

Расчет и проектирование строительных конструкций

УДК 699.841

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ОДНОЭТАЖНОЙ ПОСТРОЙКИ С ВНУТРЕННЕЙ
ПЕРЕГОРОДКОЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОЙ ОТТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ
ПО ВЕРХНЕМУ ПОЯСУ СТРОЕНИЯ**

С.Ж. РАЗЗАКОВ, к.т.н., доцент

Наманганский инженерно-педагогический институт, Узбекистан

160103, Узбекистан, г. Наманган, проспект Дустлик, № 12.

E-mail: sobirjonrsj@gmail.com

Исследуется напряженно-деформированное состояние одноэтажного кирпичного строения с внутренней перегородкой при статической оттягивающей нагрузке в уровне перекрытия, а также влияние на прочность наличия деревянного каркаса в несущих стенах конструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деревянный каркас, упругость, напряжение, деформирование, оттягивающая статическая нагрузка.

Нормативная литература по сейсмостойкому строительству исключает возможность применения глины и необожженного кирпича при возведении зданий и сооружений в сейсмически опасных районах. Однако, доступность, дешевизна и экологичность глины делают ее незаменимой в индивидуальном строительстве. Поэтому теоретическое обоснование возможности применения местных глиноматериалов при строительстве небольших, простых по форме индивидуальных домов, с усилением несущих стен каркасом или включением в них отходов текстильного производства представляется актуальным.

С этой целью автор исследует напряженное состояние глинобитных домов, используя в расчете физико-механические параметры материала кладки, полученные на основе натуральных экспериментов. Строения представляются коробчатыми моделями, в плоско напряженных несущих стенах которых имеются оконные и дверные проемы. Исследовано два варианта строения: с деревянным каркасом в несущих стенах и без него. Каркас представлен вертикальными стойками, расположенными по бокам проемов, и с регулярным шагом по периметру стен. Основание коробки заземлено. Изгиб пластин и элементов каркаса из плоскости стен не рассматривается. Возможность такого подхода обоснована в теоретических исследованиях статики и динамики [1, 2] коробчатой структуры, образуемой вертикальными панелями, а также экспериментальной работой [3], где также показана незначительная доля изгибных напряжений.

Расчет коробчатого строения производится численно с применением плоских прямоугольных (для участков стен) и стержневых (для каркаса) конечных элементов [4]. Именно такое разбиение удобно для прямоугольных панелей, составляющих модель сооружения. Прямоугольный элемент имеет по две степени свободы в каждом узле, а функции перемещений внутри элемента линейны:

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy, \\ v &= \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 xy. \end{aligned} \quad (1)$$

В этом случае совместность деформаций между элементами соблюдается полностью.

Если стены усилены каркасом, то на сетку из образующих ее прямо-

угольных конечных элементов накладывается сетка, состоящая из балочных элементов с соответствующей площадью поперечного сечения, работающих на растяжение-сжатие. Функция перемещений для такого элемента – линейна:

$$u = \beta_1 + \beta_2 x \quad (2)$$

и совместность деформаций между элементами также полностью соблюдается.

В результате применения процедуры МКЭ статическая задача о напряженно-деформированном состоянии рассматриваемой модели сводится к системе линейных алгебраических уравнений:

$$[K]\{x\} = \{P\}, \quad (3)$$

где $[K]$ – матрица жесткости всей системы; $\{P\}$ – приведенная к узлам горизонтальная нагрузка на высоте перекрытия. Система алгебраических уравнений (3) относительно неизвестных узловых перемещений $\{x\}$ решается методом Гаусса. По полученным перемещениям определяются деформации (с использованием уравнений Коши), после чего (по закону Гука) – напряжения в каждом элементе. Полученные напряжения в каждом элементе сравниваются с расчетными, на основании чего делается вывод о прочности конструкции.

Рассматриваемое одноэтажное строение с внутренней перегородкой, состоит из двух комнат. Стены выполнены из кирпича с модулем упругости кладки $E = 300 \text{ МПа}$. Вес покрытия составляет 52 кН. Расчетная модель строения – пространственная коробка с перегородкой (рис.1). Для расчета используется метод конечных элементов (МКЭ). Цель исследования – определить влияние каркаса на напряженно-деформированное состояние здания при распределенной статической нагрузке (рис.1а). На рис.1, а показана модель строения без каркаса, а на рис.1б – с каркасом. Каркас установлен с шагом 1 м по всему периметру внешних стен и во внутренней перегородке. Для каркаса используются круглые бревна диаметром $\varnothing 12 \text{ см}$.

