



ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ДВУХЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ С ПЛИТОЙ ПОКРЫТИЯ ИЗ ЛЕГКОГО БЕТОНА

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15494110>

Давронов Олимбек

к.т.н., доцент, кафедры «Строительство»

ТАШКЕНТСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КИМЁ

<https://orcid.org/0009-0005-2929-158X>

o.davronov@kiut.uz

Каххоров Алишер

Магистрант кафедры «Строительство»

ТАШКЕНТСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КИМЁ

Аннотация: В работе исследована сейсмостойкость двухэтажного каркасного здания с плитой покрытия из легкого бетона и результаты сравнены с результатами аналогичного здания с плитой покрытия из тяжелого бетона. Определен влияние таких плит на динамические характеристики исследуемого объекта.

Ключевые слова: легкий бетон, железобетонные многопустотные плиты покрытия, сейсмостойкость малоэтажных зданий.

Annotatsiya: Maqolada yengil beton tomyopmali ikki qavatli karkas binoning zilzilabardoshligi tahlil qiliniladi va natijalarni og'ir beton tomyopmali

binoning natijalari bilan taqqoslangan. Ushbu tomyopmalarning o'rganilayotgan ob'ektning dinamik xususiyatlariga ta'siri tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: yengil beton, ko'pkovakli temir beton plitalar, past qavatli binolarni zilzilabardoshligi.

Abstract: The paper studies the seismic resistance of a two-story frame building with a lightweight concrete roof slab and compares the results with those of a similar building with a heavy concrete roof slab. The influence of such slabs on the dynamic characteristics of the object under study is determined.

Keywords: lightweight concrete, multi-wall reinforced concrete slabs, earthquake resistance of low-rise buildings.

Одним из путей повышения энергоэффективности малоэтажных зданий является уменьшение их веса.

Как известно, величина сейсмических сил, возникающих при землетрясениях пропорционально весу зданий. Поэтому, одним из способов повышения их сейсмостойкости является уменьшение веса конструкций. В настоящее время в зданиях гражданского строительства основным составляющим конструктивной части являются железобетонные элементы. Их вес оказывает существенное влияние на величину сейсмических сил. Снижение веса, этих конструкций в основном связана уменьшением расхода бетона, которое требует улучшения его физико-механических свойств и использования более легких компонентов для его изготовления.

Последние годы учеными нашей республики были разработаны новые составы легких бетонов с применением пористых заполнителей с использованием местных минеральных сырьевых ресурсов и отходов различных производств республики. Исследования показывают, что, из этих бетонов можно изготавливать и некоторые несущие и самонесущие элементы зданий[7]. Одним из таких элементов являются плиты покрытий для малоэтажных зданий.

В настоящее время малоэтажных зданиях широко применяются чердачные крыши с покрытием из металлического настила. Эти крыши

обычно проектируются таким образом, чтобы, вся нагрузка от них прямо передавалась на несущие стены или на элементы каркаса здания. В этом случае нагрузка на плиту покрытия существенно уменьшится. И если учесть, что собственный вес легкого бетона существенно меньше, чем тяжелого, а также современные теплоизоляционные материалы, используемые в покрытиях, имеют сравнительно небольшой вес, прочность и жесткость такой плиты покрытия будет достаточной.

Исследования напряженно-деформированного состояния многопустотных плит из легкого бетона, полученного применением пористых заполнителей из местных минеральных сырьевых ресурсов и отходов различных производств республики, приведенные в работе [5] доказывают правильность этих предположений.

В постановлениях Президента Республики Узбекистан о совершенствовании проведения НИР в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и по коренному совершенствованию системы сейсмической безопасности населения территорий Республики Узбекистан [1,2] указано что, при использовании новых материалов и конструктивных решений в строительстве зданий и сооружений, в районах с высокой сейсмичностью, необходимо научно обосновать их применение и обеспечить достаточную сейсмическую безопасность строящихся объектов.

Кроме этого, принятие конструктивные решения и выполненные расчеты должны соответствовать требованиям нормативных документов [3,4].

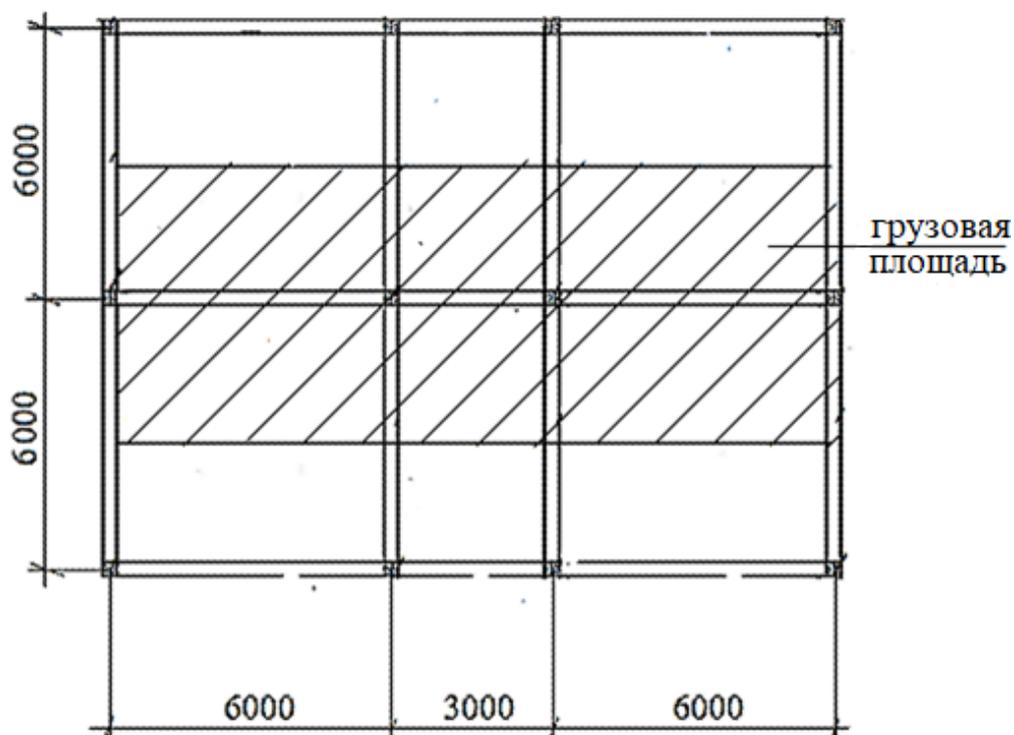
В работе [6] определены и сопоставлены величины сейсмических сил для традиционных и легкобетонных вариантов железобетонных плит покрытий конструкции одноэтажного железобетонного каркасного здания, оценено их влияние на сейсмическую надежность здания. По расчетам доля покрытия в общем значении сосредоточенных на уровне покрытия масс, используемых для определения сейсмических сил, составляет около 30-35 %. Поэтому применение облегченных плит покрытия может привести значительному уменьшению сейсмической силы на уровне покрытия.

