

Донченко О. М., канд. техн. наук, проф.,

Дегтев И. А., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

## ДЕФОРМАЦИИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ СЖАТИИ

asi@intbel.ru

Рассмотрены вопросы дифференцированного подхода к теоретическому определению деформаций кладки при центральном силовом сжатии с учетом НДС ее составляющих материалов: кирпича и раствора.

Разработаны теоретические основы для выработки интегрального модуля деформаций каменной кладки при ее центральном силовом сжатии.

**Ключевые слова:** каменная кладка, абсолютные деформации, центральное силовое сжатие, кирпич, раствор, обмятие растворных швов.

Все возрастающие в последние десятилетия объемы строительства гражданских зданий из кирпича и легких керамзито- или ячеистобетонных камней вызывают необходимость дальнейшего развития теории и совершенствования методов расчета каменных конструкций. Особенно актуально это для определения деформаций стен многоэтажных зданий в связи с участвовавшими случаями повреждения их наружной и внутренней отделки и растрескивания соединений разнонагруженных стен.

Нормативные методы определения деформаций кладки [1,2] основаны на зависимости касательного модуля деформаций проф. Л. Онищика:

$$\bar{E} = d \sigma / d \varepsilon = E_0 (1 - \sigma / 1,1R). \quad (1)$$

Хотя качественно она хорошо отображает криволинейную физическую зависимость относительной деформации кладки  $\varepsilon$  от сжимающих напряжений  $\sigma$ , но имеет существенные недостатки, поскольку принимается, что  $\bar{E}$  изменяется от значения начального модуля упругости кладки  $E_0$  при  $\sigma=0$  до нуля, но не при разрушении  $\bar{R}$ , а при фиктивном, искусственно увеличенном на 10% сопротивлении  $\sigma=1,1\bar{R}$ , названном Л. Онищиком [1] "пластическим сопротивлением" кладки. Использование для кладок из различных видов материалов, различной прочности и пластичности постоянного значения  $1,1\bar{R}$  не соответствует действительности и у многих исследователей вызывает возражения [3-6].

Получаемая по зависимости (1) необходимая для проектирования величина относительной деформации

$$\varepsilon = \Delta \ell / \ell = 1,1 \bar{R} \ln(1 - \sigma / 1,1 \bar{R}) / E_0, \quad (2)$$

численно является равной для всех кладок, выполненных из одинаковых материалов, но различной прочности и деформативности, и имеет значительные погрешности по сравнению с опытными результатами. Несмотря на многочисленные несогласованности опытных и теоретических результатов, получаемых по зависимости (2), она по-прежнему используется в нормах проектирования [2].

Результаты многих исследований [1,3-6], в том числе проведенных и авторами, убедительно свидетельствуют о том, что абсолютные деформации кладки  $\Delta \ell$  состоят из нескольких составляющих: отдельных рядов камня  $\Delta \ell_k$ , растворных швов  $\Delta \ell_p$  и обмятия контактных прослоек между камнем и раствором  $\Delta \ell_0$ . При этом деформирование различных видов кирпича и камней до исчерпания сопротивления кладки практически носит упругий характер, поскольку нормальные напряжения сжатия в них не превышают

30-60% предела прочности при их стандартных испытаниях на сжатие. Деформации различных видов кладочных растворов имеют явно упругопластический характер, в большей мере приближающийся к сложному трехосному пространственному состоянию сжатия, в результате чего раствор в горизонтальных швах достигает значительно большей прочности, чем при стандартных испытаниях в кубиках с ребром 7,07 см.

Деформации обмятия контактных прослоек раствора, являющиеся следствием его существенной неоднородности и неравномерности укладки в горизонтальных швах по длине кирпича и отсоса из него последним влаги, носят явно пластический характер, зависящий от уровня нагружения. Поэтому переменный секционный модуль деформаций кладки  $E'$  имеет интегральный характер и зависит от деформаций материалов и количества их слоев. При

этом, наиболее значительной составляющей этих деформаций (70-75%) являются контактные обмятия раствора камнем. И чем меньше высота кирпича или камня, чем больше в кладке горизонтальных швов, тем деформации её больше. Абсолютные деформации кирпича, как показывают опыты, в зависимости от его высо-

$$\Delta\ell = \frac{n_k h_k \sigma}{E_0^k (1 - \lambda_k \theta_k \sigma / R_k)} + \frac{n_p h_p \sigma}{E_0^p (1 - \lambda_p \theta_p \sigma / R_p)} + mn_p (\sigma / R_p)^2. \quad (3)$$

Здесь показатели:  $n$ ,  $h$ ,  $R$ ,  $E$ ,  $\lambda$  и  $\theta$  обозначают, соответственно, количество рядов и высоту, расчетное сопротивление и начальный модуль деформаций, коэффициенты пластичности и сложного пространственного НДС материала. При этом, с индексом «к» - для кирпича, а с индексом «р» - для раствора. Показатель "m" обозначает коэффициент обмятия горизонтального растворного шва при напряжении в  $1,0 \text{ кг/см}^2$  и для кирпичной кладки на сложных растворах равен 0,01.

