

УДК 624.012.45

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ МОНОЛІТНОГО ПЕРЕКРИТТЯ З КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА БАГАТОКОМПОНЕНТНОМУ В'ЯЖУЧОМУ**

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ МОНОЛИТНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА МНОГОКОМПОНЕНТНОМ ВЯЖУЩЕМ**

**BEARING STRENGTH AND DEFORMATION MONOLITHIC SLAB FROM LIGHTWEIGHT CONCRETE ON A MULTICOMPONENT BINDING AGENT**

**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)

Наведені данні експериментального дослідження несучою здатності, тріщиностійкості та деформативності зразка монолітного перекриття виготовленого з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому та квацовому піску.

Приведены результаты экспериментального исследования несущей способности, трещиностойкости и деформативности образца монолитного перекрытия из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем и кварцевом песке.

The results of experimental research of load carrying capacity, crack resistance and deformability of monolithic slab standard from haydite concrete on multicomponent astringent and quartz sand.

**Ключові слова:**

Несуча здатність, деформативність, монолітне перекриття, легкий бетон.

Несущая способность, деформативность, монолитное перекрытие, лёгкий бетон.

Bearing strength, deformations, monolithic slab, light weight concrete.

**Введение.** Одним из важнейших направлений научно-технического прогресса в области строительства является снижение материалоемкости, стоимости и трудоемкости возведения зданий и сооружений с высокими характеристиками прочности, трещиностойкости и долговечности материалов, внедрение в строительную практику прогрессивных облегченных конструкций.

Легкие бетоны на пористых заполнителях представляют собой универсальный строительный материал, который позволяет при его рациональном использовании решать много актуальных задач современного строительства и одновременно решать экологические, ресурсосберегающие и экономические проблемы путем использования многокомпонентных вяжущих за счет утилизации технологических и техногенных отходов [3].

**Постановка проблемы.** Использование легких бетонов в монолитном домостроении является весьма актуальной задачей, поскольку предусматривает решать многие актуальные задачи современного строительства и одновременно решать экологические, ресурсосберегающие и экономические проблемы за счёт технологических и техногенных отходов, которые целесообразно применять при изготовлении железобетонных конструкций.

**Анализ последних достижений.** За последнее время накопилось много исследований несущей способности и деформативности конструкций из лёгких бетонов, которые приведены в работах М.А. Ахматова, Е.М. Бабича, Б.С. Комисаренко, А.И. Костюка, Р.Л. Маиляна, Л.П. Орендлихера, Н.Я. Спивака, А.С. Столевича, 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, С.А. Высоцкий, В.М. Горин, Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, С.В. Зинченко, А.Г. Зоткин, Камаль М.Р. Мадиди, М.Ю. Лещинский, Н.Р. Рузиев, А.В. Каляскин, В.Н. Ярмаковский и др., но в основном ресурсосберегающие вопросы за счёт применения промышленных отходов при изготовлении пористых заполнителей и вяжущих рассматриваются для конструкций из тяжёлого бетона.

**Основная цель статьи** заключается в исследовании несущей способности и деформативности монолитного перекрытия из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем.

**Методика исследования.** Исследования проводились на образце монолитного перекрытия (рис.1) выполненного из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем класса С 12/15.

