

## ПРОЧНОСТЬ СЖАТЫХ КОМПЛЕКСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ БЕТОННЫХ КАМНЕЙ

Попков Ю. В., Гринёв В. В.

**Введение.** Как показывает зарубежный опыт, в практике строительства объектов различного назначения имеют широкое распространение стеновые бетонные камни. В Республике Беларусь в последнее время наметилась тенденция все большего развития производства стеновых бетонных изделий по технологии вибропрессования. Производство таких стеновых изделий дешевле по сравнению с производством керамического кирпича. Высокие физико-механические характеристики вибропрессованного бетона позволяют выпускать пустотные камни, имеющие ряд преимуществ перед традиционными стеновыми материалами. Существенное отличие и, в определенном смысле, преимущество вибропрессованных бетонных камней состоит в том, что они могут быть изготовлены с большим процентом пустотности (до 70%). Эта особенность геометрии таких изделий позволяет создавать высокопрочную несущую конструкцию путем заполнения пустот монолитным бетоном или железобетоном. Полученная таким образом композиция представляет собой комплексную конструкцию, компоненты которой при совместном деформировании под воздействием внешней нагрузки значительно отличаются по структурным и механическим характеристикам.

**Постановка задачи.** Отсутствие достаточной опытно-экспериментальной и нормативной базы проектирования комплексных железобетонных конструкций на основе кладок из вибропрессованных пустотных камней сдерживает развитие этого направления в строительстве [1,2,4].

Цель проводимых нами исследований – разработка предложений к расчету несущей способности рассматриваемых конструкций, основанных на результатах экспериментально-теоретического изучения работы опытных образцов при центральной сжатии. Одна из задач, рассматриваемая в данной работе, состояла в изучении распределения усилий между компонентам, входящими в состав комплексного сечения [3,5].

**Результаты экспериментальных исследований и их анализ.** Экспериментальные исследования проводились на центрально сжатых образцах колонн с различным армированием, максимально приближенным к элементам натурных конструкций (табл. 1).

В образцах использовались пустотелые бетонные камни из мелкозернистого бетона. Испытания образцов, после набора прочности в естественных лабораторных условиях, проводились в возрасте не менее 28 суток в гидравлическом прессе ПР-1000 при общепринятом ступенчатом кратковременном режиме нагружения с измерением продольных и поперечных деформаций на разных стадиях работы опытных образцов (рис.1).

Для расчетов комплексных железобетонных конструкций использованы зависимости, описывающие характер деформирования составляющих материалов. Приведен анализ несущей способности образцов по трем формулам, включающим в себя аналитические зависимости для бетона: Carriera, Hognestada и зависимость из СНБ 5.03.01. В данной статье рассмотрена одна из трех формул:

$$N = A_c \cdot \left[ f_{cm} \cdot \left[ 2 \cdot \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right)^2 \right] \right] + \sigma_s \cdot A_s + \sigma_k \cdot A_k \quad (1)$$

где  $N$  – прочность сечения,  $\varepsilon_c$  – деформации образца,  $\varepsilon_{cl}$  – деформация бетона, соответствующая пиковой точке диаграммы деформирования,  $f_{cm}$  – средняя прочность бетона заполнения,  $A_c$  – площадь бетона заполнения.

Вторым слагаемым в формуле (1) является усилие, воспринимаемое сжатой арматурой (2), третьим слагаемым – усилие, воспринимаемое кладкой (3):

$$\sigma_s = \varepsilon \cdot E_s, \quad (2)$$

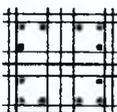
где  $E_s$  – модуль упругости стали.

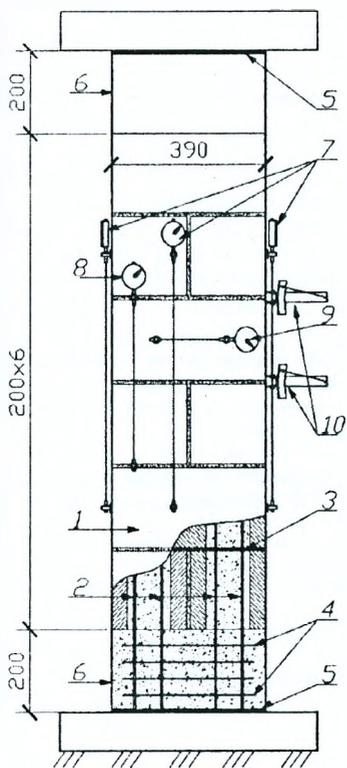
$$\sigma_k = \mu \cdot R_u \left[ 1 - e^{(-0.9 \cdot \varepsilon \cdot \alpha)} \right] \quad (3)$$

где  $R_u$  – временное сопротивление кладки;  $\alpha$  – упругая характеристика кладки;  $\mu$  – коэффициент пластичности.

