

**СЕЙСМИК ҲУДУДЛАРДА ЗАМИН ГРУНТИ ВА ПОЙДЕВОР
ОРАСИДАГИ ЭЛАСТИК-ҚОВУШҚОҚ ЎЗАРО ТАЪСИР
ХУСУСИЯТИНИНГ КЎП ҚАВАТЛИ ҒИШТЛИ БИНОЛАРНИНГ
КУЧЛАНГАНЛИК-ДЕФОРМАЦИЯЛАНГАНЛИК ҲОЛАТИГА
ТАЪСИРИ**

**т.ф.ф.д., PhD. к.и.х. А.С. Ювмитов¹, С.У. Тошпўлатов², М.Ш.
Нишанбоев³**

¹ – ЎзР ФА М.Т. Ўрзбоев номидаги Механика ва иншоотлар сейсмик
мустаҳкамлиги институти

² – Тошкент архитектура-қурилиш институти

³ – Наманган мұхандислик-қурилиш институти

Аннотация: Ушбу мақолада сейсмик кучлар таъсирида кўп қаватли ғиштли биноларнинг пойдевори ва замин грунти орасидаги эластик-қовушқоқ ўзаро таъсир хусусиятининг бино кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатига таъсири тадқиқ қилинганд. Олинган сонли натижалар асосида қаватлардаги максимал кўчишлар, тезланишлар графиклари ҳамда ғиштли деворнинг деформация ва кучланганлик изополиялари келтирилган.

Калит сўзлар: Сейсмик таъсиrlар, интенсивлик, эластиклик, қовушқоқлик, кўчиш, тезланиш, нисбий кўчиш, ғиштли девор, фазовий бикрлик, бикр маҳкамланган таянч, механик кўрсаткичлар, қаватларнинг ҳисоб кўрсаткичлари.

**ВЛИЯНИЕ УПРУГОВЯЗКОГО СВОЙСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ФУНДАМЕНТА С ГРУНТОМ ОСНОВАНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МНОГОЭТАЖНОГО
КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ**

**д.ф.т.н., PhD. с.н.с. А.С. Ювмитов¹, С.У. Тошпулатов², М.Ш.
Нишанбоев³**

¹ – Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.
Уразбаева АН РУз

² – Ташкентский архитектурно-строительный институт

³ – Наманганский инженерно-строительный институт

Аннотация: В данной статье исследован влияния упруговязкого свойства взаимодействия фундамента с грунтом основания на

напряженно-деформированное состояние многоэтажного кирпичного здания при сейсмических воздействиях. На основе полученных результатов были приведены графики максимальных перемещений и ускорений по времени, изополии напряжений и деформации кирпичных стен.

Ключевые слова: Сейсмические воздействия, интенсивность, эластичность, вязкость, перемещение, ускорение, относительное перемещение, пространственная жесткость, жестко защемленная опора, механические свойства, расчетные параметры этажей.

INFLUENCE OF THE ELASTIC-VISCOUS PROPERTY OF THE INTERACTION OF THE FOUNDATION WITH THE BASE SOIL ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE MULTISTORY MASONRY BUILDING IN THE SEISMIC REGIONS

PhD, senior researcher. A.S. Yuvmitov¹, S.U. Toshpulatov², M.Sh. Nishanboev³,

¹ – Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures after named M.T. Urazbaev AS RUz

² – Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering

³ – Namangan Engineering Construction Institute

Abstract: In this article was studied the influence of the elastic-viscous property of the interaction of the foundation with the base soil on the stress-strain state of a multi-storey masonry building under seismic effects. On the basis of the results obtained, figures of the maximum displacements and accelerations in time, isofield stresses and deformations of masonry walls were presented.

Key words: Seismic effects, acceleration, intensity, elasticity, viscosity, displacement, acceleration, relative displacement, spatial rigidity, rigidly fixed support, mechanical properties, design parameters of the floors.

В настоящее время мировой научно-технический потенциал не в силах предсказать точное время, место и силу происходящих на планете сильных землетрясений. В последние десятилетия на планете существенно повысилась интенсивность нестационарного проявления сильных землетрясений [1].