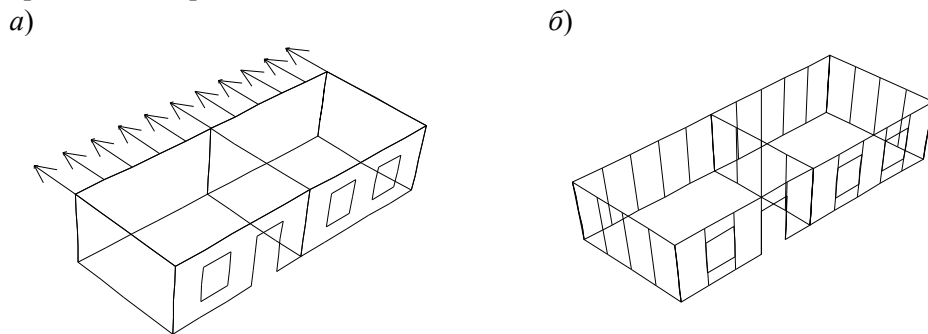


Рис. 1. Модели одноэтажного строения с внутренней перегородкой: без каркаса (а) и с каркасом (б)

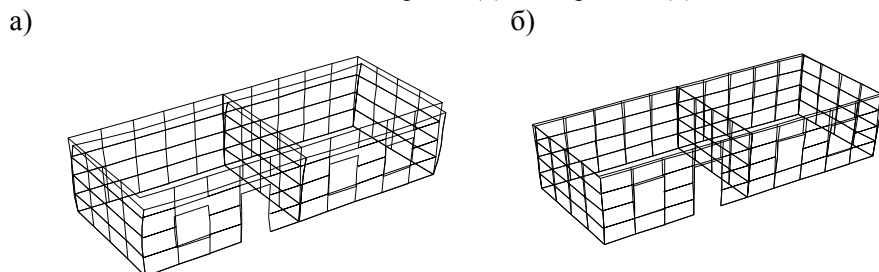


Рис. 2. Деформированное состояние одноэтажной постройки: без каркаса (а) и с каркасом (б) при оттягивающей статической нагрузке

Полученная в результате расчета деформация постройки с несущими стенами без каркаса и с каркасом при заданной оттягивающей нагрузке в одинаковом масштабе (1:1000) показана на рис.2.

Применение одинакового масштаба позволяет наглядно оценить влияние каркаса на деформацию постройки при статической горизонтальной нагрузке в поперечном направлении. Наличие каркаса значительно уменьшает деформацию исследуемого здания. Кроме того, изменяется и характер перемещений стен. Полученные эпюры горизонтальных перемещений стен без каркаса и с деревянным каркасом приведены на рис. 3.

a) $u_{\max} = 2,2e^{-4}$ м

б) $u_{\max} = 1,27e^{-4}$ м

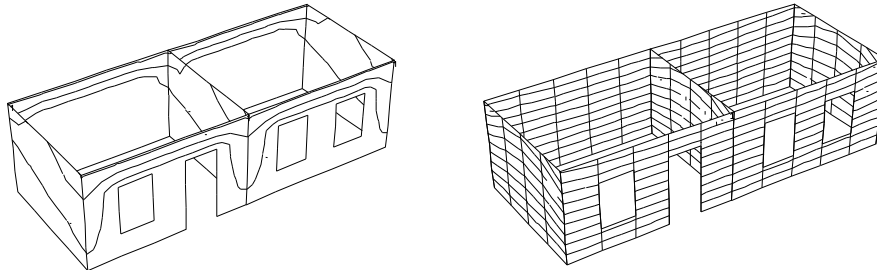


Рис. 3. Эпюры поперечных (горизонтальных) перемещений строения без каркаса (*a*) и с деревянным каркасом (*б*) при горизонтальной нагрузке

Распределение эпюр поперечных перемещений в строении с каркасом (*б*) - равномерно по высоте стен. Это подтверждает тот факт, что каркас связывает все элементы здания в единую систему, в отличие от здания без каркаса (*a*), где перемещаются в основном верхние части стен, находящиеся в непосредственной близости от приложенной нагрузки.

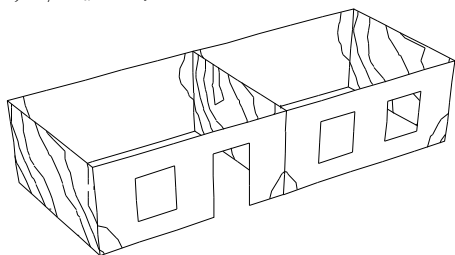
При заданной нагрузке максимальные смещения здания с несущими кирпичными стенами в направлении приложенной нагрузки составляют 0,22мм, а перемещения стен здания с каркасом - 0,13 мм. Вертикальные перемещения стен без каркаса при той же нагрузке составляют 0,38 мм и равны вертикальным перемещениям, которые были получены при расчете здания под действием собственного веса, а для здания с каркасом - 0,02 мм. Т.е. установка каркаса почти в 2 раза уменьшает горизонтальные перемещения в направлении приложенной нагрузки и более чем на порядок - вертикальные перемещения, обусловленные весом здания.