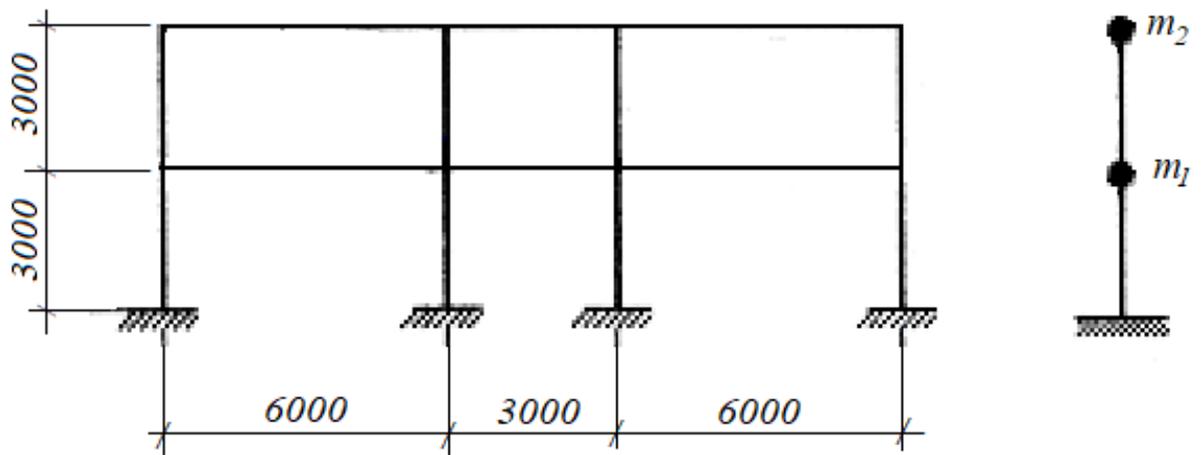
Уменьшение сейсмической силы на уровне покрытия в свою очередь, существенно влияет на величины внутренних усилий несущих конструкций здания. Особенно существенным оно является в малоэтажных зданиях. Это влияние уменьшается с ростом этажей.

В настоящем докладе приводятся результаты расчета двухэтажного каркасного здания с традиционными и легковесными плитами покрытия, на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмической нагрузки. Также приводится сравнение влияния типа плит на динамические характеристики и напряженно-деформированное состояние несущих элементов здания.

Схема плана здания с грузовой площадью и расчетная схема приведены на рисунке 1.

a)





б)

Рис.1

а- план здания с грузовой площадью, б- расчетная схема

Расчет выполнен для средней поперечной раме здания, как наиболее загруженную. Расчетная схема рамы с нагрузками показано на рисунке 4.

В соответствии с пунктом 2.6 КМК 2.01.03-19 [3] расчет здания выполним спектральным методом. Для определения величин сейсмических сил необходимо вычислить собственные частоты и формы колебаний здания. Для этого определим единичные перемещения расчетной схемы. Так как рассматриваем двухэтажное здание с сосредоточенными массами на уровне перекрытия и покрытия, степень свободы расчетной схемы будет равным двум. Вековое частотное уравнение для этой системы имеет следующей вид [9]:

$$\begin{vmatrix} m_1 \delta_{11} \omega^2 - 1 & m_2 \delta_{12} \omega^2 \\ m_1 \delta_{21} \omega^2 & m_2 \delta_{22} \omega^2 - 1 \end{vmatrix} = 0,$$

здесь

m_1, m_2 – соответственно массы здания на уровне перекрытия и покрытия;

ω – частота собственных колебаний;

$\delta_{11}, \delta_{22}, \delta_{12} = \delta_{21}$ – единичные перемещения масс по направлению колебаний.

Для вычисления единичных перемещений воспользуемся программой “Ли́ра” [10]. Расчетные схемы для вычисления перемещений показаны на рисунке 4.

Результаты расчета приведены на рисунках 5, 6.

