

## ДЕФОРМАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЛЕГКОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРИЧНОГО МЕСТНОГО СЖАТИЯ

**Бондарь В.В., Рак Н.А.**, канд. техн. наук, доцент (БНТУ)

**Аннотация.** Приведены основные результаты экспериментальных исследований деформаций при местном сжатии элементов из легкого бетона, в том числе армированных поперечными сетками. Выполнен анализ полученных результатов экспериментальных исследований.

### *Введение*

Экспериментальные исследования элементов с круглым, многоугольным, прямоугольным сечением из тяжелого бетона без и с применением косвенного армирования в виде сварных сеток, колец, спиралей, в условиях одно- и многоосного сжатия, проводились в странах бывшего СССР, Европе, США начиная с 1960-1970-х гг. прошлого века.

Однако анализ результатов исследований бетона при местном сжатии показал, что в большинстве исследований изучалась только прочность бетона [5]. Внимание деформациям бетона при местном сжатии было уделено лишь в отдельных исследованиях, краткое содержание которых изложено в [2].

Необходимо отметить, что указанные исследования относятся исключительно к элементам из тяжелого бетона плотностью от  $2400 \text{ кг/м}^3$  и выше.

С учетом вышесказанного, на кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» БНТУ была поставлена задача по всестороннему исследованию деформаций элементов из легкого бетона при концентричном местном сжатии с последующей разработкой расчетной модели для прогнозирования величин этих деформаций.

Часть результатов, выполненных в рамках решения поставленной задачи приведены в работе [2]. Данная статья является продолжением исследований [2] и посвящена изложению основных результатов исследований продольных деформаций элементов из легкого бетона плотностью от  $1000$  до  $2000 \text{ кг/м}^3$ , без и с применением армирования поперечными сварными сетками, в условиях концентричного местного сжатия.

### *Методика экспериментальных исследований*

Исследования проводились на призмах из керамзитобетона одного типоразмера  $300 \times 300 \times 600$  мм, 3-х различных средних плотностей  $1189 - 1230 \text{ кг/м}^3$ ,  $1607 - 1668 \text{ кг/м}^3$  и  $1737 - 1776 \text{ кг/м}^3$ , без применения армирования и с армированием поперечными сетками С-1 или С-2 (объемный процент армирования  $\rho_{xy}$  соответственно равен  $1,88 \%$  и  $3,35 \%$ ) параллельно с исследованиями прочности при местном концентричном сжатии, основные результаты которых представлены в статьях [1, 4]. Сведения об опытных образцах-призмах приведены в таблице и размеры штампы, через которые прикладывалась нагрузка, приведены в таблице.

Таблица — Основные сведения об опытных образцах при исследовании деформаций при местном сжатии

№ п/п	Марка образца	Процент армирования $\mu$ , %	Размеры образцов, мм	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Размер грани штампа, мм	Колич. шт
1	ПЗ00-18	0	300×300×600	1701-1770	30, 60, 90, 120	12
2	ПЗ00-13	0		1350-1390	30, 60, 90, 120	12
3	ПЗ00Ар1-18	1,88		1740	30, 60, 90, 120	12
4	ПЗ00Ар2-18	3,35		1607-1668	30, 60, 90, 120	12
5	ПЗ00Ар2-13	3,35		1189-1230	30, 60, 90, 120	12

Описание видов строительных материалов, а также процессов изготовления образцов-призм, а также методика испытаний приведены в статье [2]. Испытания опытных образцов производились в лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» БНТУ на прессе мощностью 5000 кН при рабочем диапазоне до 2000 кН. Общий вид испытательного стенда, схема расстановки приборов приведены на рисунке 1.

Характер образования трещин и разрушения образцов без применения и с применением косвенного армирования подробно описан в статье [2]. Однако необходимо обратить внимание на то, что процесс трещинообразования, в том числе в момент разрушения образцов различен в зависимости от наличия или отсутствия поперечного армирования (рисунок 2).

