

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КИРПИЧНЫХ СТЕН КОМПЛЕКСНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Якушев Д.И. (Украина, Одесса, Одесская государственная академия строительства и архитектуры.)

**Розглянути питання моделювання роботи цегляної кладки стін комплексної конструкції із залізобетонними сердечниками та антисейсмічними поясами з використанням пластинчато-стержневих моделей в програмах, які реалізують розрахунки методом кінцевих елементів.**

Общепринятым подходом при моделировании кирпичных зданий в программах, реализующих метод конечных элементов, является использование пространственной комбинированной пластинчато-стержневой расчетной схемы, с соблюдением геометрического подобия сечений и элементов, с заданием соответствующих характеристик материалов, как-то: модуль упругости, коэффициент Пуассона (модули упругости, коэффициенты Пуассона и модуль сдвига для анизотропных материалов), объемный вес. Значительно реже применяются расчетные схемы с использованием объемных элементов. В качестве результатов расчета при проектировании элементов стен из кладки, используют мембранные составляющие напряжений в пластинах или нормальные напряжения в объемных элементах, моделирующих стены здания. Моменты от опирания перекрытий с эксцентриситетом, изменения толщины стен и от ветровой нагрузки учитываются отдельно и добавляются к полученным мембранным составляющим напряжений в соответствии с правилами, изложенными в СНиП II-22-81\* «Каменные и армокаменные конструкции» и «Пособии по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81)»[4].

Рассмотрим самонесущую стену здания, размерами 12x18(3x6) м, толщиной 0,5 м из кладки кирпичом пластического прессования М-100 на цементно-песчаном растворе М-50. Вычисленные в соответствии с [1] и принятые в расчетной схеме значения:

- расчетное сопротивление кладки сжатию  $R=152.9 \text{ т/м}^2$ ;
- упругая характеристика кладки  $\alpha=1000$ ;
- начальный модуль деформации  $E_0=305810 \text{ т/м}^3$ ;
- коэффициент Пуассона  $\mu=0.25$ .

Принятое значение объемного веса кладки-  $1,8 \text{ т/м}^3$ . Стена рассчитана в программном комплексе «SCAD» на действие нагрузок от собственного веса, в плоской постановке. Опирание стены понизу- жесткое. (Схема1). Результаты расчета (изополя нормальных вертикальных напряжений) представлены на рисунке 1.

Введение в расчетную схему элементов монолитных железобетонных поясов из бетона класса В-25, с размерами сечения 20x50 см, в уровнях предполагаемых перекрытий практически не влияет на характер и величины напряжений. В расчете не учитывался вес этих элементов. (Схема2). Изополя вычисленных вертикальных напряжений представлены на рис.2. Принятые значения модуля упругости бетонных элементов  $E=3,06 \times 10^6 \text{ т/м}^3$ , коэффициент Пуассона  $\mu=0.2$ .

Введение в расчетную схему 2 стержневых элементов, моделирующих железобетонные сердечники, выполненные в кладке, размерами 35x35 см, из бетона класса В-25, по краям и в центральной части стены (в местах предполагаемого сопряжения с другими стенами здания, в соответствии с требованиями [3], п.3.10.1, с параметрами материала аналогично схеме 2, без учета собственного веса бетонных элементов, вносит серьезные изменения в картину распределения вертикальных напряжений в кирпичной стене. Изополя вычисленных вертикальных напряжений представлены на рис.3. Введение в конструкцию

элементов повышенной, относительно материала кладки, жесткости приводит к значительному перераспределению напряжений в кладке. Также, для схемы 3 наблюдается возникновение растягивающих напряжений, т.н. эффект «зависания». Для уточнения работы материала кладки произведем расчет конструкции стены с железобетонными элементами поясов и сердечников в геометрически нелинейной постановке, с отслеживанием истории загрузки (поэтапный учет собственного веса, в соответствии с процессом возведения стены) и введением односторонних связей, моделирующих контакт железобетонных поясов и кирпичной кладки, отключающихся при возникновении вертикальных растягивающих напряжений (Схема 4). Изополя вычисленных вертикальных напряжений представлены на рис.4.

