

УДК 692.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ФРАГМЕНТА КАМЕННОЙ КЛАДКИ

*Фаттахова А.И., студент 4 курса института строительства  
Научный руководитель – Соколов. Б.С., доктор технических наук,  
профессор*

*ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-  
строительный университет»*

**Ключевые слова:** *каменная кладка, разрушающая нагрузка, отечественные и зарубежные нормы*

*Целью исследования служит напряжённо-деформированное состояние фрагмента кирпичной кладки – его конечно-элементной модели. По результатам расчетов предложены рекомендации по эффективному конструированию каменной кладки.*

В ходе работы были решены следующие задачи:

- Разработана информационная схема численного эксперимента;
- Создана компьютерная модель образцов;
- Выполнен расчет и определена разрушающая нагрузка;
- В работе была определена предельно-допустимая нагрузка по российским и зарубежным нормам проектирования, а также теории сопротивления анизотропных материалов на сжатие проф. Соколова Б.С.

Компьютерная модель размерами 250x250x500мм была построена в ПК «ЛИРА-САПР» из КЭ размерами 10мм<sup>3</sup>. Диаграмма деформирования задана согласно формулам пособия [2] и факторам, связанным со сжатием, приведенным в статьях Кабанцева Д.Г. [8-10].

По СП [1] была предварительно определена разрушающая нагрузка. Образцы поэтапно загружались с увеличением нагрузки на десятую часть предварительно определенной, с доведением их до виртуально-

го разрушения. Образец считался разрушенным при достижении в элементе напряжения  $R_u$ ; или превышения допустимых деформаций.

Программа численных исследований и результатов расчетов представлена в табл. 1.

Наибольшее значение  $R_u$  получено Вариации 1, при максимальном пределе прочности кирпича и раствора. Минимальное - в Вариации 2, где кирпич и раствор имеют наименьшие несущей способностью.

Значения  $R_u$  по СП [1] и вычисленные согласно разрушающей нагрузке отличаются на 5-7%. Значения указанные в нормах являются средними и были получены путем многократных опытов.

Таблица 1

Образец (марка кирп./р-ра)	Характеристики, МПа						$N_{\text{ult}}$ кН	$R_u$ МПа	$R_{u(\text{факт})}$ МПа
	$R_k$	$R_{kp}$	$E_k$	$R_p$	$R_{pp}$	$E_k$			
Базовый М150/М50	15	1,5	2800	5,0	0,5	$6 \cdot 10^3$	111,34	1,8	1,891
Вариант 1 М200/М100	20	2,0	3000	10,0	1,0	$12 \cdot 10^3$	174,16	2,7	2,926
Вариант 2 М100/М25	10	1,0	2600	2,5	0,25	$4 \cdot 10^3$	85,29	1,3	1,238
Вариант 3 М200/М25	20	2,0	3000	2,5	0,25	$4 \cdot 10^3$	118,63	1,8	1,993
Вариант 4 М100/М100	10	1,0	2600	10,0	1,0	$12 \cdot 10^3$	97,42	1,8	1,701

*Примечание:*  $R_k/R_{kp}$  - предел прочности кирпича на сжатие/растяжение,  $E_k/E_p$  - модуль деформации кирпича/раствора,  $R_p/R_{pp}$  - предел прочности раствора на сжатие/растяжение раствора,  $N_{\text{ult}}$  - разрушающая нагрузка,  $R_u$  - предел прочности кладки на сжатие по СП [1],  $R_{u(\text{факт})}$  - предел прочности кладки на сжатие по эксперименту.

$R_u$  базового образца, образцов Вариаций 3 и 4 отличаются, несмотря на одинаковый предел прочности на сжатие. Предел прочности согласно табл. 2 [1] равен 1,8МПа, разрушающая нагрузка базового образца равна 111,34кН, у образцов 3 и 4 вариаций соответственно 118,63кН

и 97,42кН. По характеру разрушения можно заметить, что определяющим фактором разрушения стал предел прочности на растяжение кладки (см. табл. 1).

Сделан вывод, что лучше подбирать марку кирпича и марку раствора с близким модулем деформации, в этом случае кладка имеет большую несущую способность.

Были определены предельно-допустимые нагрузки по российским и зарубежным нормам проектирования, а также по теории сопротивления анизотропных материалов по сжатию проф. Соколова Б.С.

Для удобства представления информации полученный результат сведен в табл.2

Таблица 2

Рассматриваемый фактор	Базовый образец	СП 15.13330.2012	Еврокод 6. EN 1996-3:2006	A165 Series-14 – CSA (Канада)	BS 5628-3:2005 (Британия)	TMS 602 (США)	Теор. сопр анизотропн матер
$R_b$ , МПа	1,8	1,8	1,75	1,8	1,8	1,85	1,8
$R_{bt}$ , МПа	0,18	0,18	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18
$E$ , МПа	2800	2800	2800	2750	2750	2784	2800
K	1	0,9	0,84	0,895	0,98	0,95	1
$N_{ult}$ , кН	111,34	101,25	91,875	100,683	110,57	109,741	112,116
Примечание: $R_b/R_{bt}$ - расчетное сопротивление кладки сжатию/растяжению, $E$ - модуль деформации, $N_{ult}$ - предельно-допустимая нагрузка, K - коэффициенты, учитываемые в формулах.							

Разрушающая нагрузка базового образца сравнивалась с полученной по российским, канадским, американским, британским нормам и теории сопротивления анизотропных материалов проф. Соколова Б.С.

Наиболее точное значение предельно-допустимой нагрузки получено при использовании теории сопротивления анизотропных материалов по сжатию проф. Соколова Б.С. Кроме того, данная теория учитывает характер разрушения образца.

В нормах значения предельно-допустимой нагрузки занижены коэффициентами безопасности. Наибольший запас предусмотрен Еврокодом. Наиболее близкое значение к расчетному среди норм проектирования получено по Американским нормам (коэффициент безопасности минимален).

### *Библиографический список*

1. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция. СП 15.13330.2012
2. СНиП II-22-81. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций.
3. Еврокод 6. EN 1996-3:2006 Проектирование кирпичных конструкций. Часть 3. Упрощенные методы расчета для неармированных кирпичных конструкций.
4. A165 Series-14 – CSA Нормы проектирования кирпичной и каменной кладки».
5. BS 5628-3:2005 Строительный кодекс. Требования к каменным конструкциям.
6. TMS 602 Строительный кодекс. Особенности проектирования каменных конструкций.
7. Соколова, Б.С. Теория сопротивления анизотропных материалов по сжатию проф.
8. Кабанцев, О.В. статья «Частные критерии прочности каменной кладки для анализа упруго-пластического деформирования».
9. Кабанцев, О.В. статья «Деформационные свойства каменной кладки как разномодульной кусочно-однородной среды».
10. Копаница, Д.Г. Экспериментальные исследования фрагментов каменной кладки на действие статической и динамической нагрузки / Д.Г. Копаница, О.В. Кабанцев, Э.С. Усеинов

## INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE OF A COMPUTER MODEL OF A FRAGMENT OF MASONRY

*Fattakhova A.I.*

**Key words:** *masonry, breaking load, otecel-governmental and international norms*

*The aim of the study is the stress-strain state of a piece of masonry – its finite element model. According to the results of the calculation of proposed recommendations for effective design of masonry.*