

ВЛИЯНИЕ КАРКАСНОГО УСИЛЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДВУХЭТАЖНОЙ ПОСТРОЙКИ ИЗ МАЛОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.Ж. РАЗЗАКОВ, канд. техн. наук, доцент

С.А. ХОЛМИРЗАЕВ, канд. техн. наук, доцент

Наманганский инженерно-педагогический институт, Узбекистан

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

На основе пространственной модели выполнены исследования напряженно-деформированного состояния двухэтажного здания из малопрочного материала для обоснования эффективности установки каркаса, способствующего снижению напряжений и деформаций в несущих конструкциях и обеспечивающих надежную эксплуатацию жилища в районах повышенной сейсмичности. Подбор физико-механических параметров для материала кладки осуществляется на основе натуральных экспериментов. Рассматриваются два варианта модели: без усиления и с усилением стен каркасом. Расчет коробчатой структуры производится численно методом конечных элементов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пространственный модель, напряженно-деформированное состояние, каркас, упругость, горизонтальная оттяжка, прочность, устойчивость, динамические характеристики, МКЭ.

Выбранная пространственная модель двух этажного дома, представляющая коробку с плоско-напряженными гранями, оконными, дверными проемами и жестким диском перекрытия, полностью соответствует реальному зданию. Основание модели жесткое. Возможность такого подхода обоснована в теоретических исследованиях статики [1,2,3] и динамики [4] коробчатой структуры, а также в работе [5], где экспериментально показана незначительная доля изгибных напряжений.

Расчет коробчатой структуры производится численно методом конечных элементов, позволяющим учесть реальную геометрию и наличие проемов, т.е. фактически производится расчет реальной упругой (в этом смысле, конечно, идеализированной) пространственной конструкции. При этом ее пространственное поведение создается за счет трех возможных перемещений граней и элементов каркаса конструкции, но без учета изгиба плоских элементов (стен).

Исходным уравнением для решения задачи методом конечных элементов является вариационное уравнение, выражающее равенство нулю суммы работ внутренних напряжений (δA_σ), массовых сил (веса) (δA_p) и сил инерции (δA_u) на возможных перемещениях

$$\delta A = \delta A_\sigma + \delta A_p + \delta A_u = \int_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_V \rho_n \ddot{u} \delta \bar{u} dV + \int_V \rho_n \bar{g} \delta \bar{u} dV = 0, \quad (1)$$

где \bar{u} , ε_{ij} , σ_{ij} – соответственно, вектор перемещений, тензоры деформаций и напряжений; ρ_n – плотность материала элементов системы (кладки и каркаса).

Граничные условия на жестком основании приняты однородными:

$$z = 0 : \delta u = \delta v = \delta w = 0. \quad (2)$$

Объединение матриц жесткости $[K]$ и масс $[M]$ всех элементов модели, согласно процедуре МКЭ, приводит к разрешающим уравнениям. В зависимости от задачи это могут быть алгебраические уравнения относительно перемещений узлов $\{u_i\}$ при заданной статической нагрузке $\{P\}$ (задача о напряженно-деформированном состоянии):

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

или система однородных алгебраических уравнений (при определении собственных частот (ω) и форм колебаний $\{X\}$):

$$([K] - \omega^2 [M])\{X\} = 0. \quad (4)$$

Использование метода конечных элементов для определения прочности зданий из местных материалов предполагает знание физико-механических характеристик материала стен. Поскольку расчет производится в упругой стадии, то такой характеристикой, в первую очередь, являются модуль упругости E кладки, т.е. ни кирпича, ни раствора в отдельности, а именно кладки как упруго-деформируемого тела. Такая информация для кладки из местных малопрочных материалов в нормативной литературе отсутствует. Поэтому для определения указанного параметра автор использует экспериментально-теоретический подход, заключающийся в следующем.