Основным методом борьбы против происходящих землетрясений является обеспечение сейсмической безопасности зданий и сооружений при строительстве на основе последних достижений науки и техники, а также внедрение новых методик расчета и конструктивных решений на основе теоретических и экспериментальных исследований в отрасли сейсмостойкого строительства [2]. В связи с этим, в республике разработаны научно-технические, управленческие и организационные мероприятия по защите от сейсмической опасности с целью значительной степени уменьшить ущерб и потери от потенциальной сейсмической угрозы [3-5].

Проблема сейсмозащиты многоэтажных зданий и сооружений, расположенных в сейсмоактивных регионах, заключается в изучении конструкции зданий в процессе сейсмических колебаний с учетом влияния взаимодействия фундамента с грунтом основания.

В настоящее время по всему миру в научно-исследовательских институтах проводятся широкомасштабные исследования по изучению реального поведения влияния подземной части зданий и сооружений с грунтом основания в процессе сейсмических колебаний. Результаты теоретических и экспериментальных исследований зданий и сооружений показали, что взаимодействия фундамента с грунтом основания в какой-то степени предохраняет зданий и сооружений от последствий сильных землетрясений [6].

При расчете зданий на сейсмические воздействия по требованиям нормативных документов свойства грунта учитываются в виде соответствующих коэффициентов в зависимости от сейсмических свойств грунта, периода свободных колебаний здания по его категориям [7].

Расчетные модели грунтов учитываются при проектировании зданий и сооружений в виде различных математических моделей, а также их влияние сопоставляется и исследуется с предельными состояниями [8].

В данной статье, в отличие от расчетных моделей грунта, исследуется влияние упруговязких свойств фундамента, соприкасающегося с грунтом основания на колебания и напряженно-деформированное состояние здания при сейсмических воздействиях.

При исследовании колебания многоэтажного здания при сейсмических колебаниях динамическая расчетная схема получена как упругий консольный стержень с одним концом жесткого защемления с многими сосредаточенными массами на уровне этажах в соответствии с нормативного документа [7]. Ниже приведены расчетные схемы многоэтажного здания в виде жесткого защемления опоры, а также упругого и упруговязкого взаимодействия фундамента с грунтом основания с учетом вязкоупругого свойства материалов несущих конструкций этажей (рис.1).

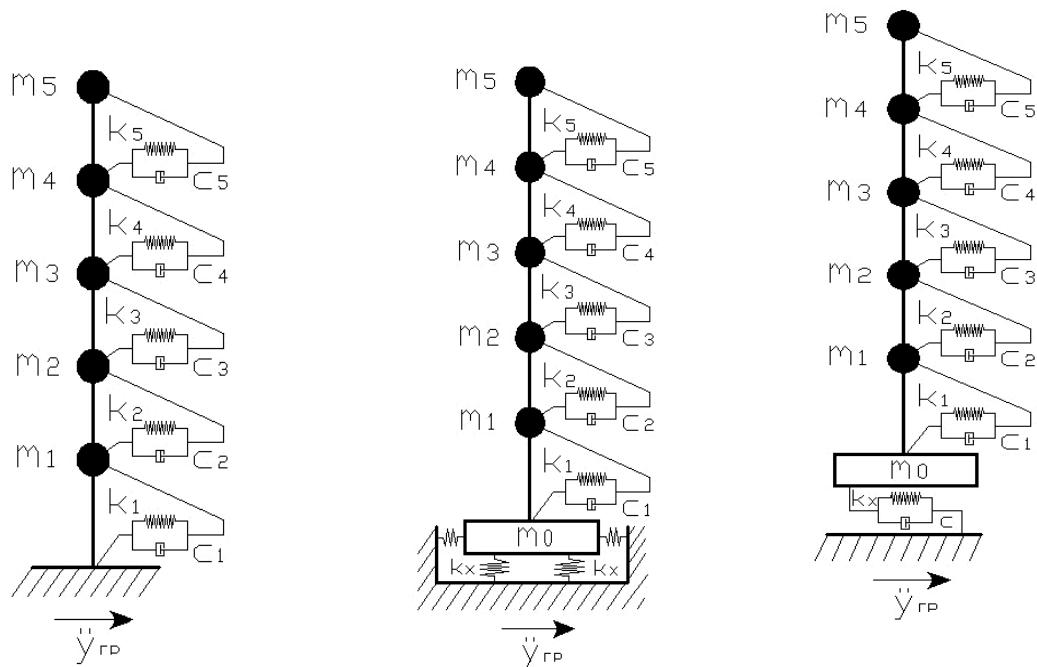


Рис.1. Расчетная схема многоэтажного здания, с жестким защемлением опоры (а), упругое взаимодействие фундамента с грунтом основания (б) и вязкоупругое взаимодействие фундамента с грунтом основания (в)

