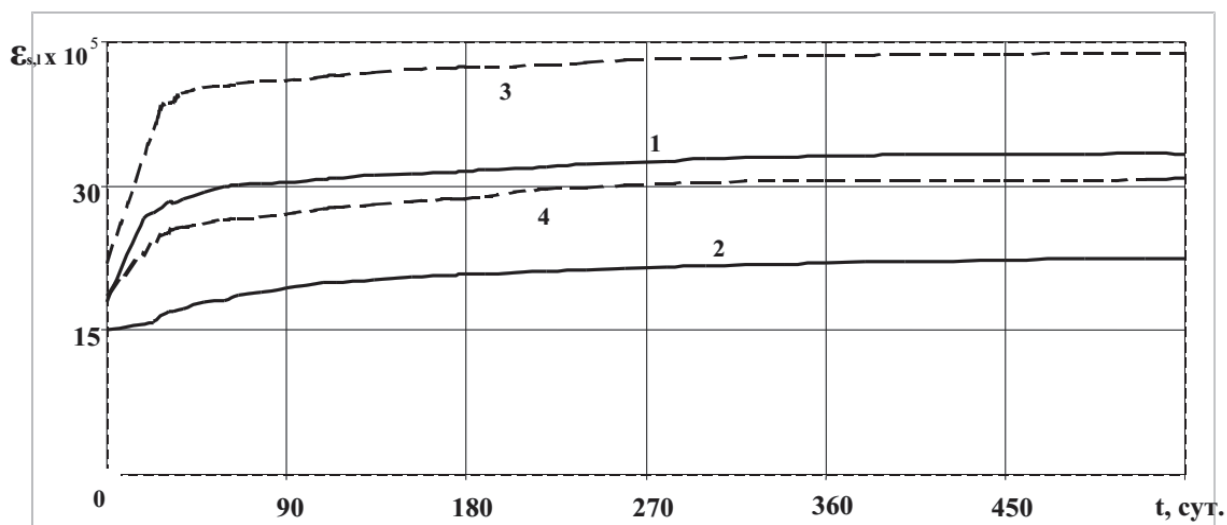
Деформации и прогибы опытных балок после загрузки

Серия	Марка балки	Уровень длительно-действующей нагрузки, η	$\varepsilon_{cm}^{on}(t_0) \times 10^5$	$\varepsilon_{sm}^{on}(t_0) \times 10^5$	f^{on} мм
1	2	3	4	5	6
1	БД-1-1	0,5	53	18	6,5
	БД-1-2	0,8	88	22	8,9
2	БД-2-1	0,5	61	15	7,2
	БД-2-2	0,8	97	18	10,8



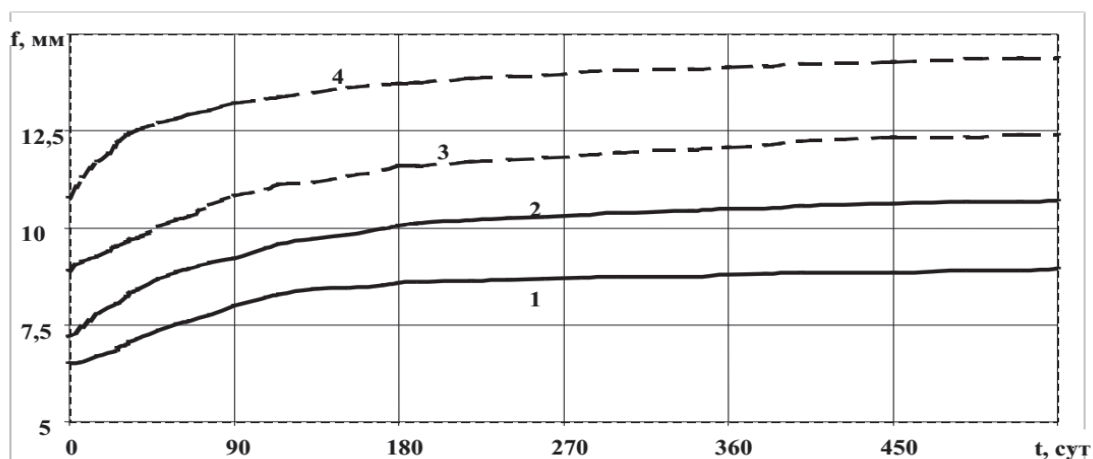
— $\eta = 0,5$; ---- $\eta = 0,8$; 1,3 - балки 1-ой серии; 2,4 - балки 2-ой серии

Рис. 3. Средние деформации бетона сжатой зоны опытных балок при длительном действии нагрузки



— $\eta = 0,5$; ---- $\eta = 0,8$; 1,3 - балки 1-ой серии; 2,4 - балки 2-ой серии

Рис. 4. Средние деформации арматуры опытных балок при длительном действии нагрузки



— $\eta = 0,5$; ---- $\eta = 0,8$; 1,3 - балки 1-ой серии; 2,4 - балки 2-ой серии

Рис. 5. Прогибы опытных балок при длительном действии нагрузки

По данным проведенных опытов интенсивность приращения деформаций ползучести в крайних сжатых волокнах бетона оказалась значительно большей в балках с $\rho_l = 0,019$ (2 серия). Это объясняется тем, что при одинаковом отношении действующих моментов к разрушающим, напряжения в бетоне сжатой зоны балок с большим содержанием арматуры были больше.