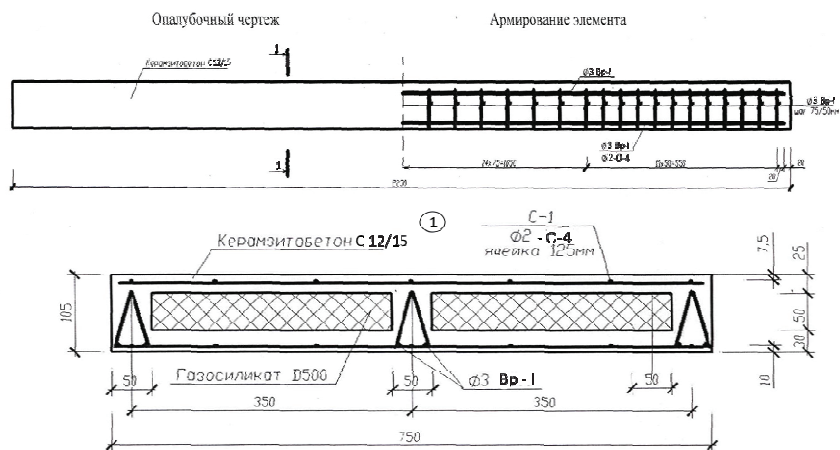


Рис.1. Конструкция образца монолитного перекрытия

Для проведения экспериментальных исследований монолитного перекрытия был разработан и изготовлен стенд, состоящий из элементов, подлежащих расчету (рис. 2). Стенд представляет собой конструкцию, сваренную из прокатных профилей и состоящую из двух опор и соединительных балок, обеспечивающих устойчивость стенда и безопасность испытаний.

Нагружение образцов производилось штучными грузами - бетонными и керамзитобетонными стеновыми блоками, которые были предварительно взвешены и замаркированы, в направлении от опор к середине, симметрично относительно середины пролета образцов (рис.2).

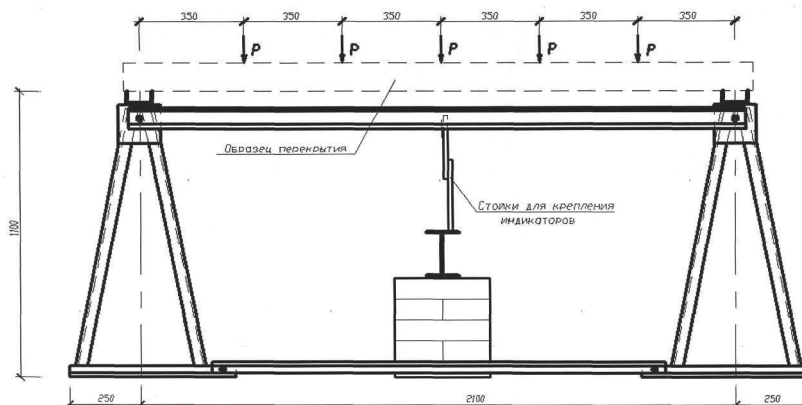


Рис.2. Экспериментальный стенд для испытаний образца монолитного перекрытия

В процессе испытаний измерялись:

- прогибы образцов в середине пролета;
- продольные деформации арматуры и бетона по боковым граням основных образцов;
- значения нагрузок трещинообразования, ширина раскрытия трещин;
- значение разрушающих нагрузок.

Продольные деформации бетона сжатой и растянутой зон измерялись индикаторами часового с ценой деления 0,001 мм при базе измерения 200 мм (рис. 3 а, б) и тензорезисторами (для дублирования показаний индикаторов) на бумажной основе с базой 20 мм и 50 мм. На продольные стержни рабочей арматуры образцов перекрытий были наклеены тензорезисторы с базой 3 мм на пленочной основе. Поверхность стержней перед наклейкой датчиков зачищалась, полировалась мелкой наждачной бумагой и обезжиривалась ацетоном. Провода, связи между тензорезисторами регистрирующим прибором для исключения их влияния на процесс трещинообразования выводились через бетон вне зоны чистого изгиба.

Тензорезисторы наклеивались на поверхность арматурных стержней и бетонную поверхность образцов с применением клея «Супер Момент» на основе цианакрилата, защитное покрытие - слой эпоксидного клея. Регистрация показаний тензорезисторов производилась многоканальным регистратором.

Для измерения и фиксации перемещений экспериментального образца были установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм П1 и П3, а также прогибомер Аистова (6-ПАО) с ценой деления 0,01 ( П2 на рис. 3, а) которым измеряли прогиб в центре пролета образцов до уровня нагрузки, составляющей 80% от расчетной разрушающей. Измерение ширины раскрытия трещин производилось микроскопом МПБ-2 с увеличением в 24 раза и ценой деления 0,05 мм.