Рассмотрим эпюры напряжений вдоль секущей, расположенной, произвольно, на 1.5 м выше низа заземленной грани стены для расчетных схем 2, 3 и 4 (размер сетки конечных элементов во всех схемах 0.5x0.5м).<sup>1</sup>

*1. Рассмотрение сечения расположенного на этом уровне позволяет оперировать большими значениями напряжений, с одной стороны, и не рассматривать зоны возмущений, приуроченные к идеализированной жестко заземленной нижней грани конструкции.*

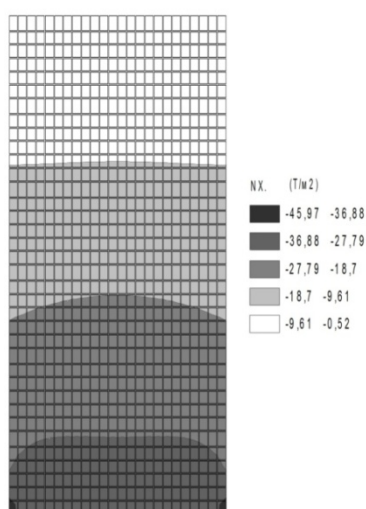


Рис.1. Напряжения  $N_x$ . Схема 1.

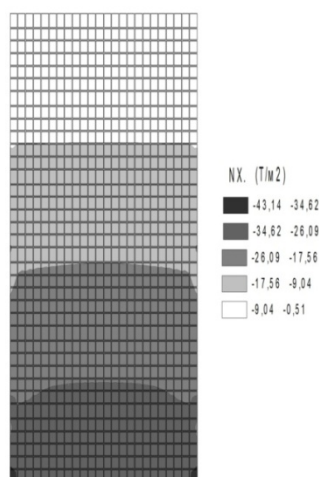


Рис.2. Напряжения  $N_x$ .  
Схема 2.

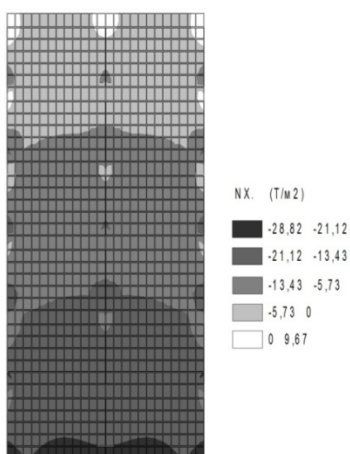


Рис.3. Напряжения  $N_x$ . Схема 3

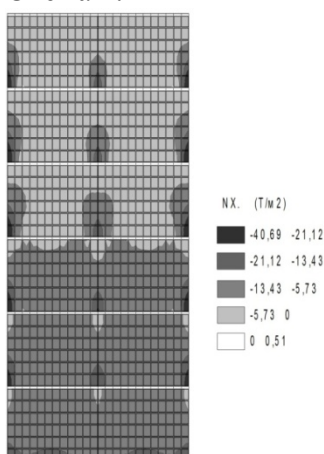


Рис.4. Напряжения  $N_x$ .  
Схема 4.

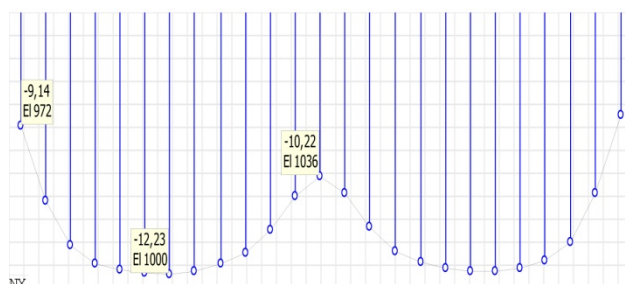
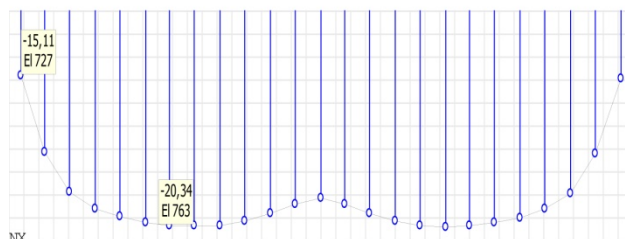
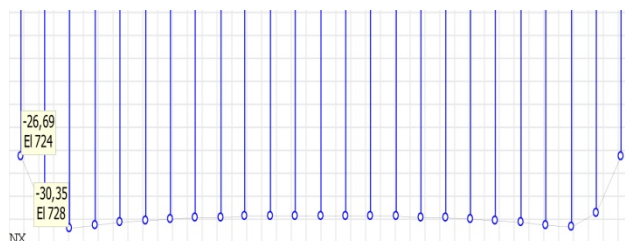


Рис.5. Эпюры напряжений вдоль секции  $N_x$ ,  $t/m^2$ .  
Сверху-вниз: схема 2, схема 3, схема 4.