Пользуясь рекомендациями [6], модуль упругости неармированной кладки определяется по формуле $E_0 = \alpha k R$ ($\alpha = 200 \div 1000$; $k = 2 \div 2,25$; $R = 0,05 \div 3,3$ МПа) и, в зависимости от марки кирпича и раствора, находится в достаточно широком диапазоне значений: от 200 до 7400 МПа. Экспериментально определенные периоды основных колебаний реальных построек из жженого глиняным раствором, сырцового кирпича и монолитной глины составили около 0,09 сек. Используя эти значения при выборе модуля упругости соответствующих пространственных моделей, было достигнуто совпадение периодов модели и реального здания из жженого кирпича глиняным раствором при $E = 0,3 \cdot 10^3$ МПа, а для сырцового кирпича и монолитной глины – при $E = 0,28 \cdot 10^3$ МПа. Выбранные параметры использовались при численных исследованиях деформации двух этажного дома при различном нагружении.

Исследуемая пространственная модель двух этажного здания из малопрочных материалов без каркаса и с каркасом представлена на рис.1, а, б. Каркас рассматривался в двух вариантах: круглые бревна ($\varnothing 12$ см) и бетонные стойки квадратного сечения ($a = 12$ см).

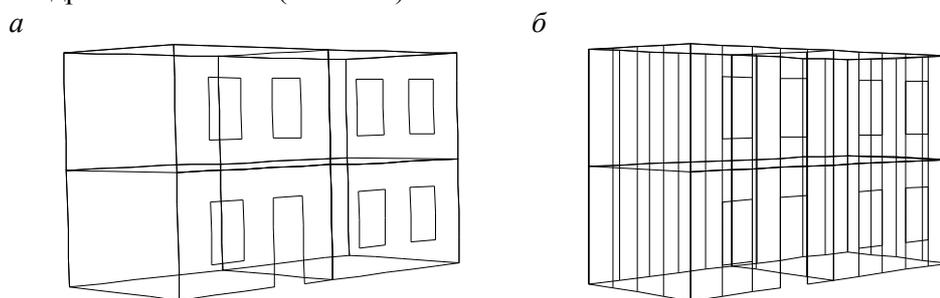


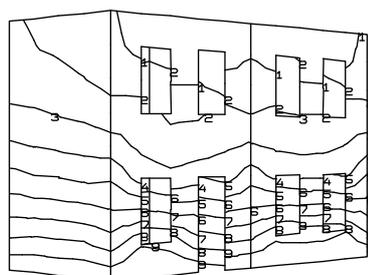
Рис. 1. Модель 2-этажного дома (а) и схема расположения каркаса (б)

Влияние каркаса на вертикальную осадку здания под собственным весом. Исходным при решении данной задачи является алгебраическое неоднородное уравнение (3), где правая часть ($\{P\}$) представляет вертикальный вектор собственного веса, распределенный по узловым точкам модели. Модуль упругости кладки $E = 0,3 \cdot 10^3$ МПа, вес перекрытия составляет 52 кН. Полученные при таких параметрах изолинии вертикальных смещений здания приведены на рис. 2: а) стены без каркаса; б) стены с деревянным каркасом. В таблицах приведены значения исследуемых параметров, соответствующие номерам изолиний. Так максимальные вертикальные смещения под действием собственного веса достигаются в верхних уровнях постройки и составляют 1,2 мм для здания с несущими кирпичными стенами (рис.2,а), 0,5 мм – в постройке с деревянным каркасом (рис.2,б) и почти 0,3 мм – для стен с бетонным каркасом.

Возникающие под собственным весом сжимающие (вертикальные) напряжения в стенах здания $\{\sigma_z\}$ приведены на рис. 3. Эти результаты показывают

значительное снижение максимальных напряжений: с - 0,14 МПа (в отсутствии каркаса) до - 0,054 МПа с деревянным каркасом. Изменяется и характер распределения напряжений. Если в стенах без каркаса наибольшие напряжения достигаются в передней стене, причем не только в основании, но и в областях, прилегающих к проемам (рис.3а), то наличие каркаса, снижая общий уровень напряжений, приводит к более равномерному их распределению по плоскости стен (рис.3б). При этом максимальные напряжения достигаются только в основании на стыках стен.