Поскольку расчет проводится в упругой постановке, то увеличение или уменьшение нагрузки приводит к пропорциональному увеличению или, соответственно, уменьшению перемещений и напряжений, не меняя характер их распределения по периметру здания.

Компоненты напряженного состояния здания с несущими кирпичными стенами и со стенами, усиленными деревянным каркасом, под действием указанной нагрузки, представлены на следующей серии рисунков.

На рис. 4 показаны касательные напряжения (τ_{yz}) в кирпичных стенах поперечного направления без каркаса (*a*) и в стенах с каркасом (*б*). В первом случае (без каркаса) максимальные касательные напряжения распределяются вдоль диагонали поперечных стен и достигают величины 0,0064 МПа. В стенах же, усиленных каркасом, максимальные касательные напряжения достигаются в центральном вертикальном сечении поперечных стен и равны 0,0043 МПа, что на 30% меньше, чем в первом случае. Кроме того, вертикальное расположение касательных напряжений свидетельствует о малом перекосе стен с каркасом по сравнению с несущими стенами без каркаса.

a) $\tau_{yz \max} = 6,5e^{-3} \text{ МПа}$



б) $\tau_{yz \max} = 4,3e^{-3} \text{ МПа}$

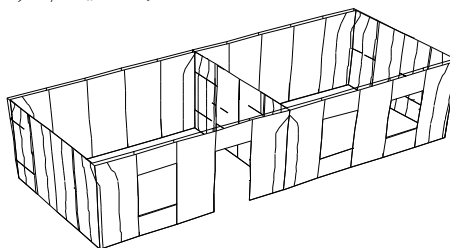
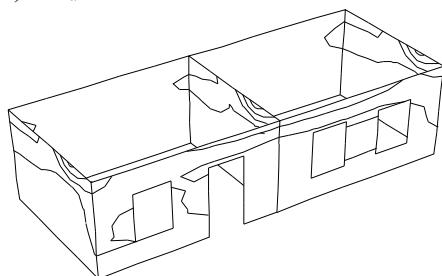


Рис. 4. Эпюры касательных напряжений в стенах без каркаса (*a*) и с каркасом (*б*) при горизонтальной нагрузке

Влияние конструктивных мероприятий на растягивающие напряжения в здании представлено на рис. 5 в стенах без каркаса их максимальная величина достигает $0,0144 \text{ МПа}$ - (*a*), а в стенах с каркасом - вдвое меньше и составляет $0,00713 \text{ МПа}$. В обоих случаях максимумы достигаются в верхней части поперечных стен вблизи покрытия.

a) $\sigma_{1\max} = 1.44e^{-2} \text{ МПа}$



б) $\sigma_{1\max} = 7.13e^{-3} \text{ МПа}$

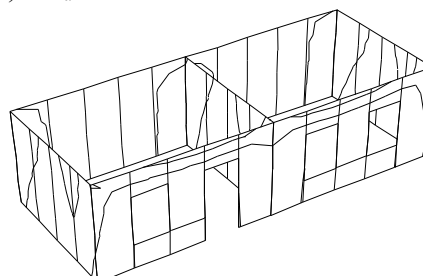
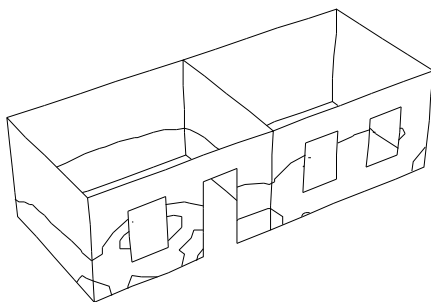


Рис.4. Эпюры растягивающих напряжений в стенах без каркаса (*a*) и с каркасом (*б*) при оттягивающей нагрузке

Особенно ощутимо влияние каркаса сказывается в фасадной стене здания, ослабленной проемами (рис.5). В отсутствие каркаса в этой стене, особенно в ее нижней части вблизи проемов, максимальные сжимающие напряжения достигают величины $0,066 \text{ МПа}$, тогда как при наличии каркаса их величина на порядок меньше.

a) $\sigma_{2\max} = -6.6e^{-2} \text{ МПа}$



б) $\sigma_{2\max} = -7.4e^{-3} \text{ МПа}$

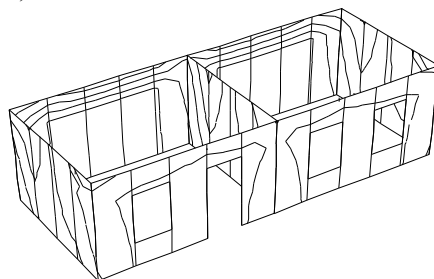


Рис. 5. Эпюры сжимающих напряжений в стенах без каркаса (*a*) и с каркасом (*б*) при оттягивающей нагрузке

Таким образом, установка каркаса в стенах одноэтажного здания с внутренней перегородкой позволяет снизить величину наиболее опасных для кладки растягивающих напряжений в два раза, а максимальных сжимающих напряжений в нижних углах ослабленной проемами фасадной стенке здания практически до нуля.