Индикаторы И1 - И4 крепились в специальных держателях, приклеенных с помощью клея «Супер Момент» к боковым граням образцов. Прогибомеры П1, П2 и П3 устанавливались в специальные стойки, приваренные к траверсе, которая располагалась на кирпичных столбах (рис. 2).

При обработке результатов эксперимента учитывался тот факт, что механические приборы на боковых гранях образцов фиксируют не деформации соответствующего фибрового волокна, а изменение расстояния между точками опирания иглок (базы измерения), т.е. при том, что деформирование образцов происходило по дуге, приборами фиксировалось изменение длины хорды этой дуги.

Поэтому производился переход от показаний индикаторов на боковых гранях к действительной величине деформаций фибрового волокна по методике [51].

При испытаниях нагрузка прикладывалась в виде 5 сосредоточенных сил в 1/6 пролета (рис. 2). Ступени нагружения составляли 5% от расчетной

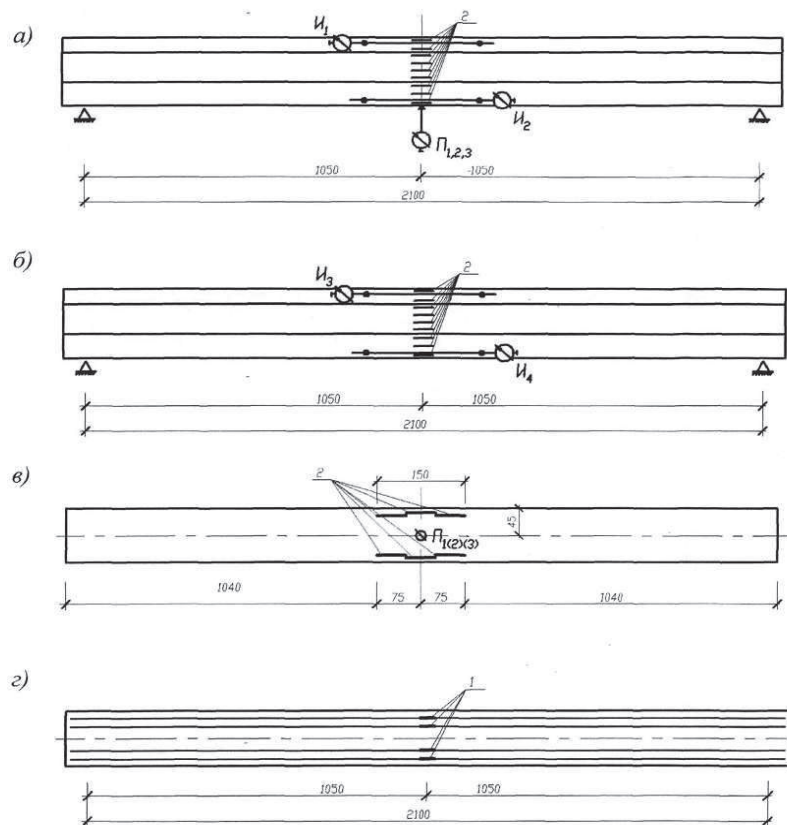


Рис. 3. Схемы расположения индикаторов и тензорезисторов: а – передняя грань; б – задняя грань; в - нижняя грань сборных элементов; г – расположение тензорезисторов на арматуре; 1 - тензорезисторы на арматуре; 2 - тензорезисторы на бетоне; И - индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм; П - прогибомеры (индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и прогибомер Аистова)

разрушающей нагрузки до образования трещин и 10% - после образования трещин. Нагрузка на каждом этапе, кроме первого, определялась арифметическими вычислениями по измеренной массе штучных грузов.

На первом этапе нагружения за величину нагрузки был принят собственный вес образцов, вычисленный по имеющимся данным об их армировании, линейных размерах и по определенной средней плотности материалов [52]. После расстановки и закрепления всех измерительных приборов промежуточные опоры были разобраны, и фиксировались значения прогибов образцов и деформаций бетона и арматуры.