- а
- 0,13 мм - (9)
 - 0,24 мм - (8)
 - 0,36 мм - (7)
 - 0,48 мм - (6)
 - 0,60 мм - (5)
 - 0,72 мм - (4)
 - 0,84 мм - (3)
 - 0,96 мм - (2)
 - 1,08 мм - (1)
 - макс. смещение - 1,2 мм



- б
- 0,05 мм - (9)
 - 0,11 мм - (8)
 - 0,16 мм - (7)
 - 0,22 мм - (6)
 - 0,27 мм - (5)
 - 0,33 мм - (4)
 - 0,38 мм - (3)
 - 0,44 мм - (2)
 - 0,49 мм - (1)
 - Макс. смещение - 0,5 мм

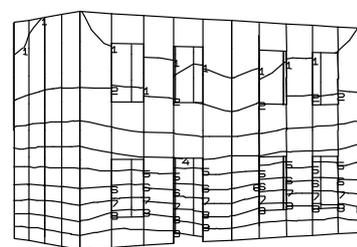


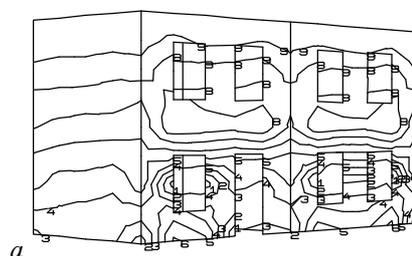
Рис. 2. Изолинии вертикальных смещений двухэтажного дома: с несущими кирпичными стенами (а) и с деревянным каркасом (б) под собственным весом

- 0,018 МПа - (9)
- 0,032 МПа - (8)
- 0,045 МПа - (7)
- 0,058 МПа - (6)
- 0,071 МПа - (5)
- 0,084 МПа - (4)
- 0,097 МПа - (3)
- 0,11 МПа - (2)
- 0,12 МПа - (1)

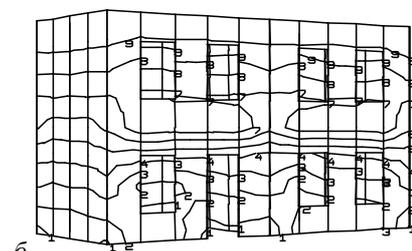
$$\{\sigma_z\}_{\max} = -0,14 \text{ МПа}$$

- 0,008 МПа - (9)
- 0,013 МПа - (8)
- 0,018 МПа - (7)
- 0,023 МПа - (6)
- 0,028 МПа - (5)
- 0,034 МПа - (4)
- 0,039 МПа - (3)
- 0,044 МПа - (2)
- 0,049 МПа - (1)

$$\{\sigma_z\}_{\max} = -0,054 \text{ МПа}$$



а



б

Рис.3. Изолинии вертикальных напряжений в двухэтажном здании с кирпичными стенами (а) и с каркасом под собственным весом (б)

Влияние каркаса на сдвиг здания при горизонтальной оттяжке. Здесь также исходным является система уравнений (3), где правая часть ($\{P\}$) представляет вектор горизонтальной нагрузки, распределенный по узловым точкам верхнего перекрытия. Деформация здания под действием горизонтальной нагрузки $P=25\text{кН}$ в масштабе (1:500) показана на рис.4.

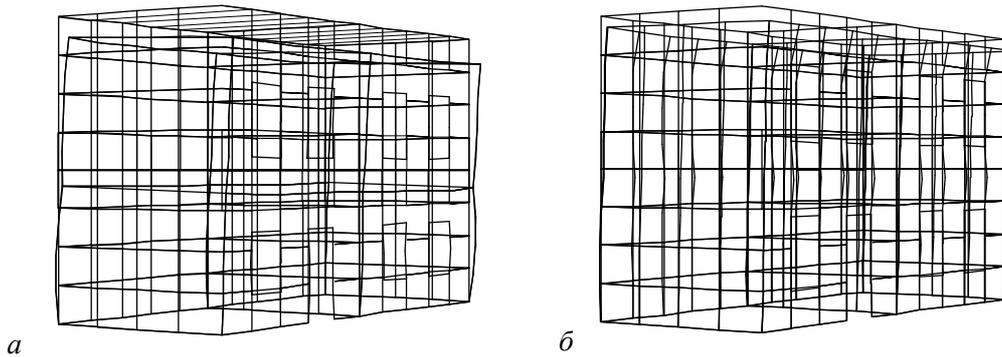


Рис. 4. Деформация постройки при оттягивающей нагрузке $P = 25\text{кН}$ на уровне покрытия: без каркаса (а) и с каркасом (б). Масштаб 1:500