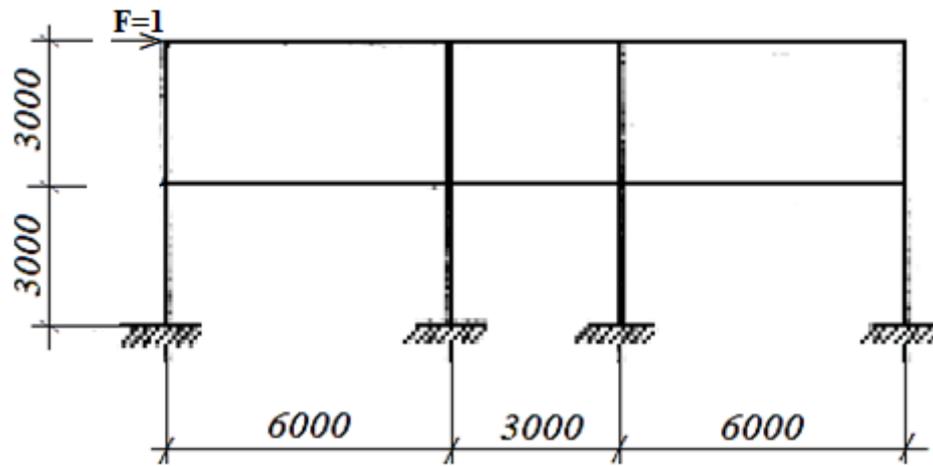
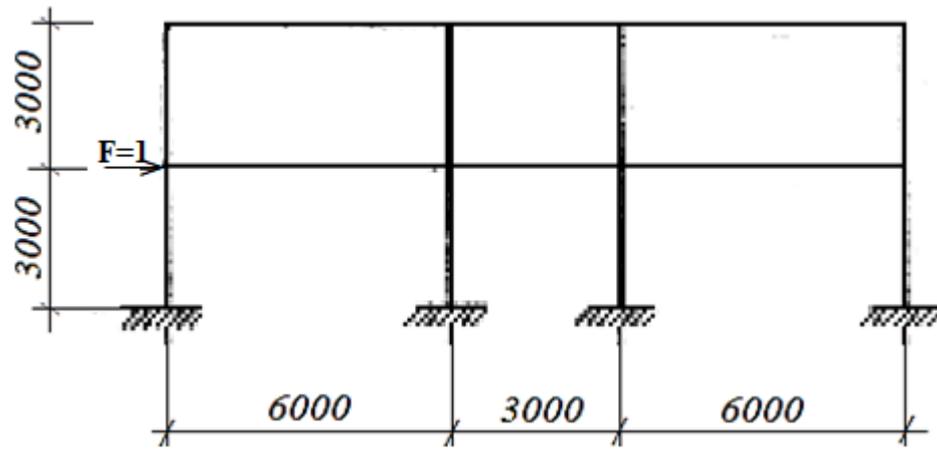


Рис.4

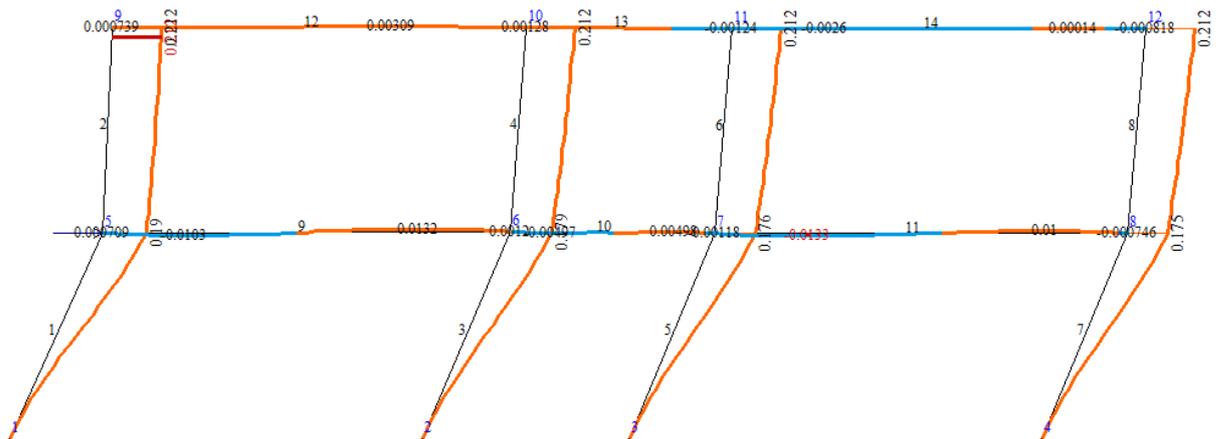


Рис. 5. Эпюра перемещений от единичной силы $F=1$ приложенной на уровне перекрытий 2-этажа

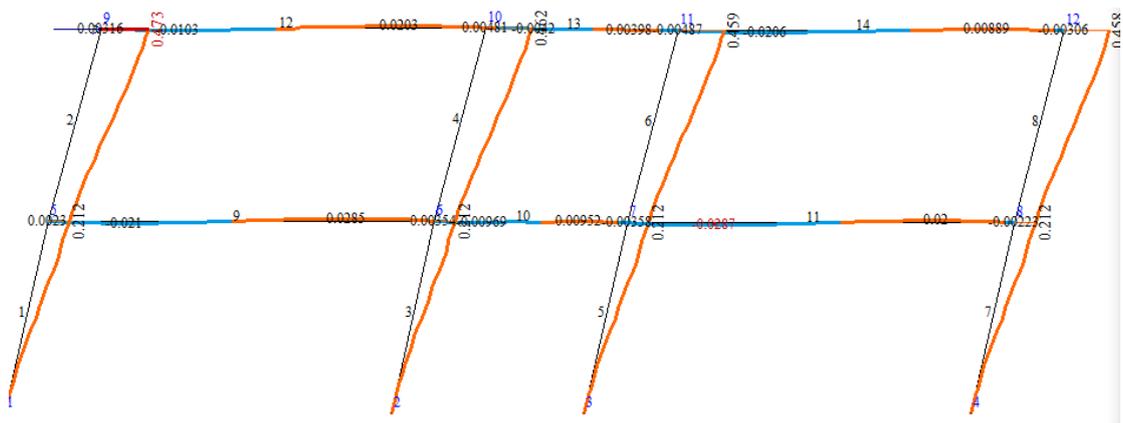


Рис.6. Эпюры перемещений от единичной силы $F=1$ приложенной на уровне покрытия

По результатам расчета определим $\delta_{11} = 0,19$ мм; $\delta_{12} = 0,212$ мм;
 $\delta_{22} = 0,473$ мм; $\delta_{21} = 0,212$ мм.