После появления трещин образцы на каждой ступени нагружения выдерживались 10-15 минут, в течении которых производился осмотр поверхности образцов, фиксирование трещин с замером их высоты и ширины раскрытия в местах пересечения продольной арматуры, деформаций бетона, арматуры и прогибов образцов. Показания приборов снимались в начале и по окончании каждой ступени нагружения.

Образующиеся трещины отмечались на внешней поверхности образцов с подписью порядкового номера ступени нагружения в начале и в конце трещины. Опытный момент образования трещин в экспериментальных образцах устанавливался путем осмотра поверхности образцов с помощью лупы, а также по показаниям тензорезисторов, установленных в растянутой зоне бетона.

**Результаты исследования.** Проведенные исследования предусматривали сопоставление опытных данных деформативности, трещиностойкости и прочности образца перекрытия с результатами расчета по действующим нормам ДБН [1].

Расчет по действующим нормам [1] проводился до уровня нагрузки, составляющей 80% от максимальной.

По данным показаний тензорезисторов, наклеенных на боковых гранях элемента (рис. 3), можно говорить, как о линейном с определенной степенью допущении, характере распределения деформаций по высоте сечения (рис. 4), так и о надежности конструктивных мероприятий, примененных в монолитном перекрытии для обеспечения совместной работы составляющих бетонов на всех этапах деформирования.

Проведенный анализ полученных опытных значений деформаций, перемещений и трещин позволяет отметить, что в процессе нагружения образца четко прослеживались описываемые деформационными моделями стадии его упругого и упруго-пластического деформирования.

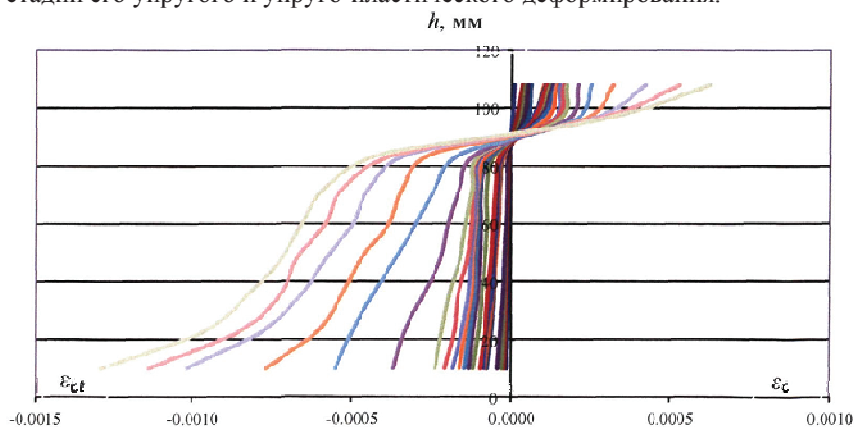


Рис.4. Характер распределения деформаций в бетоне по высоте сечения

Так как нагружение образца производилось бетонными и керамзитобетонными блоками с числом «точек» приложения нагрузки равным 5, что подтверждается характером деформирования и трещинообразования образцов.

Для оценки напряженно-деформированного состояния сечения опытного образца, находящегося в зоне чистого изгиба, строилась зависимость « $M - \epsilon_s$ » (рис.5). Критерием исчерпания несущей способности образца перекрытия явилось достижение деформаций в продольной растянутой арматуре предельных значений, как и в расчете [6].