Из рис. 4 видно уменьшение горизонтальных смещений верха здания при наличии каркаса в стенах. Рассматриваемая модель здания принимается линейно упругой, а для таких систем справедлив принцип суперпозиции, т.е. перемещения от совместного действия двух нагрузок - собственного веса и оттяжки - можно принимать как сумму перемещений от каждого из нагружений в отдельности. Вертикальные смещения модели от собственного веса уже были получены (рис. 2). Горизонтальные же смещения в направлении приложенной нагрузки на рис. 5 показывают, что их максимальные значения в верхнем уровне поперечных стен здания без каркаса составляют 0,57мм, установка каркаса уменьшает их до 0,36мм (деревянный каркас), а бетонные стойки - до 0,31мм.

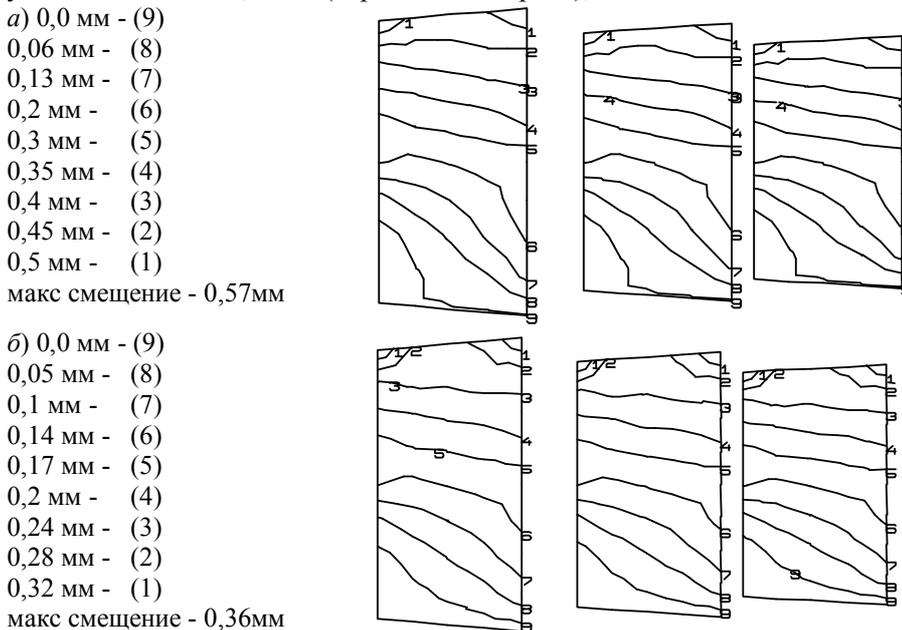


Рис. 5. Изолинии горизонтальных смещений двухэтажного здания: с несущими стенами (а) и с деревянным каркасом (б) при нагрузке $P = 25\text{кН}$

Сравнение результатов на рис. 5, а,б показывает, что наличие каркаса повышает устойчивость стен, уменьшая их деформацию в 1,5 раза по сравнению с кирпичными стенами без каркаса. Наибольшей деформации подвергаются верхние части стен на стыках с верхним перекрытием. Для выяснения вопроса возможно ли выпадение кладки в результате наклона каркаса, вызванного перемещением перекрытия, необходимо проверить условие эксплуатационной при-

годности конструкции здания с несущими элементами из хрупкого материала (кирпичной кладки), прикрепленными к несущим конструкциям (каркасу) [7,8], согласно которому относительное перемещение верха здания к его высоте не должно превышать $1/200$, т.е. $u_{\max}/H < 0,005$. При наличии каркаса u_{\max}/H составляет $0,003/6 = 0,0005$, т.е. при заданной горизонтальной статической нагрузке в поперечном направлении деформации конструктивной системы не превосходят допустимые.

Наибольшие касательные напряжения (рис. 6, а,б) в стенах поперечного направления в здании без каркаса располагаются по диагонали стен первого этажа здания и достигают величины 0,01 МПа. В стенах же, усиленных каркасом, максимальные касательные напряжения в центральном вертикальном сечении поперечных стен равны 0,006-0,007 МПа, что на 30-40% меньше, чем в стенах без каркаса. С увеличением жесткости каркаса изолинии касательных напряжений приобретают вертикальный характер, что свидетельствует об уменьшении перекоса стен с каркасом по сравнению с не усиленными стенами.