Система дифференциальных уравнений колебаний многоэтажного здания, сопровождающегося без учета и с учетом влияния взаимодействия фундамента с грунтом основания приведены в нижеследующем виде [8].

$$\begin{cases} m_n \ddot{y}_n + C_n(\dot{y}_n - \dot{y}_{n-1}) + k_n(y_n - y_{n-1}) = -m_n \ddot{y}_{ep} \\ m_{n-1} \ddot{y}_{n-1} - C_n(\dot{y}_n - \dot{y}_{n-1}) + C_{n-1}(\dot{y}_{n-1} - \dot{y}_{n-2}) - k_n(y_n - y_{n-1}) + k_{n-1}(y_{n-1} - y_{n-2}) = -m_{n-1} \ddot{y}_{ep} \\ \dots \\ m_2 \ddot{y}_2 - C_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + C_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_3(y_3 - y_2) + k_2(y_2 - y_1) = -m_2 \ddot{y}_{ep} \\ m_1 \ddot{y}_1 - C_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + C_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_0) - k_2(y_2 - y_1) + k_1(y_1 - y_0) = -m_1 \ddot{y}_{ep} \\ m_0 \ddot{y}_0 - C_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_0) - k_1(y_1 - y_0) + k_x y_0 = -m_0 \ddot{y}_{ep} \end{cases} \quad (1)$$

где, k_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n-1, n$) – жесткость этажей при сдвиге; y_i – перемещение этажей; \dot{y}_i – скорость этажей; \ddot{y}_i – ускорение этажей; y_0 – перемещение фундамента относительно грунта; \ddot{y}_{ep} – ускорение грунта основания; m_i – сосредоточенные массы этажей; m_0 – сосредоточенная масса фундамента; C_i – вязкость этажей.

При колебании здания от воздействия землетрясений подвергается смещение относительно основания. Жесткость основания при сдвиге k_x , площадь подошвы фундамента F_ϕ , боковые площади фундамента $F_{бок}$ трение и сжатие обозначается через $F_{сж}$ и определяется с помощью нижеприведенного выражения [9].

$$k_x = C_x F_\phi + C_x F_{бок} + C_z F_{сж} \quad (2)$$

где, k_x – жесткость фундамента; C_x – коэффициент сдвига грунта основания при равномерном распределении грунта, определяется по $C_x = 0,7 \cdot C_z$; C_z – коэффициент сжатия грунта основания при равномерном распределении;

F_ϕ - площадь подошвы фундамента; $F_{\text{бок}}$ - боковые площади фундамента, подвергающие трения; $F_{\text{сж}}$ - боковая площадь фундамента при сжатии.

В вышеприведенном выражении коэффициент C_z является коэффициентом жесткости при равномерно распределенном сжатии грунта и принимается его значение в зависимости от расчетного сопротивления грунта $R=1 \div 5 \text{ кгс}/\text{см}^2$ в пределах $C_z=2 \div 7 \text{ кгс}/\text{см}^3$.

Коэффициент вязкости этажей многоэтажного здания определяется на основе следующего выражения.

$$c = \frac{\psi}{2\pi} \sqrt{mk} \quad (3)$$

где, ψ коэффициент поглощения конструкций, m масса и k жесткость этажа.

Ниже в качестве примера исследования расчета было получено четырехэтажное кирпичное здание в серии 77, построенное в сейсмоактивном регоне республики.