В целом на основании проведенного анализа напряженно-деформированного состояния одноэтажного здания с внутренней перегородкой при статической нагрузке, приложенной на уровне покрытия в поперечном направлении, можно сделать следующие выводы:

1. Наличие каркаса объединяет продольные, поперечные стены и перекрытие здания в единую пространственную систему, обладающую повышенной сопротивляемостью прикладываемой статической нагрузке, в результате чего перемещения и уровень возникающих в стенах напряжений значительно снижаются, по сравнению с теми же характеристиками в стенах, не подкрепленных каркасом.

2. Значительные растягивающие напряжения в здании без каркаса при поперечной горизонтальной нагрузке в уровне перекрытия возникают в верхних уровнях боковых стен. Величина растягивающих напряжений здесь достигает максимума, поэтому все выводы, касающиеся возможных разрушений в зависимости от величины нагрузки, качества кладки, кирпича и раствора, необходимо делать на основе анализа напряженного состояния этих опасных зон. Установка же каркаса снижает уровень максимальных растягивающих напряжений в верхних уровнях боковых стен здания, что уменьшает вероятность разрыва кладки.

3. Сжимающие напряжения в стенах без каркаса, в значительной степени зависящие от веса здания, увеличиваются к основанию здания. Наличие каркаса позволяет снизить их более чем на порядок.

4. Наибольшие касательные напряжения возникают в боковых стенах постройки, их максимальные значения для здания без каркаса (рис.2а) распределяются по диагонали этих стен. Установка каркаса (рис.2б) уменьшает степень деформирования здания в целом и, соответственно, деформирование боковых стен, в результате касательные напряжения в них уменьшаются в 1,5 раза.

Таким образом, анализ напряженно-деформированного состояния одноэтажного здания с внутренней перегородкой с несущими кирпичными стенами и кирпичными стенами с деревянным каркасом по периметру стен, позволил выявить связующую роль каркаса, которая заключается в объединении элементов конструкции в единую пространственную систему. При этом нагрузки, воспринимаемые жесткими элементами каркаса, вызывают в них незначительную деформацию. Эта деформация передается на простенки здания между элементами каркаса, что приводит к равномерному распределению напряжений в простенках и к снижению уровня напряжений в простенках по сравнению с теми же напряжениями в стенах без каркаса.

Л и т е р а т у р а

1. *Handa K.H.* Inplane vibration of box-type structures / K.H. Handa // *Journal of Sound and Vibration*. – 1972. - № 21 (2). - P.107-114.
2. *Zienkiewicz O.C.* Three-dimensional analysis of buildings composed of floor and wall panels / O.C. Zienkiewicz // *Proc. Inst. of Civil Engineers*. - 1971, vol. 49. - P. 319-332.
3. *Макеев В.В.* Статический расчет зданий из объемных блоков методом конечных элементов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В.Макеев. - Москва, 1975. – 30 с.
4. *Постнов В.А., Хархурим И.Я.* МКЭ в расчетах судовых конструкций/ В.А. Постнов , И.Я. Хархурим – Л.: Судостроение, 1974. - 342 с.

References

1. *Handa, K.H.* (1972). Inplane vibration of box-type structures, *Journal of Sound and Vibration*, №21 (2), p.107-114.
2. *Zienkiewicz, O.C.* (1971). Three-dimensional analysis of buildings composed of floor and wall panels, *Proc. Inst. of Civil Engineers*, vol. 49, p. 319-332.

3. *Makeev, V. V.* (1975). Static calculation building blocks of the volume finite element method: Author's. Abstract of PhD, Moscow, 30 p. (in Russian).

4. *Postnov, V.A., Harhur, I.J.* (1974). *FEM Calculations of Ship Structures*, L.: Sudostroenie, 342 p.

**RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE OF SINGLE-STOREY BUILDINGS
WITH INTERNAL PARTITIONS UNDER STATIC PULLING LOAD OF THE
UPPER BELT OF A STRUCTURE**

RAZZAKOV Sobirjon Juraevich

Namangan Engineering-Pedagogical Institute, Uzbekistan.

The author researches the stress-strain state of a single-storey brick building with an internal partition under static pulling load in the overlap level, and the impact on the strength of having a wooden frame construction in the supporting walls.

Keywords: wood frame, elasticity, stress, deformation, pulls static load.