Определяем вес и массы здания, приходящейся на среднюю раму на уровне перекрытия и покрытия. Для этого выполним сбор нагрузок.

Сбор нагрузок на уровне покрытия

1- таблица

Нагрузки	Нормативные значения нагрузок q_n Н/м ²	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	Расчетная нагрузка q Н/м ²
Постоянная нагрузка:			
Слой цементного раствора $t=20$ мм, $\rho = 2000$ кг/м ³	400	1,2	480
Теплоизоляционный слой из пенобетона $t=100$ мм, $\rho=400$ кг/м ³	400	1,2	480
Пароизоляция	40	1,2	48
Многopустотная ж/б плита (тяжелый бетон)	2750	1,1	3025
Многopустотная ж/б плита (легкий бетон)	1315	1,1	1447
Нагрузка от чердачной крыши:			
Стальной настил $t = 5$ мм, $\rho=7850$ кг/м ³	392,5	1,1	431,75
Деревянные стропилы и прогоны	167,7	1,1	184,5

Всего постоянная нагрузка: для плиты из тяжелого бетона	4150	-	4650
для плиты из тяжелого бетона	2715	-	3072
Временная нагрузка: Кратковременная для чердачной крыши (QMQ 2.01.07.-96)	700	1,3	910

Нагрузка на 1 м^2 покрытия:

для плиты из тяжелого бетона: постоянная $4,65\text{ кН/м}^2$;

кратковременная $0,91\text{ кН/м}^2$,

для плиты из легкого бетона: постоянная $3,072\text{ кН/м}^2$;

кратковременная $0,91\text{ кН/м}^2$

площадь покрытия $5,6 \times 13,8 = 77,28\text{ м}^2$.

Вес грузовой площади здания на уровне покрытия

4- таблица

Наименование нагрузки	Постоянная нагрузка			Длительно действующая временная нагрузка кН	Кратковременно действующая временная нагрузка кН	Всего кН
	Нагрузка от элементов каркаса, кН	Нагрузка от плиты покрытия кН	Нагрузка от стен кН			
Вес с плитой из тяжелого бетона	$157,57 \times 0,9 = 141,8$	$(4,65 \times 0,9) \times 77,28 = 323,4$	$281,232 \times 0,9 = 253,1$	0	$(0,91 \times 0,5) \times 77,28 = 35,2$	753,8
Вес с плитой из легкого бетона	$157,57 \times 0,9 = 141,8$	$(3,072 \times 0,9) \times 77,28 = 213,7$	$281,232 \times 0,9 = 253,1$	0	$(0,91 \times 0,5) \times 77,28 = 35,2$	644

Аналогично вычислим нагрузки на уровне перекрытия. Перекрытия обоих вариантов одинаково, из тяжелого бетона.

Нагрузка на 1 м^2 перекрытия: постоянная $4,221\text{ кН/м}^2$; временная длительно действующая нагрузка $2,4\text{ кН/м}^2$; временная кратковременная $1,8\text{ кН/м}^2$.

Нагрузка на перекрытие от элементов каркаса:

$$Q_k = 13,8 \times 4,5 + 11,2 \times (3,78 + 3,07) + (6 \times 2,25 + 6 \times 4) = 176,32\text{ кН.}$$

Площадь перекрытия $5,6 \times 13,8 = 77,28 \text{ м}^2$.

Вес грузовой площади здания на уровне перекрытия 4- таблица

Наименование нагрузки	Постоянная нагрузка			Длительно действующая временная нагрузка кН	Кратковременная нагрузка кН	Всего кН
	Нагрузка от элементов каркаса, кН	Нагрузка от плиты покрытия кН	Нагрузка от стен кН			
Нагрузка на уровне перекрытия	$176,32 \times 0,9 = 158,7$	$(4,22 \times 0,9) \times 77,28 = 293,6$	$2 \times 281,232 \times 0,9 = 506,22$	$2,4 \times 0,8 \times 77,28 = 148,4$	$(1,8 \times 0,5) \times 77,28 = 69,55$	1176,5

Таким образом вес и масса здания на уровне перекрытий равен

$$Q_1^I = Q_1^{II} = 1176,5 \text{ кН. } m_1^I = \frac{Q_1^I}{g} = \frac{1176,5}{9,81} = 119,93 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}} = 119,93 \text{ т};$$

То же на уровне покрытия из тяжелого бетона

$$Q_2^I = 753,8 \text{ кН. } m_2^I = \frac{Q_2^I}{g} = \frac{753,8 \cdot 10^3}{9,81} = 76,84 \cdot 10^3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}^2 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}} = 76,84 \text{ т.}$$

на уровне покрытия из легкого бетона

$$Q_2^{II} = 644 \text{ кН. } m_2^{II} = \frac{Q_2^{II}}{g} = \frac{644 \cdot 10^3}{9,81} = 65,65 \cdot 10^3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}^2 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}} = 65,65 \text{ т.}$$

Решая вековое уравнение, определяем собственные частоты и соответствующие им периоды колебаний для обоих вариантов.

$$\omega_1^I = 4,2 \text{ сек}^{-1}, \quad \omega_2^I = 10,6 \text{ сек}^{-1}. \quad T_1^I = 1,495 \text{ сек. } T_2^I = 0,592 \text{ сек.}$$

$$\omega_1^{II} = 14,1316 \text{ сек}^{-1}; \quad \omega_2^{II} = 36,546 \text{ сек}^{-1}. \quad T_1^{II} = 0,444 \text{ сек}; \quad T_2^{II} = 0,1718 \text{ сек.}$$

Вычислив в соответствии с требованиями КМК 2.01.03-19 [3] значения сейсмических сил для 9-балльной зоны с грунтом II-категории и определив в соответствии с КМК [4] постоянные и временные нагрузки, выполним расчет рамы (рис.7) на особое сочетание нагрузок при помощи программы “Лири” [10].