### ***Основные результаты исследований продольных деформаций образцов***

Для оценки степени концентричности приложения местной сжимающей нагрузки для каждого из образцов по значениям относительных деформаций бетона  $\varepsilon_{И9-И12}$  на противоположных гранях образцов-призм по формуле (1) были определены эксцентриситеты  $e_{1,2}$  в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, возникшие при передаче нагрузки через металлический штамп:

$$e_{1,2} = \frac{(\varepsilon_{И9(И10)} - \varepsilon_{И11(И12)}) \cdot b}{6 \cdot (\varepsilon_{И9(И10)} + \varepsilon_{И11(И12)})}, \quad (1)$$

где  $b$  – размер поперечного сечения образцов.

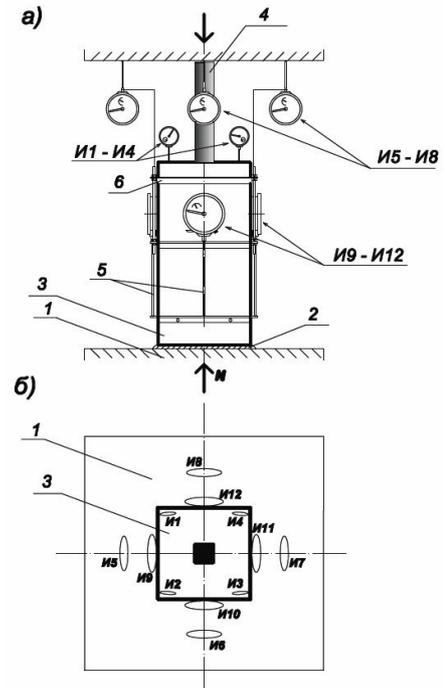


Рисунок 1 – Общий вид испытаний (слева). Схема расстановки контрольно-измерительных приборов (справа): а). – общий вид; б). - вид сверху; 1 – плита прессы, 2 - подсыпка из портландцемента, 3 – образец – призма, 4 – металлический штамп, 5 – база приборов, 6 – специально изготовленные металлические рамки для крепления приборов на образце, И1 – И12 – контрольно-измерительные приборы для замера деформаций образца, перемещений плиты прессы, И9 – И12 – для замера продольных деформаций на длине базы прибора

а).



б).



Рисунок 2 – Характер разрушения образца при передаче нагрузки через штамп сечением 90×90 мм: а) - с применением поперечного армирования; б) - без применения поперечного армирования.

Формула (1) была выведена, исходя из предпосылок о работе образцов-призм при местном сжатии в упруго-пластической стадии, с учетом того, что нормальные напряжения в крайних фибрах поперечного сечения можно определить по формуле

$$\sigma_{1,2} = -\frac{N}{A} \pm \frac{M_{\max}}{W}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{1,2}$  – нормальные напряжения в крайних фибрах поперечного сечения легкобетонного образца,  $N$  – сжимающая нагрузка (по показаниям испытательного стенда),  $A$  – площадь поперечного сечения испытываемого образца,  $M_{\max}$  – изгибающий момент, возникающий в поперечном сечении образцов при действия приложенной сжимающей нагрузки  $N$ , с учетом несовершенства передачи последней через металлический штамп;  $W$  – момент сопротивления поперечного сечения призмы.

По вычисленным значениям эксцентриситетов  $e_{1,2}$  были построены графики зависимости средних значений эксцентриситетов, возникших в процессе испытаний легкобетонных образцов при концентричном местном сжатии, от напряжений в поперечном сечении образцов-призм (рисунок 3). Из приведенных на рисунке 3 графиков следует, что несмотря на геометрически выверенное с высокой точностью концентричное приложение местной нагрузки на легкобетонные элементы, когда геометрическая ось штампа и испытываемого образца совпадают, а боковые грани металлического штампа параллельны соответствующим граням образца, при приложении нагрузки наблюдалось неравномерное распределение относительных деформаций по сечению легкобетонных элементов, выразившееся в существенных различиях значений относительных деформаций в противоположных друг другу крайних фибрах образцов-призм.