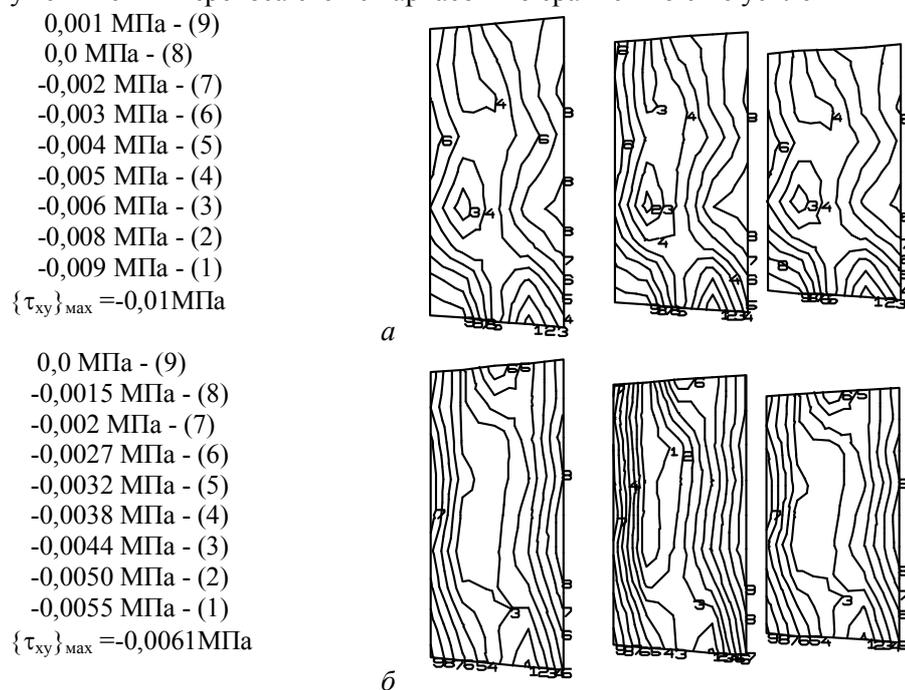


Рис. 6. Касательные напряжения в поперечных стенах без каркаса (а) и с каркасом (б) при нагрузке $P = 25$ кН

Таким образом, установка каркаса в стенах двухэтажного здания снижает сдвиговые напряжения в поперечных стенах на 30-40%.

Влияние каркаса на динамические характеристики, формирующие сейсмическую нагрузку на здание. Исходными для определения динамических характеристик является система уравнений (4).

Полученные первые две формы собственных колебаний двухэтажного дома (в плане) показаны на рис. 7 и представляют собой сдвиг (рис.7, а) и кручение перекрытия (рис.7, б). Обе формы сопровождаются перекосом стен. Перекос поперечных стен и наклон продольных сопровождается первой формой колебаний, а перекос всех стен - вторую. Поэтому расчет на сейсмическое воздействие должен учитывать сдвиговые деформации кирпичной кладки и проверку возможности выпадения кладки при наклоне стен.

Приведенные формы собственных колебаний соответствуют двухэтажному зданию как без каркаса, так и с каркасом. Периоды же собственных колебаний

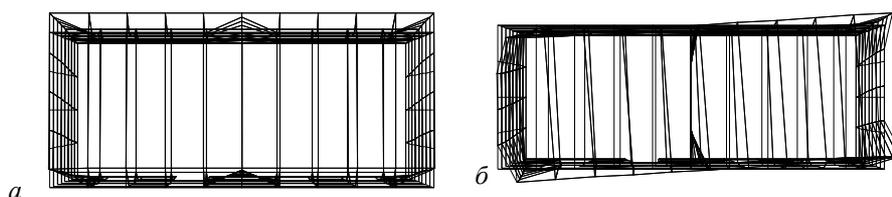


Рис. 7. Деформация двухэтажного здания по первой (а) и второй (б) форме собственных колебаний (вид сверху)

здания без каркаса по первым двум формам равны, соответственно, $T_1 = 0,158$ сек и $T_2 = 0,136$ сек, а для здания с каркасом - $T_{1д} = 0,143$ сек и $T_{2д} = 0,123$ сек (деревянный каркас) и $T_{1б} = 0,135$ сек и $T_{2б} = 0,117$ сек (бетонные стойки). Таким образом, установка каркаса приводит к увеличению жесткости здания, о чем свидетельствует уменьшение периодов собственных колебаний, причем чем жестче каркас (бетон), тем меньше период основных колебаний. При этом характер форм колебаний остается без изменений независимо от вида каркаса.