Развитие деформаций бетона и растянутой арматуры опытных балок во времени сопровождалось увеличению высоты сжатой зоны бетона [4].

На рис. 6. показано, что относительная высота сжатой зоны бетона увеличивается с увеличением длительности выдержки балок под нагрузкой. Это показывает, что перемещения нулевой линии по высоте поперечного сечения балок обусловлено, в основном, деформациями ползучести сжатого бетона и в значительно меньшей мере деформациями растянутой арматуры.

С увеличением высоты сжатой зоны происходит уменьшение плеча внутренней пары сил, а, следовательно, и напряжений в крайних сжатых волокнах сечения.

При расчёте кривизны железобетонных элементов, работающих с трещинами в растянутой зоне, от длительно действующей нагрузки, необходимо знать предельные значения коэффициента ν .

Изменение величины ν при длительном действии нагрузки определяли по измеренным деформациям сжатой зоны бетона опытных балок как отношение начальных деформаций к полным (с учётом коэффициента полноты эпюры напряжений $\omega = 0,5$): $\nu = [\epsilon_{cm}^{оп}(t_0) / \epsilon_{c,t}(t, t_0)]$. Опытные значения коэффициента ν приведены в табл.2.

Как видно из этой таблицы, значения коэффициента ν к возрасту 540 сут. составили 0,20-0,23, причём величина ν практически не зависит от

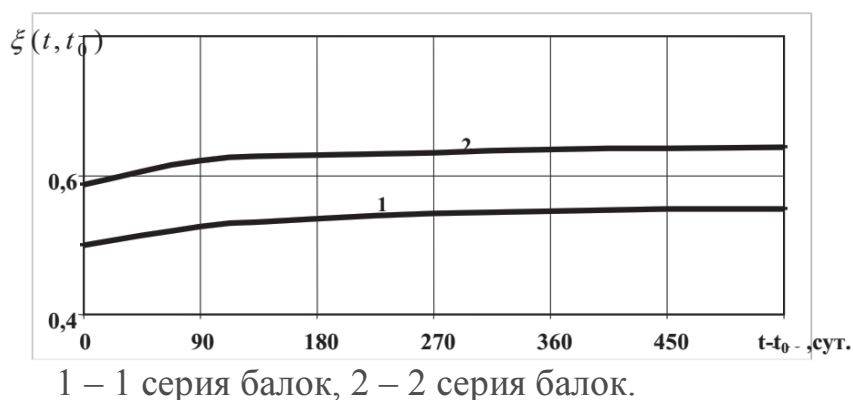


Рис. 6. Относительная высота сжатой зоны бетона при длительном действии нагрузок

Таблица 2

Значения коэффициента ν при длительном действии нагрузки

Марка балки	$t - t_0$, сут.								
	7	14	28	60	120	180	240	360	480
БД-1-1	0,37	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,20
БД-2-1	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23

количества продольной рабочей арматуры.

Результаты проведенных опытов показали, что значение коэффициента ν для исследуемых балок при длительном действии нагрузки в среднем равно 0,22, что несколько больше рекомендаций ДБН [5].

Прогибы неразрушившихся балок особенно интенсивно развивались в первые 90-180 сут. после их нагружения и к возрасту 360-540 сут. стабилизировались. Однако рост прогибов не прекращался и после 540 сут. К этому возрасту прирост прогибов составил для 1-ой серии 2,3 – 4,1 мм, а для балок 2-ой серии – 3,6 – 4,5 мм.

Как видно из этой таблицы, значения коэффициента ν к возрасту 540 сут. составили 0,20-0,23, причём величина ν практически не зависит от количества продольной рабочей арматуры.

Величина прогибов изгибаемых элементов при длительном нагружении оценивается по отношению предельных значений прогибов f_l к их начальным f^0 . По данным исследований связанных с керамзитобетоном это отношение находится в пределах $f_l / f^0 = 0,53 - 2,17$. В исследованиях проведённых с керамзитобетоном на МКВ для балок 1 серии это отношение составило 0,50 - 0,62, а для балок второй серии 0,35-0,48.

Как показывает анализ, увеличение прогибов во времени определяется приращениями деформаций сжатого бетона и растянутой арматуры. При этом приращение деформаций арматуры на 90-180сут. выдержки под

нагрузкой почти прекратилось и в дальнейшем прирост прогибов определялся только увеличением деформаций сжатой зоны бетона.

Рост ширины раскрытия трещин в балках, нагруженных длительно действующей нагрузкой, близкой к эксплуатационным (0,7 от разрушающей), наблюдался в первые 60- 120 сут., после чего $w_{crc}(t, t_0)$ к возрасту $t - t_0 = 450$ сут. оставался практически неизменным.