Подсчитанные массы, жесткости и вязкости этажей существующего кирпичного здания по проектным данным следующие: $m_0=627150$; $m_1=698000$; $m_2=495000$; $m_3=495000$; $m_4=495000$; $m_5=368000 \text{ H}\cdot\text{с}^2/\text{м}$; $k_1=242,6 \cdot 10^8$; $k_2=16,08 \cdot 10^8$; $k_3=16,08 \cdot 10^8$; $k_4=16,08 \cdot 10^8$; $k_5=16,08 \cdot 10^8 \text{ H}/\text{м}$, $c_1=124,3 \cdot 10^5$; $c_2=c_3=c_4=26,9 \cdot 10^5 \text{ H}\cdot\text{с}/\text{м}$, $c_5=23,24 \cdot 10^5 \text{ H}\cdot\text{с}/\text{м}$.

Принимается внешние сейсмические воздействия на здание в виде затухающей синусоиды с учетом интенсивности сейсмических воздействий по действующей шкалы по определению интенсивности землетрясения [10]

$$\ddot{y}_{ep}(t) = Ae^{-\alpha t} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (4)$$

где: A - амплитуда ускорения грунта основания, которая в расчетах принята для интенсивности 9 баллов - $0,4g$ ($g=9,81 \text{ м}/\text{с}^2$), α - затухание грунта, в расчетах с учетом категории грунта строительной площадки принято значения $\alpha=0.15$; T - период колебания грунта, в расчетах для

низкочастотных колебаний принято значение $T=0,5$ с, а для высокочастотных колебаний принято значение $T=0,25$ с.

При учете взаимодействия фундамента с грунтом основания жесткость и вязкость основания с целью исследования рационального значения влияния коэффициент вязкости η принято от 0 до 1.

где, $k_x=4 \cdot 10^7$ Н/м, а также соответствующий коэффициент вязкости $\eta=0 \div 1$ с. (здесь $\eta = \frac{c}{k}$ - коэффициент вязкости опоры, c - коэффициент сопротивления опоры, k - коэффициент жесткости опоры).

Проведены расчеты с помощью программного пакета MathCAD четырехэтажного кирпичного здания на сейсмические воздействия с учетом системы дифференциальных уравнений (1) при жестком защемлении основании, при упругом (2), а также при вязкоупрочном (1) и (2) взаимодействии фундамента с грунтом основания при различных частот и интенсивности сейсмического воздействия (4). Полученные численные значения перемещений верхнего этажа здания с учетом вышеуказанных случаев приведены в виде графиков (рис.2-5).

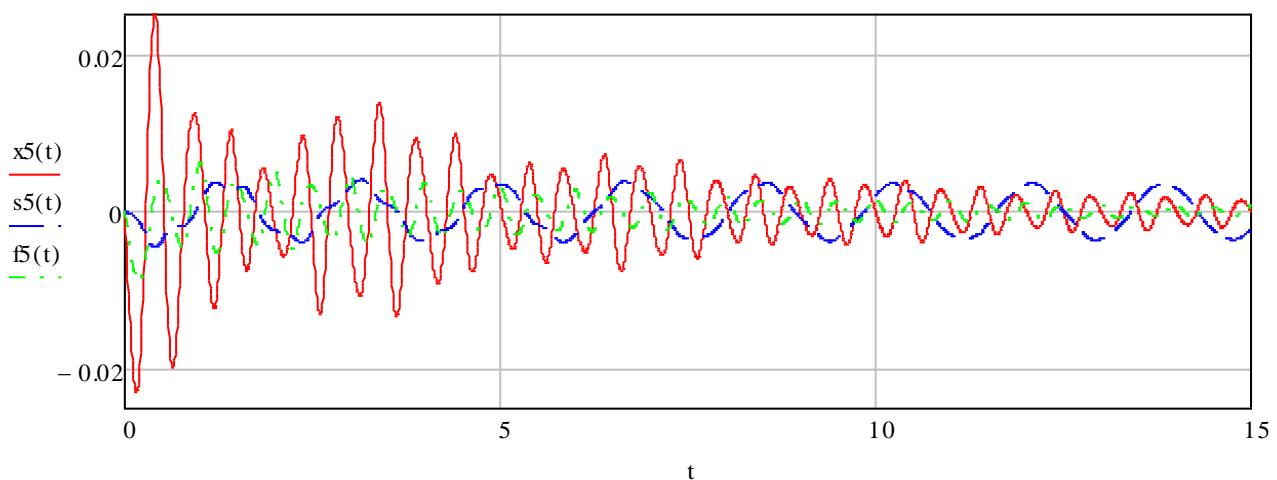


Рис.2. Перемещение последнего этажа здания при низкочастотных

колебаниях: жесткое защемление фундамента $x_5(t)$, упругое взаимодействие фундамента с грунтом $s_5(t)$ и вязкоупругое взаимодействие $f_5(t)$, м