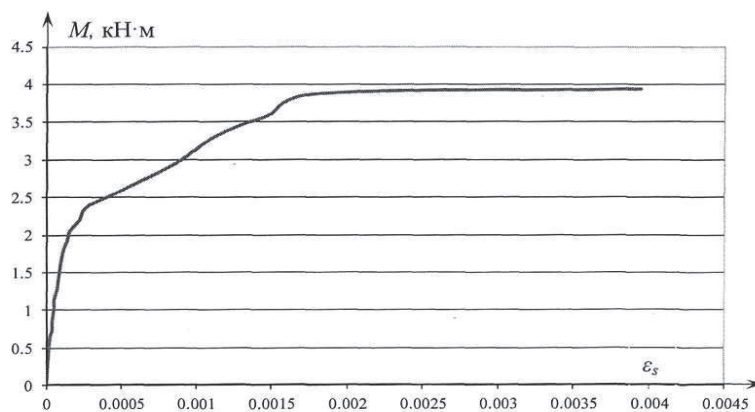


Рис. 5. Опытная зависимость « $M - \epsilon_s$ »

Несущая способность образца монолитного перекрытия (нагрузка, при которой деформации в арматуре достигают предельных значений) была определена с незначительной погрешностью по сравнению с опытными данными - на 1% (табл.1).

Таблица 1

Сравнение данных экспериментальных исследований по несущей способности с теоретическим расчетом

Тип образца	$M^{оп}$ , кН×м	ДБН В.2.6 - 2009	
		$M_d$ , кН×м	$M_d / M^{оп}$
Монолитное перекрытие	3,99	3,76	0,94

На начальных этапах нагружения (до образования трещин) деформации бетона и арматуры опытного образца нарастали практически в линейной зависимости от величины значений нагрузки, а непосредственно перед образованием трещин приборами был зафиксирован существенный прирост деформаций растянутого бетона.

В момент образования трещин наблюдалась неустойчивая картина распределения деформаций, которая в дальнейшем вновь приобретала стабильность.

После образования трещин деформации как сжатого бетона, так и растянутой арматуры (рис. 5) увеличивались нелинейно по мере приближения к исчерпанию несущей способности. В это же время происходило активное образование новых и раскрытие уже появившихся трещин с увеличением их высоты и уменьшением расстояний между ними.

Критерием исчерпания несущей способности образцов было достижение деформаций в продольной растянутой арматуре предельных значений. Величина эквивалентной равномерно распределенной нагрузки, соответствующая разрушающей и составила 9,65 кПа, при этом средние относительные деформации продольной растянутой арматуры составили  $\epsilon_{su} = 394 \times 10^{-5}$ , что соответствовало достижению напряжений в арматуре условного предела текучести арматурной стали. При нагрузке, эквивалентной разрушающей, наблюдалось существенное раскрытие трещин ( $w_k = 0,3 \dots 0,4$  мм), резкое увеличение деформаций бетона сжатой зоны и величины прогибов. На этом этапе нагружения деформации сжатой зоны бетона еще не достигли своих предельных значений, и выкол бетона не наблюдался.

При проведении экспериментальных исследований был определен характер образования и развития трещин (рис. 6), изменение расстояния между трещинами  $S_T$  и высоты трещин  $h_{cr}$  с увеличением нагрузки.

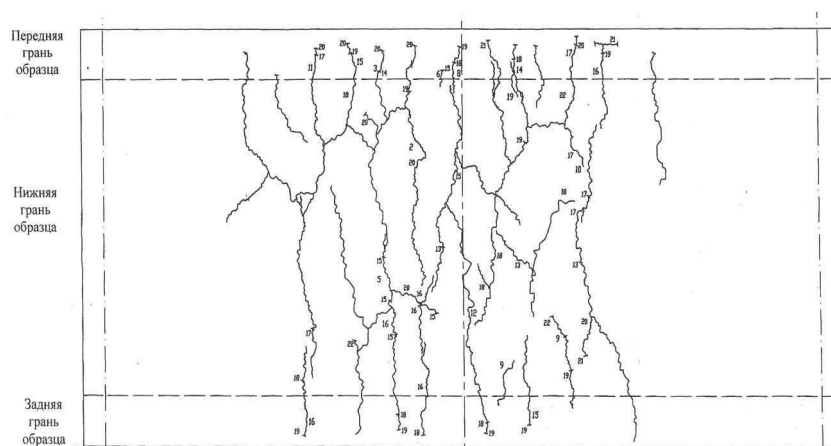


Рис. 6. Схема характерных трещин по развертке опытного образца монолитного перекрытия