В результате проведенных исследований следуют выводы:

1. Использование пространственной модели при расчете глиняной постройки позволяет добиться идентификации экспериментально и теоретически полученных форм собственных колебаний зданий и выбрать упругие параметры материала кладки, необходимые для проведения прочностных расчетов построек с целью выявления их слабых участков.

2. Использование пространственной модели позволяет детально учесть наличие каркаса по периметру постройки и проанализировать особенности конструкции на предмет ее усиления. Так, полученные периоды и формы при наличии каркаса показали увеличение жесткости конструкции, что свидетельствует о повышении сейсмостойкости постройки и позволяет рекомендовать установку каркаса в стенах глиняных зданий.

3. Наличие каркаса позволяет не только в целом уменьшить осадку и напряжения в стенах двухэтажного здания, но и равномерно распределить напряжения по плоскости стен, снижая их в простенках между проемами.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. *Раззаков С.Ж.* Исследование напряженно-деформированного состояния одноэтажной постройки с внутренней перегородкой при статической отягивающей нагрузке по верхнему поясу строения [Текст] / С.Ж.Раззаков // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2016. – № 6. – С. 14 — 19.

2. *Большаков В.И.* Основы метода конечных элементов [Текст] / В.И.Большаков, Е.А.Яценко, Г.Соссу, М.Лемэр, Ж.М.Рейнуар, Ж.Кестенс, И.Кормо. – Пер с фр., отв. ред Е.А. Яценко. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2000. – 255 с.

3. *Zienkiewicz O.C.* Three-dimensional analysis of buildings composed of floor and wall panels, [Text] / O.C. Zienkiewicz, C.J. Parech, B. Teply // Proc. Inst. of Civil Engineers. – 1971, July, vol. 49. – P. 319 — 332.

4. *Handa K.H.* Inplane vibration of box-type structures [Text] / K.H. Handa // Journal of Sound and Vibration. – 1972, 21(2). – P. 107 — 114.

5. *Макеев В.Б.* Статический расчет зданий из объемных блоков методом конечных элементов: Дис... канд. техн. наук/ В.Б. Макеев. – МИСИ им. Куйбышева, 1975. – 140 с.

6. *Дыховичный Ю.А.* Жилые и общественные здания: Краткий справочник инженера-конструктора [Текст]: Ю.А. Дыховичный, В.А. Максименко, А.Н. Кондратьев [и др.]; под ред. Ю.А. Дыховичного. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 656 с.

7. *КМК 2.03.07-98.* Каменные и армокаменные конструкции. – Т.: Госкомархитектстрой РУз, 1998. – С. 106.

8. *Кириленко В.Ф.* Вопросы прочности и расчета дощатоклееных балок переменной высоты [Текст]/ В.Ф. Кириленко // Строительство и архитектура. Известия высших учебных заведений. - Новосибирск, 1984. - №1. – С.11 — 13.

Поступила в редакцию 20 февраля 2017 г. Прошла рецензирование 12 мая 2017 г.

Принята к публикации 14 июня 2017 г.

Об авторах: РАЗЗАКОВ СОБИРЖОН ЖУРАЕВИЧ, канд. тех. наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительство зданий и сооружений», Наманганский инженерно-педагогический институт, г. Наманган, Узбекистан, E-mail: sobirjonrsj@gmail.com.

ХОЛМИРЗАЕВ САТТОР АБДУЖАББОРОВИЧ, канд. тех. наук, доцент, заведующий кафедрой «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», Наманганский инженерно-педагогический институт, г. Наманган, Узбекистан, E-mail: sattar59@mail.ru.