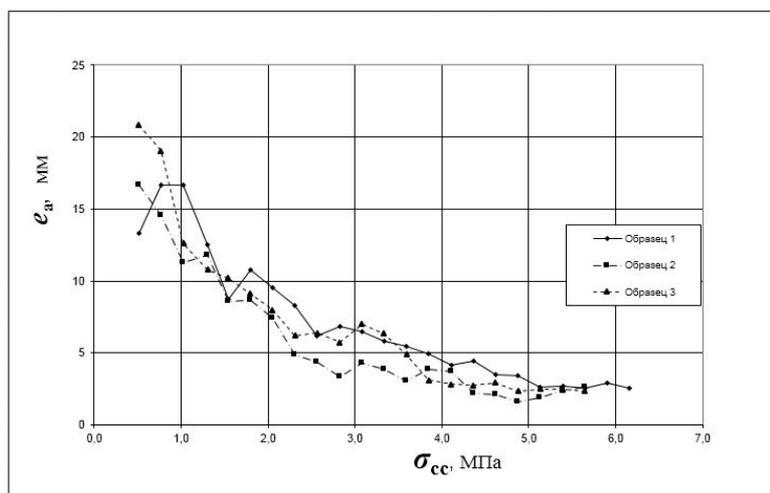


Рисунок 3 – Зависимость средних значений эксцентриситетов  $e_a$  от уровня напряжений  $\sigma_{cc}$  в поперечном сечении 3-х неармированных образцов-близнецов П300-18 при испытании их штампом с размером поперечного сечения, равным 90 мм

В соответствии с нормами [3], учет влияния неравномерности распределения напряжений по площади нагружения при местном сжатии для элементов из тяжелого бетона, как без, так и с применением косвенного армирования, производится при помощи коэффициента  $\alpha_u$ , который может быть определен по формуле

$$\alpha_u = \frac{1}{4} \left( 3 + \frac{\sigma_{0,\min}}{\sigma_{0,\max}} \right) \geq \frac{3}{4}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{0,\min}$ ,  $\sigma_{0,\max}$  – соответственно минимальные и максимальные напряжения сжатия по площади смятия.

Порядок учета неравномерности распределения напряжений и деформаций для элементов из легкого бетона, с армированием и без оно, ни в одном из действующих на территории Республики Беларусь нормативных документов не определен.

В связи с этим была выполнена проверка возможности применения формулы (3) для элементов из легкого бетона. Для этого, указанные в формуле (3) напряжения сжатия при смятии были определены из преобразований соответствующим образом формулы (2), а также с учетом полученных по формуле (1) эксцентриситетов  $e_{1,2}$ . С учетом допущений о преимущественно упругой работе легкобетонных элементов в условиях концентричного местного сжатия, формулу (3) можно преобразовать к виду:

$$\alpha_u = \frac{1 + 3 \cdot \delta_e}{1 + 6 \cdot \delta_e} \geq \frac{3}{4}, \quad (4)$$

где  $\delta_e$  – значения относительного эксцентриситета, вычисленные для поперечных размеров металлических штампов  $b$  (30, 60, 90, 120 мм) в зависимости от соответствующего абсолютного значения эксцентриситета  $e_i$  по формуле

$$\delta_e = \frac{e_i}{b}. \quad (5)$$

По результатам произведенных вычислений по формуле (4), для всех образцов были построены графики зависимости средних значений коэффициента  $\alpha_u$  от уровня относительных напряжений под штампом  $\gamma$  (рисунок 4), при различных уровнях относительного размера штампа  $\beta$  (отношение поперечного размера штампа к поперечному размеру испытываемого образца) и различных плотностях  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>).

Из графиков на рисунке 4 видно, что изменение коэффициента  $\alpha_u$  в процессе нагружения образцов носит нелинейный характер, что можно объяснить прежде всего теми процессами, которые происходят под площадкой воздействия в структуре бетона – образованием контактных микротрещин на границе зерен заполнителя и цементной матрицы, проскальзыванием зерен заполнителя при высоких уровнях относительных напряжений.