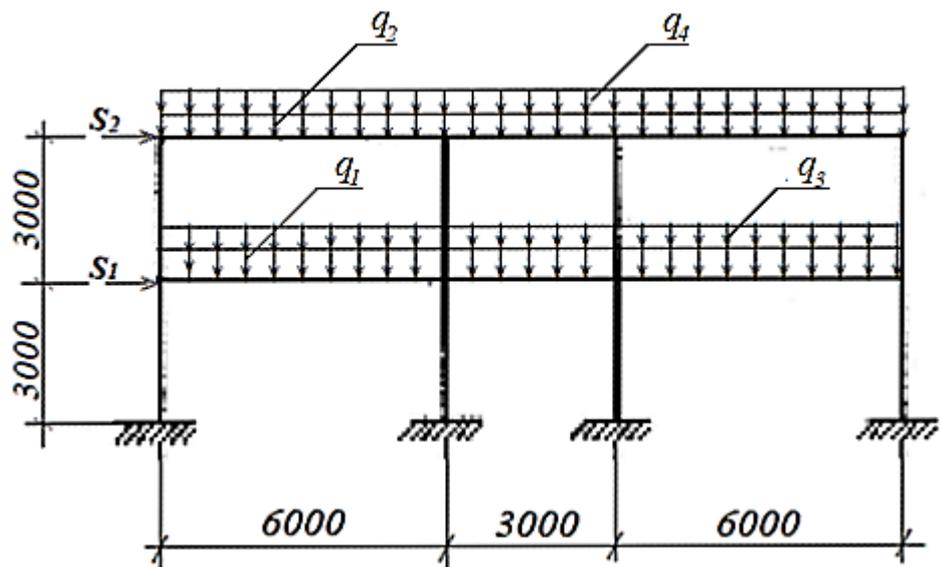
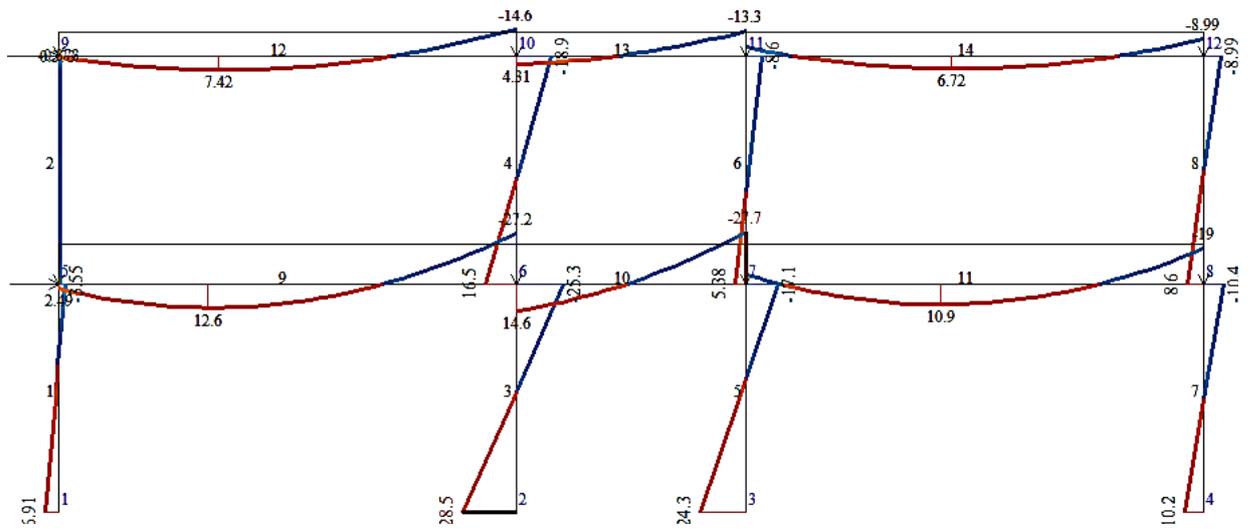


Рис. 7.

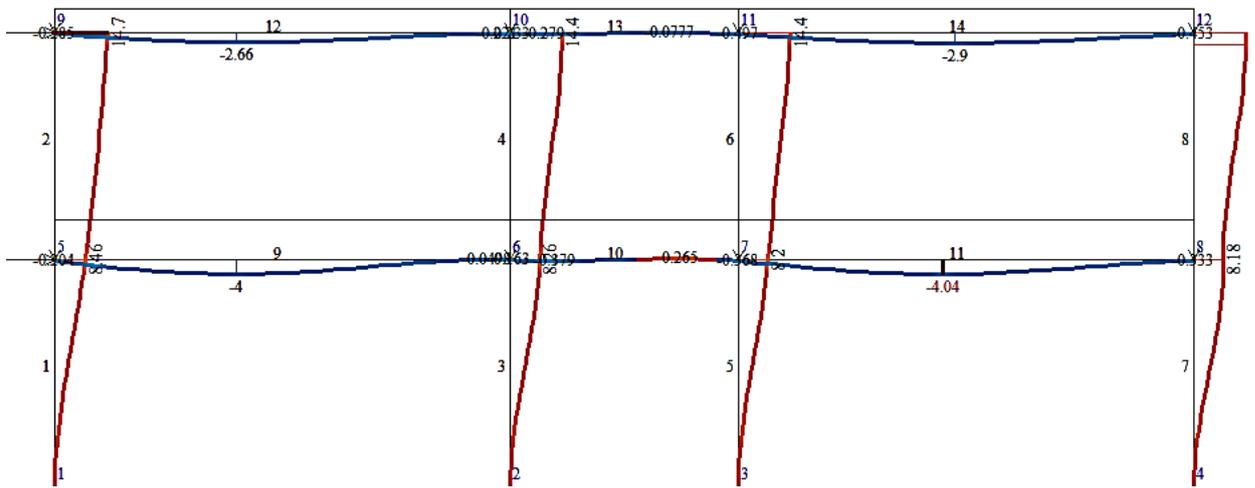
q_1, q_3 - постоянные нагрузки; q_2, q_4 - временные нагрузки;
 S_1, S_2 - сейсмические силы.