Опытный момент трещинообразования фиксировался при испытаниях образцов визуально при помощи лупы и в дальнейшем уточнялся по



диаграмме «нагрузка - прогиб» (рис. 7), а также по значительному приросту деформаций бетона растянутой грани, зафиксированному тензорезисторами. На стадии нагружения, составляющего 44,7 % от максимальной нагрузки в образце монолитного перекрытия появились трещины в нормальном сечении в середине пролета образца (трещины №№ 2-20, рис. 6.). При дальнейшем нагружении в сечении образца накапливались напряжения от внешней нагрузки, вследствие чего происходило раскрытие трещин и увеличение их по высоте, образование новых трещин и их развитие. Трещины образовывались равномерно по длине образца в зоне чистого изгиба. Ширина раскрытия трещин измерялась на уровне продольной растянутой арматуры. Среднее значение расстояний между трещинами уменьшалось равномерно с каждым этапом нагружения.

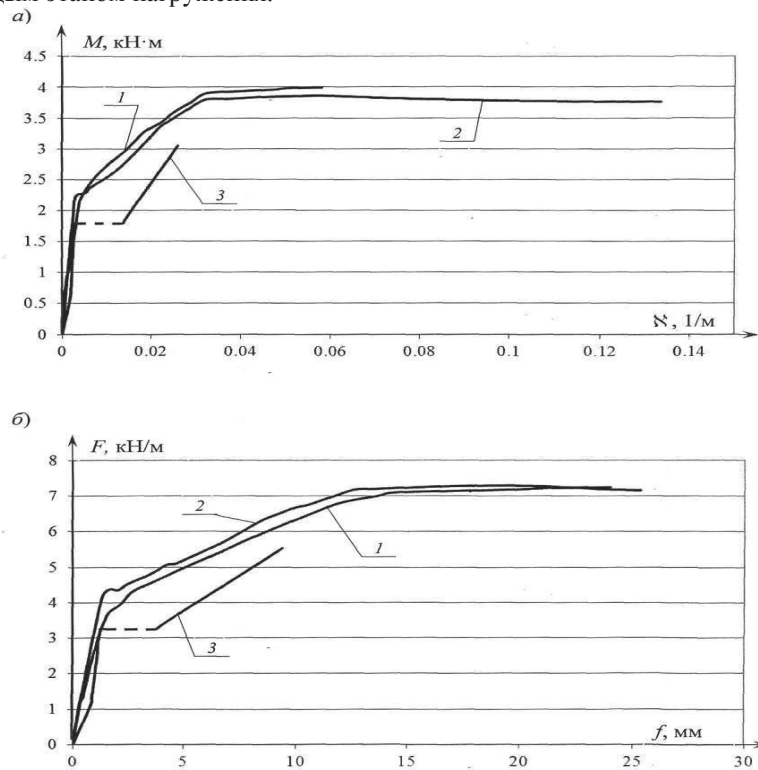


Рис. 7. Экспериментальные и теоретические зависимости для монолитного перекрытия: а - « $M - \delta$ », б - « $F - f$ »; 1 - опытные данные; 2 - расчет по методике [7]; 3 - расчет по [1,2]

При нормативной нагрузке ширина раскрытия трещин в перекрытии составила 0,125 мм что существенно меньше установленной нормами [1] предельно допустимой ширины  $w_{кр} = 0,4$  мм.

При нагрузке, эквивалентной разрушающей, ширина раскрытия трещин не превышала предельных значений и составляла 0,4 мм монолитного перекрытия.

При небольших уровнях нагружения полученные экспериментальные зависимости «М -  $\chi$ » носят практически линейный характер (рис. 7). До образования трещин на диаграмме наблюдается практически линейный участок, который непосредственно перед образованием трещин приобретает некоторую нелинейность. В момент образования трещин график переходит в нелинейный участок с меньшим углом подъема. По показаниям приборов в этот момент можно зафиксировать скачкообразный прирост кривизны.