Для цитирования: Раззаков С.Ж., Холмирзаев С.А. Влияние каркасного усиления на напряженно-деформированное состояние двухэтажной постройки из малопрочных материалов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 4. – С. 43 — 49 .

DOI: 10.22363/1815-5235-2017-4-43-49

References

1. Razzakov, S.J. (2016). Research of stress-strain state of single-story buildings with internal partitions under static pulling load of the upper belt of a structure. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (6), 14 — 19.
2. Bolshakov, V.I., Yatsenko, E.A., Sossu, G., Lemer, M., Reynuar, J.M., Kestens, J., Kormo, I. (2000). *Osnovi Metoda Konechnih Elementov* [The bases of Method of Finite Elements]. Dnepropetrovsk: PGASiA, 255 p (in Russian).
3. Zienkiewicz, O.C., Parech, C.J., Teply, B. (1971). Three-dimensional analysis of buildings composed of floor and wall panels. *Proc. Inst. of Civil Engineers*, vol. 49, 319—332.
4. Handa, K.H. (1972). Inplane vibration of box-type structures. *Journal of Sound and Vibration*, 21(2), 107 — 114.
5. Makeev, V.B. (1975). Sticheskiy raschet zdaniy iz obyemnix blokov metodom konechnix elementov [Static Analysis of Buildings Made of Volume Blocks by Method of Finite Elements]. *Dis. of PhD, Moscow: MISI im. Kuybishev*, 140 p (in Russian).
6. Dikhovichniy, Yu.A., Maksimenko, V.A., Kondratyev, A.N. et al (1991). *Jiliye i Obshchennyye Zdaniya: Kratkiy Spravochnik Injenera-Konstruktora* [Civil and Public Buildings: Brief Reference Book of Civil Engineer]. The 3d ed., Moscow: Stroyizdat, 656 p (in Russian).
7. *KMK 2.03.07-98. Kamenniye I armokamenniye konstruksii* [Stone and Reinforced Stone Structures]. T.: Goskomarxitektstroy RUz, 1998, 106 p. (in Russian).
8. Kirilenko, V.F. (1984). Problems of strength and analysis of wooden beams of variable height. *Stroitelstvo i Arkhitektura. Izvestiya Visshikh Uchebnix Zavedeniy*, Novosibirsk, (1), 11 — 13 (in Russian).

INFLUENCE OF FRAME WORK STRENGTHENING ON THE STRESS-STRAIN STATE OF TWO-STOREY BUILDINGS OF LOW-STRENGTH MATERIALS

S.J. RAZZAKOV, S.A. KHOLMIRZAEV

*Namangan Engineering-Pedagogical Institute, 12, pr. Dustlik,
Namangan-city, Uzbekistan, 160103*

On the basis of the spatial model, the researches of stress-strain state of a two-story building from low-strength material for substantiate the effectiveness of the installation frame were fulfilled. The frame helps to reduce the stress and strain in the load-bearing structures and ensures reliable operation housing in areas with high seismicity. The choice of physical-and-mechanical characteristics for the material of brickwork is realized on the basis of natural experiments. Two models are considered: with strengthening and without strengthening of the walls by the frame. Analysis of a box-typed structure is carried out numerically by FEM.

Keywords: spatial model, the stress-strain state, the frame, the elasticity, the horizontal brace, strength, stability, dynamic characteristics, finite element method.

Article history: Received: February 20, 2017. Revised: May 12, 2017. Accepted: June 14, 2017.

About the authors: RAZZAKOV SOBIRJON JURAEVICH, Associate professor, Ph.D., head of department of Civil Engineering, Namangan engineering-pedagogical institute, Namangan-city, Uzbekistan, E-mail: sobirjonrsj@gmail.com.

KHOLMIRZAEV SATTOR ABDUJABBOROVICH, Associate professor, Ph.D., head of department of Production of Building Materials, Products and Structures, Namangan engineering-pedagogical institute, Namangan-city, Uzbekistan, E-mail: sattar59@mail.ru.

For citation: Razzakov, S.J., Kholmiraev, S.A. (2017). Influence carcass strengthening on the stress-strain state of two-story buildings of low-strength materials. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (4), 43 — 49. DOI: 10.22363/1815-5235-2017-4-43-49