Результаты расчета, для обоих вариантов покрытий, в виде эпюр изгибающих моментов и перемещений приведены на рисунках 8,9,10,11.



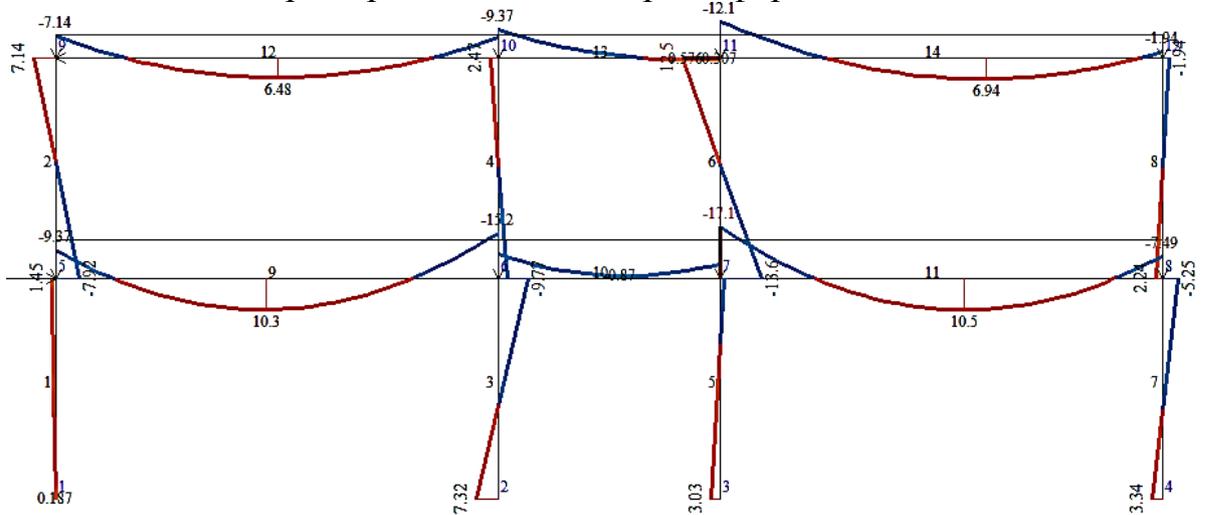
$$M_{1max}^I = 28,5 \text{ тм}, M_{1min}^I = -27,7 \text{ тм},$$

Рис. 8. Эпюра изгибающих моментов по первой форме колебаний. 1-variant.



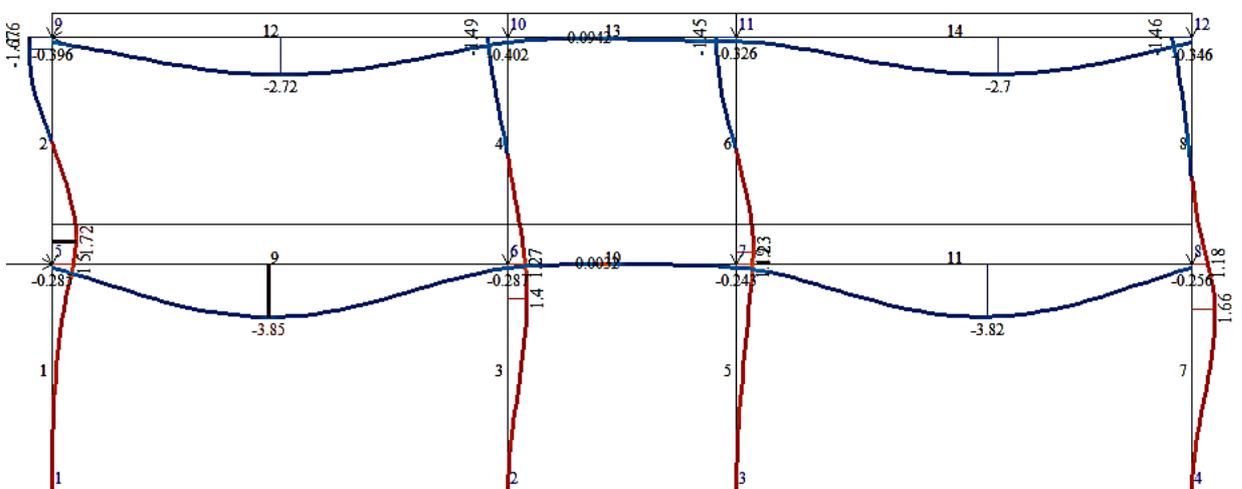
$$f_{1max}^I = 14,7 \text{ мм}, f_{1min}^I = -4,04 \text{ мм},$$

Рис. 9. Эпюры перемещений по первой форме колебаний. 1-variant.