Искривление графика связано с проявлением нелинейных свойств бетона, а также постепенным выключением из работы бетона растянутой зоны в сечениях с трещинами. На этапе, когда опытный момент составил 90% от максимального, деформации в сечениях нарастали со значительным опережением роста момента, и кривая «М -  $\chi$ » имела почти линейный характер.

По очертаниям графиков «F-f» для монолитного перекрытия видно, что ветвь диаграммы, полученной по результатам нормативных расчетов (табл.5.7), проходит почти параллельно опытной диаграмме, при этом недооценивая величину прогибов в расчетном сечении в среднем на 17%.

Таблица 2

Сравнение данных экспериментальных исследований по деформативности с теоретическими расчетами

Тип образца	$M_i / M_d$	Прогиб $f_{пл}$ , мм	ДБН В.2.6 –98:2009	
			$f$ , мм	$f / f_{пл}$
Монолитное перекрытие	0,5	1,54	2,13	1,38
	0,6	2,80	3,93	1,40
	0,7	5,30	5,73	1,08
	0,8	7,88	7,53	0,95

**Выводы:**

1. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, включающая испытания образцов монолитного перекрытия на изгиб.

2. Получены экспериментальные данные о прочности, трещиностойкости и деформативности образца монолитного перекрытия из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем и кварцевом песке.

3. В результате анализа полученных экспериментальных данных были выявлены характерные особенности напряженно-деформированного состояния, экспериментальные величины относительных продольных деформаций бетона по высоте сечения, опытные значения нагрузки трещинообразования, ширины раскрытия трещин, прогибов и величин разрушающей нагрузки.

4. Разработанная конструкция монолитного перекрытия обладает - достаточной прочностью, жесткостью и долговечностью и может быть рекомендована для применения в строительстве малоэтажных общественных и жилых зданий, а также при реконструкции.

1. ДБН В.2.6 – 98: 2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2011. – 71 с. 2. ДСТУ Б В.2.6-154:2010 "Бетонні та залізобетонні конструкції. Збірно-монолітні конструкції. Правила проектування. Київ, 2011. – 118с. 3. Кравченко С.А. Свойства керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / С.А. Кравченко, И.А. Столевич, А.И. Костюк, А.С. Столевич// Научно-технический сборник "Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди". – Рівне, 2011. – вип.21.– С. 32 - 37. 4. Бамбура А.Н. К оценке прочности железобетонных конструкций на основе деформационного подхода и реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры [Текст] / А.Н. Бамбура // Материалы 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона «Бетон на рубеже третьего тысячелетия».- Москва-9-14 сентября 2001.- том 2.- С.750-757. 5. Маилян Л.Р. Диаграммы «момент-кривизна» железобетонных изгибаемых элементов в сечении с трещинами и между ними [Текст]/ Л.Р. Маилян, М.М. Аль-Хайфи // Совершенствование проектирования и расчёта железобетонных конструкций. Ростов-на-Дону: РАГС. - 1993. - 12 с. 6. Результаты экспериментальных исследований несущей способности, трещиностойкости и деформативности сборномонолитных и монолитных перекрытий [Текст] / Г.А. Смоляго [и др.] // «Известия Юго-Западного государственного университета». – №5-2. – 2011. – С. 105–109. 7. Дронова А.В. Теоретические исследования несущей способности и деформативности сборно-монолитных изгибаемых конструкций [Электронный ресурс] / А.В. Дронова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2012. 8. Панели покрытий пониженной материалоемкости для малоэтажных зданий [Текст] / Л.А. Панченко [и др.] // Известия ВУЗов. Строительство. - 1994. -№ 9-Ю. - С. 13-18. 9. Гуца Ю.П. Расчёт деформаций конструкций на всех стадиях при кратковременном" и длительном нагружении [Текст] / Ю.П. Гуца, Л.Л. Лемыш// Бетон и железобетон,- 1985- №11- С. 13-16.