Коэффициент пластичности материалов получен на основании энергетических принципов как отношение работы, затраченной на пластическое деформирование, к общей работе, пошедшей на разрушение материала при центральном сжатии. Для кирпича он равен

$$\lambda_k = 1 / (2,5 + 0,05 R_k), \quad (4)$$

Для раствора коэффициент пластичности

$$\lambda_p = 1 / (1,075 + 0,00075 R_p). \quad (5)$$

Коэффициент сложного пространственного НДС материала  $\theta$  на основании обработки результатов опытов принят нами для камня, изгибаемого и сжимаемого в кладке в вертикальном направлении и растягиваемого в поперечных направлениях более деформативным раствором, увеличенным относительно одноосного сжатия и равным 1,667, а для раствора, находящегося в условиях трехстороннего сжатия, уменьшенным и равным 0,333.

Для установления качественного соответствия и количественной оценки степени точности разработанного теоретического решения и аналитических зависимостей были проведены соответствующие машинные вычисления (численные эксперименты) абсолютных деформаций коротких образцов центрально сжатой кладки в диапазоне широкого изменения проч-

$$\Delta\ell = \frac{13 \cdot 6,5 \cdot 29}{63000(1 - 0,1 \cdot 1,667 \cdot 29 / 150)} + \frac{12 \cdot 1,3 \cdot 29}{25000(1 - 0,90 \cdot 0,333 \cdot 29 / 22)} + 0,01 \cdot 12 \cdot (29 / 22)^2 =$$

$$= 0,0402 + 0,0299 + 0,2085 = 0,2786 \text{ см} = 2,79 \text{ мм},$$

что совпадает с результатами опытов С. А. Семенцова, но существенно отличается от величины абсолютной деформации в 1,87мм, получаемой по (2).

ты находятся в пределах 9-12%, а раствора- 13-16% от общей величины деформаций кладки.

Вышеизложенное позволяет представить абсолютную деформацию кладки при центральном сжатии нашей разработанной зависимостью:

ности камня (от М 50 до М 300) и раствора (от М 25 до М 200) в сопоставлении с данными опытов различных исследований [1,3-6] и результатами, получаемыми по [3]. Установлено, что разработанное решение дает качественно более правильные и количественно более точные результаты во всем диапазоне изменения прочностных свойств исследованных материалов.

В отличие от зависимости (1) разработанный аналитический аппарат дает дифференцированную оценку деформациям кладки в зависимости от вида, количества рядов, размеров и деформативно-прочностных свойств камня и раствора. Его использование в проектной практике позволит избежать многочисленных ошибок и повреждений отделки и стен зданий.

Точность разработанного решения может проиллюстрирована на примере опытного образца кладки из исследований С.А.Семенцова [4]. Так, для кладки поперечным сечением 38x38 см и высотой 100 см из глиняного кирпича марки М 150 на сложном растворе прочностью на сжатие  $22 \text{ кг/см}^2$  при напряжении  $\sigma = 29 \text{ кг/см}^2$  (0,9 прочности кладки) С.А.Семенцовым были установлены следующие значения абсолютных деформаций материалов: 0,4 мм для 13 рядов кирпича высотой по 65 мм; 0,3 мм для 12 рядов собственно раствора горизонтальных швов толщиной по 13мм и 2,1мм обмятия 12 растворных швов при общей абсолютной деформации образца 2,8 мм.

Используя опытные значения начальных модулей деформаций: кирпича  $E_0^k = 63000 \text{ кг/см}^2$  и раствора  $E_0^p = 25000 \text{ кг/см}^2$ , нетрудно убедиться в точности нашей зависимости (3):

## ВЫВОДЫ

1. Основанное на наиболее достоверных физических и строгих предпосылках разработанное теоретическое определение абсолютных

деформаций центрально сжатой кладки при кратковременном нагружении является наиболее общим и точным для коротких каменных элементов в широком диапазоне изменения прочностных свойств материалов - камня и раствора.

2. Аналитические зависимости разработанного теоретического решения являются несложными, в связи с чем могут быть рекомендованы для использования в проектной практике.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищик Л.И. Каменные конструкции. Стройиздат. 1939. 208 с.
2. СНиП П-22-81. "Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования", Госстрой России, М., 1999. – 39 с.
3. Поляков С.В. Длительное сжатие кирпичной кладки. Госстройиздат. М., 1959. 183 с.
4. Семенцов С.А. Некоторые вопросы прочности и проектирования крупнопанельных и каменных конструкций. М., 1969. С. 4-5.
5. Донченко О.М. Дегтев И.А. К развитию теории трещиностойкости и сопротивления кладки при сжатии // Известия вузов. Строительство и архитектура. №10. 2000. С.16-20.
6. Дегтев И.А., Донченко О.М. Экспериментальные исследования деформирования и сопротивления кладки из силикатного кирпича на различных растворах при центральном сжатии // Строительные конструкции и инженерные сооружения. 1982. С. 3-11.