Для схемы 3 величины вертикальных напряжений в кладке оказываются существенно ниже, чем для схемы 2, что объясняется включением в работу жестких вертикальных железобетонных сердечников. Однако существенная разница полученных значений для схем 3 и 4 ставит вопрос о корректности моделирования совместной работы кладки и железобетонных элементов в линейной постановке. Для сравнения, на рисунке 6 представлены эпюры вычисленных продольных усилий в железобетонных сердечниках для схем 3,4. Для удобства анализа некоторые значения параметров, полученных по результатам расчета, представлены в таблице 1.

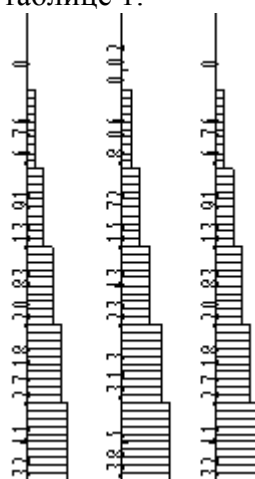


Таблица 1

№ расчетной схемы	Максимальное вертикальное сжимающее напряжение в кладке $\sigma_x$		Максимальное вертикальное сжимающее напряжение в кладке в расчетном сечении $\sigma_x$		Минимальное вертикальное сжимающее напряжение в кладке в расчетном сечении $\sigma_x$		Максимальная продольная сжимающая сила в железобетонном элементе сердечника $N_x$		Максимальное значение деформации в вертикальной плоскости,		Время выполнения расчета	
	Тс/м <sup>2</sup>	%	Тс/м <sup>2</sup>	%	Тс/м <sup>2</sup>	%	Тс/м <sup>2</sup>	%	мм	%	мин	%
1	-45,97	100	-30,54	100	-28,18	100	----	----	-0,95	94	0,12	100
2	-43,14	94	-30,35	99	-26,69	95	----	----	-0,93	92	0,12	100
3	-28,82	63	-20,34	67	-15,11	54	-21,76	56	-0,61	60	0,15	125
4	-40,69	89	-12,33	40	-9,14	32	-38,50	100	-1,01	100	2,30	1917

### **Выводы**

- Результаты расчетов по схемам, в которых моделирование кирпичных стен комплексной конструкции с железобетонными элементами в виде сердечников выполнено пластинами и стержневыми элементами в линейной постановке, не являются достоверными и требуют уточнения, особенно, в части определения расчетных продольных усилий в сердечниках.
- Введение в конструкцию кирпичной кладки с антисейсмическими поясами вертикальных элементов с повышенной жесткостью приводит к значительному снижению вертикальных напряжений в кладке, что, с одной стороны, приводит к недоиспользованию несущей способности материала, а с другой стороны, ухудшает работу кирпичной стены в условиях, например, внецентренного сжатия.
- Отмеченные эффекты будут проявляться еще в большей степени при учете свойств ползучести материалов кладки и сердечников. Моделирование работы кирпичных стен комбинированной конструкций в геометрически нелинейной постановке накладывает свои ограничения, как-то: значительная трудоемкость при создании расчетных схем, значительное увеличение времени расчета (см. табл.1) и вопросы моделирования истории нагружений. Учет очередности и этапов приложения: полезных нагрузок, ветрового воздействия и т.п. требует задания истории нагружений, которая, в свою очередь, существенно влияет на результаты расчета, являясь, при этом, субъективной оценкой человека, формирующего расчетную схему.

### **SUMMARY**

**Described the modeling of behavior of the brick-walling in integrated constructions with reinforced cores and aseismic bonds ,with application of plate-and-rod element models in programs ,realizing the calculations by strip-finite element method.**

### *Литература*

1. СНиП II-22-81\*. Каменные и армокаменные конструкции. - М.: Стройиздат, 1983г.
2. ПОСОБИЕ по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81).- М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1987 .  
ДБН В.1.1-12:2006. Строительство в сейсмических районах Украины. Киев-2006.