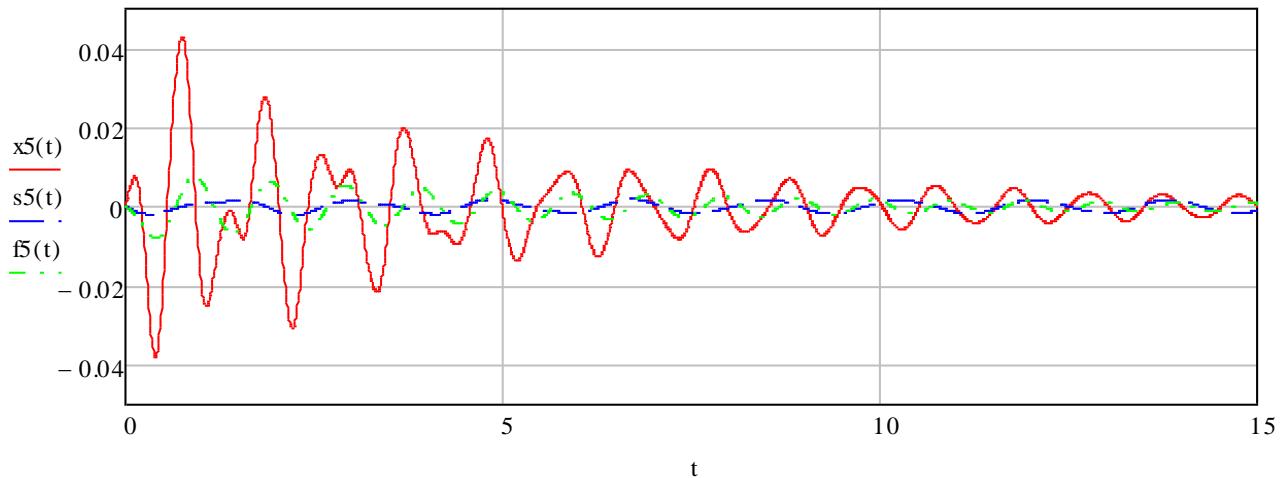


Рис.3. Перемещение последнего этажа здания при высокочастотных колебаниях: жесткое защемление фундамента $x_5(t)$, упругое взаимодействие фундамента с грунтом $s_5(t)$ и вязкоупругое взаимодействие $f_5(t)$, м