Для того чтобы определить усилия в многокомпонентных конструкциях строились диаграммы по экспериментальным данным и по аналитическим зависимостям (1,2,3).

Таблица 1 – Характеристики опытных образцов

№ п/п	Схема армирования поперечных сечений образцов	Продольное армирование		Поперечное армирование	Шифр образца Средняя разрушающая нагрузка, кН
		Класс стали	% армирования		
1		---	---	---	К1
					2870
2		---	---	НПС ИЗ Ø S 500 К КЛАДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ТИПЕ	К2
					3350
3		S500	1.21		К3
					3720
		S800	1.21		К4
4		S500	3.64		3920
					К5
		S800	3.64		4500
					К6
5400					



- 1 - вибропрессованные бетонные камни;
- 2 - стержни продольного армирования;
- 3 - сварные арматурные сетки в швах кладки;
- 4 - сварные арматурные сетки монолитного оголовка;
- 5 - опорная стальная пластина толщиной 16 мм;
- 6 - железобетонный опорный оголовок;
- 7 - индикаторный тензометр с ценой деления шкалы 0.01 мм на базе 600мм для измерения деформаций поверхности бетона;
- 8 - индикаторный тензометр с ценой деления шкалы 0.01 мм на базе 400 мм для измерения деформаций продольной арматуры;
- 9 - то же с ценой деления 0.002 мм на базе 200 мм для измерения поперечных деформаций поверхности образца;
- 10 - механические рычажные тензометры с ценой деления 0.001 на базе 20 мм для измерения деформаций в зоне шва

Рисунок 1 – Конструкция опытного образца колонны и размещение тензометров при испытаниях

На рисунках (2-5) приведены графики распределения усилий в арматуре, бетоне, кладке и сравнение экспериментальной прочности образцов с расчетной, полученной по зависимости (1).

Анализ вышеприведенных диаграмм показал, что в упругой стадии работы малоармированных образцов зависимости хорошо описывают их работу.

Но результаты у образцов с большим процентом армирования превышают значения, полученные экспериментально, на 15-20% (рисунки 4,5). Ошибка заложена в предположении, что логарифмическая зависимость (3) описывает деформацию кладки из бетонных камней, однако анализ результатов показал, что при деформациях выше  $\epsilon_{\max} = \epsilon_{0.8} = 170 \times 10^{-5}$  бетонная кладка уже не воспринимает прикладываемую нагрузку, а передает ее на продольную арматуру. График деформирования кладки имеет ниспадающий участок. Целесообразно кладку из бетонных камней привести к приведенному бетонному материалу с использованием основных параметрических точек  $R_u$ ,  $\epsilon$ ,  $\epsilon_{\max}$ .