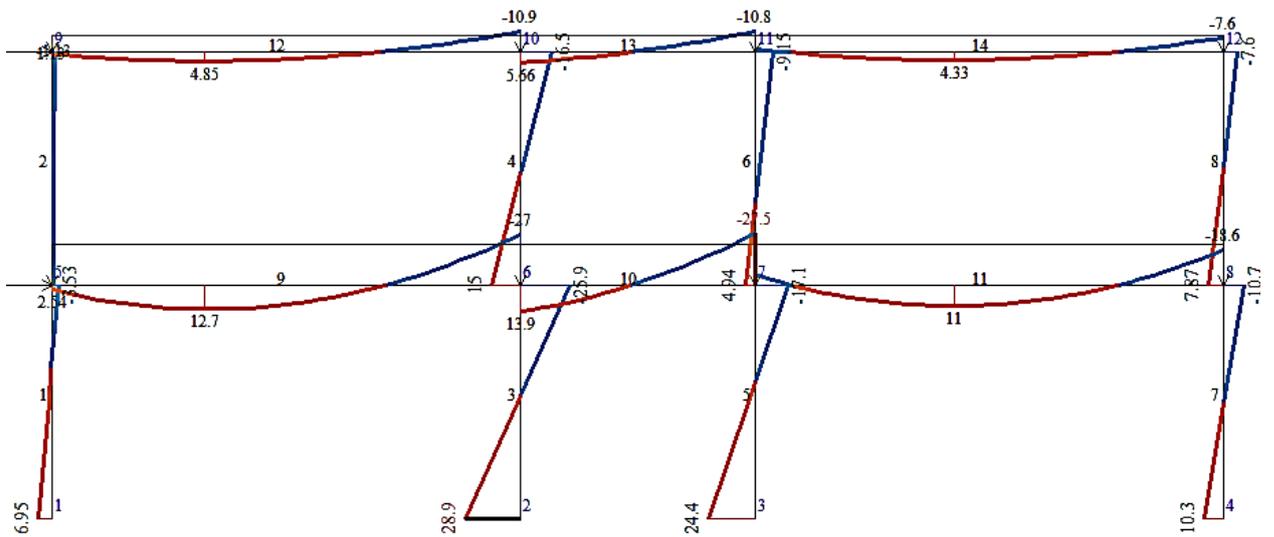
$$M_{1max}^{II} = 12,45 \text{ тм}, M_{1min}^{II} = -17,1 \text{ тм},$$

Рис. 10. Эпюры изгибающих моментов по второй форме колебаний. 1-variant.



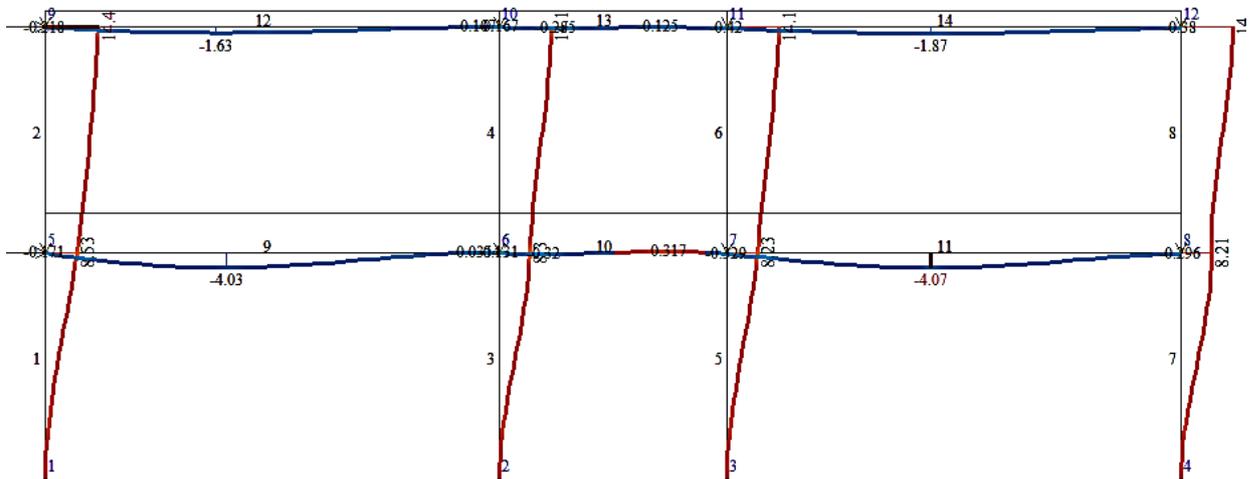
$$f_{1max}^{II} = 1,72 \text{ мм}, f_{1min}^{II} = -3,85 \text{ мм},$$

Рис. 11. Эпюры перемещений по второй форме колебаний. 1-variant.



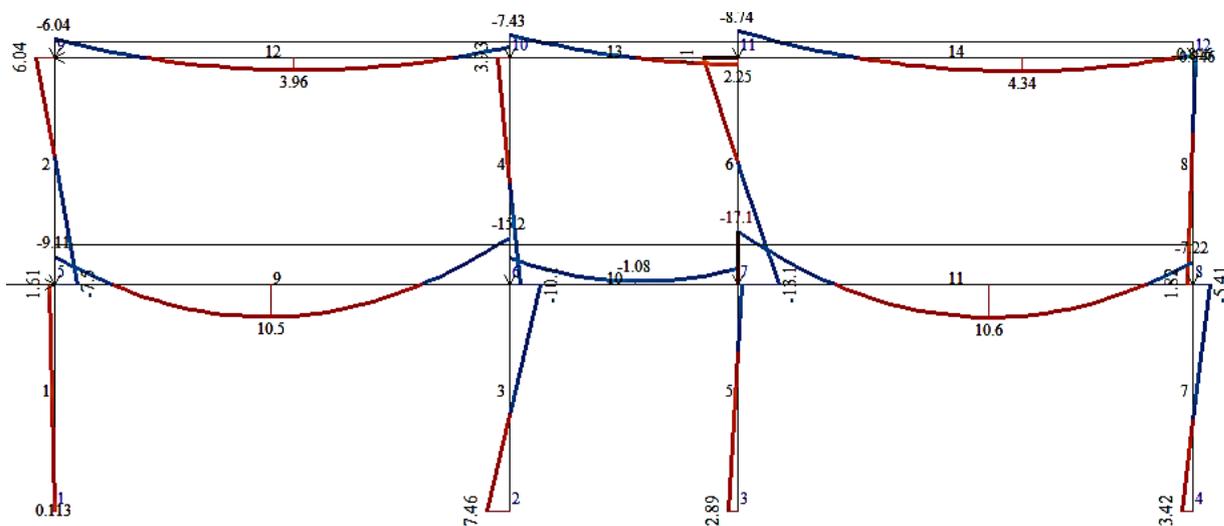
$$M_{2max}^I = 28,9 \text{ ТМ}, M_{2min}^I = -27,5 \text{ ТМ},$$

Рис. 12. Эпюры изгибающих моментов по первой форме колебаний. 2-variant.