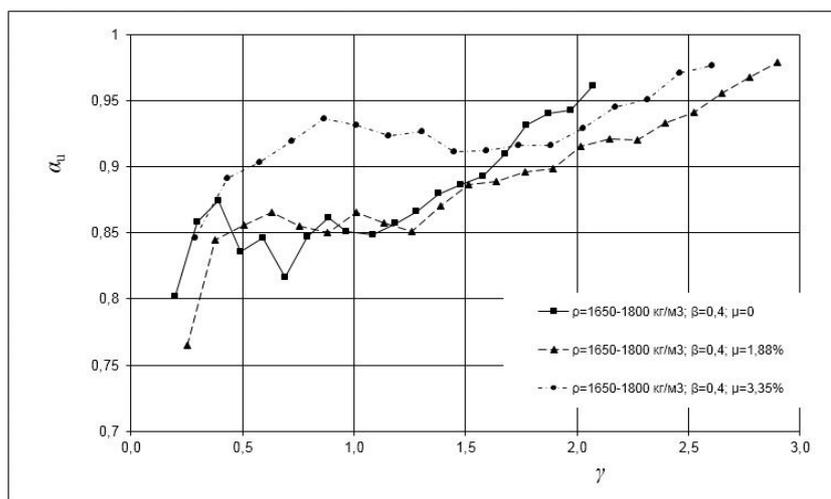


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента  $\alpha_u$ , учитывающего влияние неравномерности распределения напряжений и деформаций от уровня относительных напряжений  $\gamma$  под штампом при значениях параметра  $\beta=0,4$  (относительного размера штампа) для легкого бетона плотностью  $\rho=1650-1800 \text{ кг/м}^3$  без применения косвенного армирования ( $\mu=0$ ) и с применением косвенного армирования сварными сетками ( $\mu=1,88\%$  и  $\mu=3,35\%$ )

## Выводы.

Анализ результатов экспериментальных исследований продольных деформаций образцов из легкого бетона при местном сжатии позволил сделать следующие выводы: 1. Несмотря на геометрически выверенное с высокой точностью концентричное приложение местной нагрузки на легкобетонные элементы, когда геометрическая ось штампа и испытываемого образца совпадают, а боковые грани металлического штампа параллельны соответствующим граням образца, при приложении нагрузки наблюдалось неравномерное распределение относительных деформаций по сечению легкобетонных элементов, выразившееся в существенных различиях значений относительных деформаций в противоположных друг другу крайних фибрах образцов-призм. 2. В наибольшей степени неравномерное распределение относительных деформаций по сечению наблюдалось при уровнях напряжений до 20-25% от предельных значений, которые выдержали образцы при испытаниях. В дальнейшем, вплоть до разрушающих напряжений, неравномерность распределения деформаций снижается, что характеризуется уменьшением эксцентриситетов, возникших в плоскостях, расположенных нормально к двум соответственно противоположным граням образцов-призм. При нагрузках, значения которых составляют 85 – 98% от разрушающих, можно констатировать высокую степень концентричности приложения местной нагрузки. 3. Значения коэффициента  $\alpha_u$ , учитывающего неравномерность распределения напряжений и деформаций и определяемого по методике норм [3], для элементов из легкого бетона, как с применением косвенного армирования, так и без него, в условиях концентричного местного сжатия, при нагрузках, близких к разрушающим, на практике, в большинстве случаев могут достигать значений 0,95 и более. В связи с этим при оценке надежности расчетных моделей сопротив-

ления концентричному местному сжатию легкобетонных элементов, в том числе армированных поперечными сетками, введение коэффициента  $\alpha_u$  представляется нецелесообразным при отношении размера площадки приложения нагрузки к размеру нагружаемой плоскости элемента не менее 0,3 ( $\beta \geq 0,3$ ).

**Литература.** 1. Бондарь, В.В. Методика расчета несущей способности при местном сжатии элементов из легкого бетона, усиленных косвенным армированием / В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1(79) – С. 172-176. 2. Бондарь В.В., Рак Н.А.. Контактные деформации элементов из легкого бетона, армированных поперечными сетками, при концентричном местном сжатии // В.В. Бондарь, Н.А. Рак // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. трудов / МАиС Республика Беларусь., РУП «Институт БелНИИС»; редкол.: М.Ф. Марковский [и др.]. – Минск: Минсктипроект, 2013. – С. 27-39. 3. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции // Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2003. – 140 с. с изменениями 1...5. 4. Рак, Н.А. Методика расчета прочности при местном сжатии элементов из легкого бетона / Н.А. Рак, В.В. Бондарь // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки.– 2011.– №16 – С. 40-47. 5. Тур, В.В. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций. / В.В. Тур, Н.А. Рак Н.А. – Брест, 2003. – 252 с.