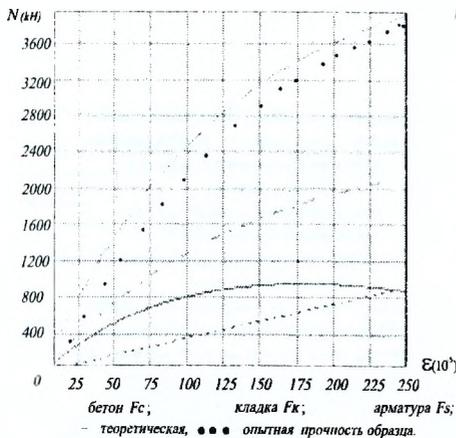


Рисунок 2 – Распределения усилий в компонентах колонн серии К3

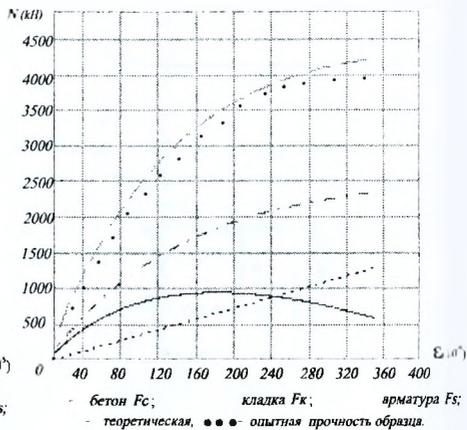


Рисунок 3 – Распределения усилий в компонентах колонн серии К4

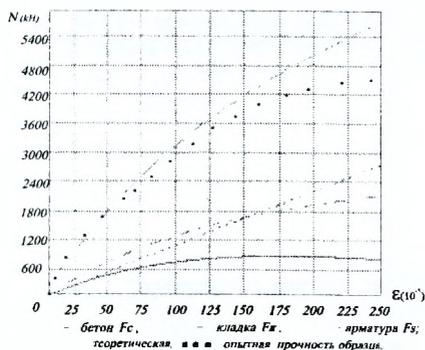


Рисунок 4 – Распределения усилий в компонентах колонн серии К5

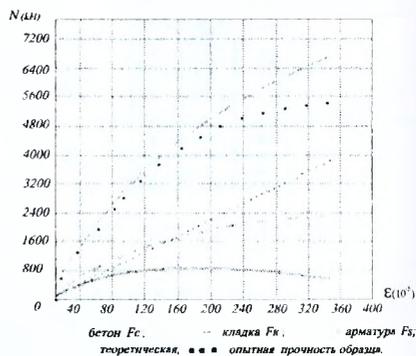


Рисунок 5 – Распределения усилий в компонентах колонн серии К6

Учитывая вышеизложенное, предлагается для расчета прочности сжатых железобетонных комплексных конструкций на основе вибропрессованных бетонных камней зависимость, преобразованную из условия равновесия (1) с учётом нисходящей ветви диаграммы деформирования бетонных компонентов и процессов перераспределения усилий при наличии высокопрочной арматурной стали в виде формулы:

$$N = A_{cmk} \cdot f_{cmk,eff} \cdot \left[ 2 \cdot \left( \begin{matrix} \varepsilon \\ \varepsilon_{cmk.1,eff} \end{matrix} \right) - \left( \begin{matrix} \varepsilon \\ \varepsilon_{cmk.1,eff} \end{matrix} \right)^2 \right] + \varepsilon \cdot E_s \cdot A_s \quad (4)$$

где  $A_{cmk}$  – площадь комплексного сечения,  $\epsilon$  – деформации, находящиеся в диапазоне значений  $0 \dots \epsilon_{cmk,1,eff}$ ,  $f_{cmk,eff}$  – приведенная прочность комплексного сечения, армированного косвенной арматурой.

Критерием исчерпания прочности, при использовании формулы (4) в расчетах на ЭВМ, служит достижение предельной деформации одного из компонентов комплексного сечения конструкции.

Из результатов сопоставления опытных и расчетных значений прочности образцов следует, что формула (4) является универсальной как для бетонных, так и для железобетонных комплексных конструкций при деформациях материалов, входящих в состав сечения, на любой стадии нагружения.

**Заключение.** На основании эксперимента и теоретических исследований выявлены особенности совместной работы материалов комплексных конструкций, состоящих из кладки бетонных камней и монолитного железобетона заполнения пустот, позволившие предложить методику расчета их прочности по деформационной модели с использованием диаграмм деформирования кладки и материалов заполнения.

#### Список цитированных источников

1. Анненков, Я.Ю. Силовое сопротивление каменных кладок на основе высокопустотных бетонных блоков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 – Самара. 2002. – 16 с.
2. Бруснецов, Г.Н. Сопоставление технического уровня отечественных и зарубежных норм проектирования и расчета каменных конструкций / Сб. Строительство и архитектура. Сер. 8. Строительные конструкции. Вып.3. – М.: ВНИИИС Госстроя СССР, 1985. – 87 с.
3. Гринев, В.В. Прочность и деформативность сжатых комплексных конструкций с использованием вибропресованных бетонных камней: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Гринев. – Новополоцк, 2007. – 130 л.
4. Пастернак, П.Л. Комплексные конструкции / П.Л. Пастернак. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – С.88.
5. Попков, Ю.В. Сжатые сборно-монолитные конструкции на основе бетонных вибропресованных пустотных камней / Ю.В. Попков, Гринев В.В. // Строительная наука и техника. – Мн., 2006. – № 4(7). – С. 52–57.

УДК 624.166.8:624.04

## ПОПЕРЕЧНОЕ АРМИРОВАНИЕ СЖАТЫХ АРМОКАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Гринев В.Д., Хаткевич А.М.

**Введение.** Строительство зданий из кирпича имеет многовековые корни и традиции. Спорить о преимуществах либо недостатках таких сооружений не имеет смысла, поскольку не найден «идеальный» строительный материал, отвечающий всей гамме предъявляемых требований. При этом невозможно оспорить те преимущества керамики, которые позволили сохранить для нас архитектурное наследие прошлых столетий: старинные особняки, церкви, соборы и т.п.

Керамический кирпич является наиболее древним искусственным строительным (и не только) материалом, полученным технологическим путем – обжигом глины. Долгую жизнь и обширную географию использования обусловили достаточная прочность керамического черепка и практически повсеместное наличие доступного исходного сырья.