Опытные значения ширины раскрытия трещин $w_{crc}(t, t_0)$ за период длительного действия нагрузки увеличились по сравнению с начальными $w_{crc}(t_0)$ в среднем в 1,36 раза (1-я серия) и 1,29 раза (2-я серия). Эти значения близки к величине коэффициента $\varphi_l = 1,6 - 15\mu$, учитывающего длительное действие нагрузки на ширину раскрытия трещин: $\varphi_l = 1,41$ (1-я серия) и $\varphi_l = 1,32$ (2-я серия).

При выдержке под длительно действующей нагрузке высота трещин во всех опытных балках несколько уменьшалась. Это свидетельствует о том, что уменьшение высоты трещин, а следовательно, увеличение высоты сжатой зоны бетона связано с перераспределением усилий между арматурой и бетоном, происходящим из-за его ползучести.

Из результатов экспериментальных исследований видно, что опытные балки 1-ой и 2-ой серии при длительно действующей нагрузке, равной $0,8M_l / M_u^{оп}$ действующей в течении 540 сут. после нагружения ($t_0 = 28 - 35$ сут.) не проявили признаки потери несущей способности, поскольку развитие во времени деформаций в сжатой зоне бетона и растянутой арматуре, а также развитие прогибов имело затухающий характер и к концу наблюдений заканчивалось практически полной стабилизацией.

В результате можно сделать следующее предположение, что длительная несущая способность балок из керамзитобетона на кварцевом песке и многокомпонентном вяжущем с умеренными коэффициентами армирования не ниже величин $M_l / M_u^{оп}$, равных 0,8.

Выводы:

1. Выполнение расчёта по несущей способности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов при длительно действующей нагрузке из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем и кварцевом песке рекомендуется проводить согласно с ДБН[6] используя уточнённые опытами значения расчётных параметров $f_{cd}; f_{ctd}; E_c; \nu; \xi; \varepsilon_{cm}; \varepsilon_{sm}$.

2. На прочностные и деформативные характеристики изгибаемых элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем при длительном действии нагрузки существенное влияние оказывают уровень длительно действующей нагрузки, величина коэффициента армирования и длительность выдержки под нагрузкой.

3. На основании проведенного исследования можно рекомендовать

данный бетон в изготовлении сборных плит перекрытий и разработке технических условий на их изготовление с внедрением в строительство гражданских зданий.

1. Столевич А.С. Конструкционные лёгкие бетоны / А.С. Столевич, С.В. Макаров, И.А. Столевич, К.М. Мади, С.А. Кравченко // Вісник ОДАБА : зб. наук. праць. – Одеса, 2006. – вип.21. – С. 246-255.

2. Кравченко С.А. Исследование конструкций из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / С.А. Кравченко, А.А. Постернак, И.А. Столевич, А.И. Костюк // Науково-технічний збірник “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне, 2011. – вип.22.– С. 393 - 399.

3. Кравченко С.А. Несущая способность и деформативность изгибаемых элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии: сб. IX Республиканской научно-практической конференции с международным участием. – Бендеры, 2017. – С. 43-48.

4. Кравченко С.А. Несуча здатність та деформативність керамзитоперлитобетонних згинальних елементів / С.А. Кравченко, О.О. Постернак // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. – Одеса, 2016. – вип.61. – С. 220-226.

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

6. 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.

1. Stolevich A.S. Konstruktsionnye legkie betony / A.S. Stolevich, S.V. Makarov, I.A. Stolevich, K.M. Madi, S.A. Kravchenko // Visnik ODABA : zb. nauk. prats. – Odesa, 2006. – vip.21. – S. 246-255.

2. Kravchenko S.A. Issledovanie konstruktsiy iz keramzitobetona na mnogokomponentnom vyazhushchem / S.A. Kravchenko, A.A. Posternak, I.A. Stolevich, A.I. Kostyuk // Naukovo-tekhnichniy zbirnik “Resursoekonomni materiali, konstruktsii, budivli ta sporudi”. – Rivne, 2011. – vip.22.– S. 393 - 399.

3. Kravchenko S.A. Nesushchaya sposobnost i deformativnost izghibaemyh elementov iz keramzitobetona na mnogokomponentnom vyazhushchem / Sovremennoe stroitelstvo i arhitektura. Energoberegayushchie tekhnologii:sb. IX Respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. – Bendery, 2017. – S. 43-48.

4. Kravchenko S.A. Nesucha zdatnist ta deformativnist keramzitoperlitobetonih zghinalnih elementiv / S.A. Kravchenko, O.O. Posternak // Visnik ODABA: zb. nauk. prats. – Odesa, 2016. – vip.61. – S. 220-226.

5. DBN V.2.6 – 98: 2009. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennya. Kiiv, 2011. – 71 s.

6. Kravchenko S.A. Issledovanie svoystv konstruktsionno-teploizolyatsionnyh legkih betonov na poristyh zapolnitelyah / S.A. Kravchenko, A.A. Posternak // Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire: HKHKHII Mezhdunar. nauchn. konf., 26-27 dekabrya 2017 g., Pereyaslav-Hmelnitskiy. // Sb. nauchnyh trudov - Pereyaslav-Hmelnitskiy, 2017. - Vyp. 12(32), ch. 1 – S. 129-135.