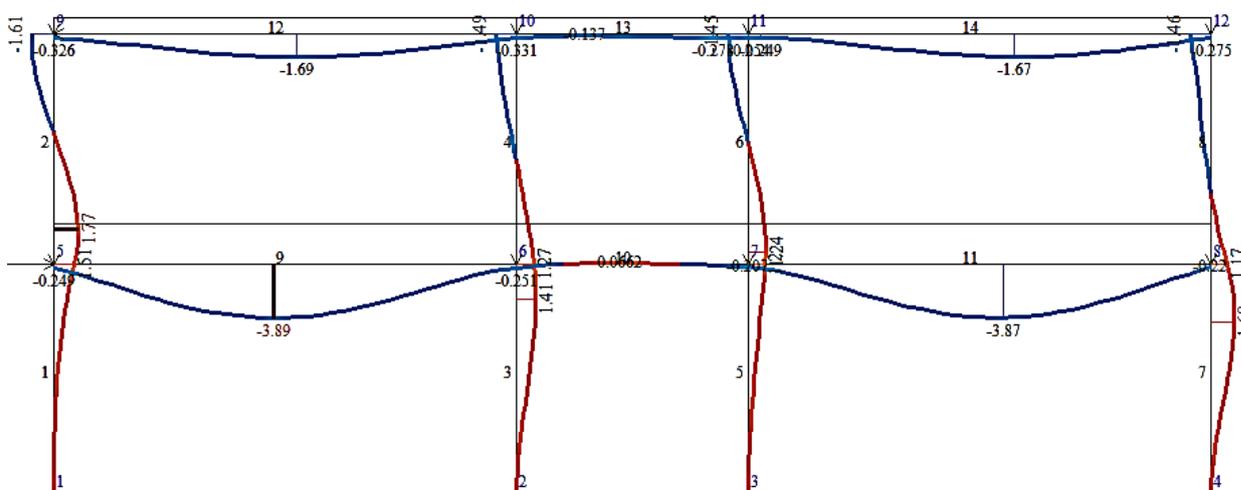
$$f_{2max}^I = 14,4 \text{ мм}, f_{2min}^{II} = -4,07 \text{ мм},$$

Рис. 13. Эпюры перемещений по первой форме колебаний. 2-variant.



$$M_{2max}^{II} = 10,6 \text{ ТМ}, M_{2min}^{II} = -17,1 \text{ ТМ},$$

Рис. 14. Эпюра изгибающих моментов по второй форме колебаний. 2-variant.



$$f_{2max}^{II} = 1,77 \text{ мм}, f_{2min}^{II} = -3,9 \text{ мм},$$

Рис. 5. Эпюра перемещений по второй форме колебаний. 2-variant.

Анализируя результаты расчета можно сделать следующие **выводы**:

1. Применение легковесных пустотных плит в двухэтажных зданиях не оказывает существенного влияния на величину сейсмических усилий и величину внутренних напряжений в несущих элементах первого этажа.

2. Уменьшение веса легковесной плиты существенно влияет на величину внутренних усилий в несущих элементах второго этажа двухэтажных зданий.

3. Уменьшение величины усилий позволяет уменьшить количество применяемой арматуры в несущих конструкциях в элементах второго этажа двухэтажных зданий.

4. Расчеты показали, что применение легковесных многопустотных плит покрытий в двухэтажных зданиях не оказывает существенного влияния на величину деформаций.

Это можно объяснить тем, что при определении сейсмических сил не учитывалась жесткость покрытий.

5. Расчеты показали, что влияние плиты покрытия из легкого бетона на сейсмостойкость зданий существенно. Следует отметить, что в расчетах объемный вес и жесткость бетона покрытия имеют первостепенное значение.

Поэтому большое внимание следует уделять созданию легких, достаточно прочных и обладающих достаточной жесткостью бетонов, а также изготовлению несущих конструкций из таких бетонов.

Список использованной литературы

1. Постановление Президента Республики Узбекистан ПП-3190 от 9 августа 2017 года «О мерах по совершенствованию проведения НИР в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан».
2. Постановление Президента Республики Узбекистан от 30 июля 2020 года № ПП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан».
3. КМК 2.01.03-2019 Строительство в сейсмических районах. Ташкент- 2019.
4. КМК 2.01.07-96 Нагрузки и воздействия. Ташкент 1996.
5. O.D. Davronov, B. Inomov, B.B. Xasanov. “Research of thermal properties of small blocks made of lightweight concrete on a porous filler from coal mining waste”. Toshkent shahridagi Yoju texnika institute. Central Asian Journal of Stem 1/2021.
6. Davronov O., Qahhorov A. “Yengil temirbeton tomyopmali, past qavatli binolarni seysmik ishonchliligini baholash”. “Bino va inshootlarning seysmik xavfsizligi, energiya samaradorligi, zamonaviy qurilishda innovatsion texnologiyalar” xalqaro ilmiy-texnik anjuman. TAQU. Toshkent 2024 y.
7. Шакиров Т.Т. «Технология получения пористого заполнителя из кварцевого порфира и отхода угледобычи для легкого бетона», Диссертация канд. техн. наук, Ташкент, 2010 г.
9. Амосов А.А., Синицин С.Б. Основы теории сейсмостойкости сооружений /Учебное пособие. Издательство Ассоциации строительных вузов, Москва 2010 -136 с.

10. Ромашкина М.А. Титок В.П. Программный комплекс «Лира» Руководство пользователя 2018.