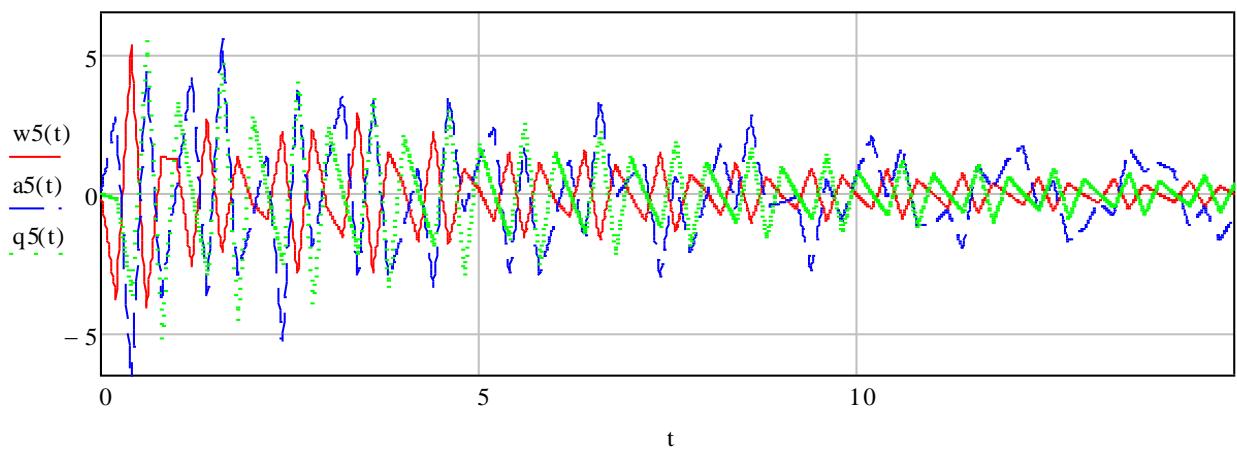


Рис.3. Ускорение последнего этажа здания при низкочастотных колебаниях: жесткое защемление фундамента $w_5(t)$, упругое взаимодействие фундамента с грунтом $a_5(t)$ и вязкоупругое взаимодействие $q_5(t)$, $\text{м}/\text{с}^2$

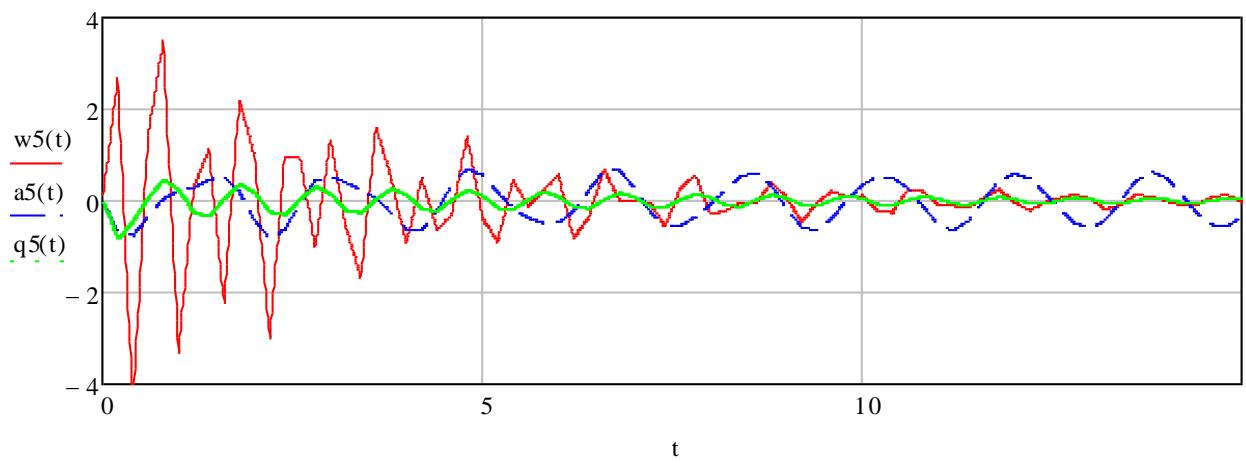


Рис.5. Ускорение последнего этажа здания при высокочастотных колебаниях: жесткое защемление фундамента $w_5(t)$, упругое взаимодействие фундамента с грунтом $a_5(t)$ и вязкоупругое взаимодействие $q_5(t)$, м/с^2

С целью исследования напряженно-деформированное состояние кирпичной кладки четырехэтажного кирпичного здания при различной частоты и интенсивности сейсмических воздействий с учетом взаимодействия фундамента с грунтом основания была создана расчетная модель многоэтажного здания с помощью программы Лира-9.6 [11].

При строительстве здания четырехэтажного кирпичного здания использован кирпич маркой М 75 и раствор маркой М 50. Категория кладки на основе прочностных характеристик кладки по [7] составляла II с временным расчетным сопротивлением на осевому растяжению по неперевязанным швам (нормальное сцепление) $1,2 \text{ кгс/см}^2 \leq R_{tb} < 1,8 \text{ кгс/см}^2$. Плиты перекрытия здания возведены из железобетонной многопустотной сборной плиты.

В результате расчета по полученным коэффициентам кирпичной кладки модуль упругости составляет $E_0 = 26000 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент

Пуассона кирпичной кладки составляет $\mu=0.25$, а также удельный вес кирпичной кладки составляет $\gamma=1800 \text{ кгс}/\text{м}^3$ [12].

Собраны соответствующие постоянные, длительные, кратковременные и особые нагрузки на основе нормативного документа [13].

Пространственная расчетная модель четырехэтажного кирпичного здания с соответствующими конечными элементами приведена на рис.6-7.

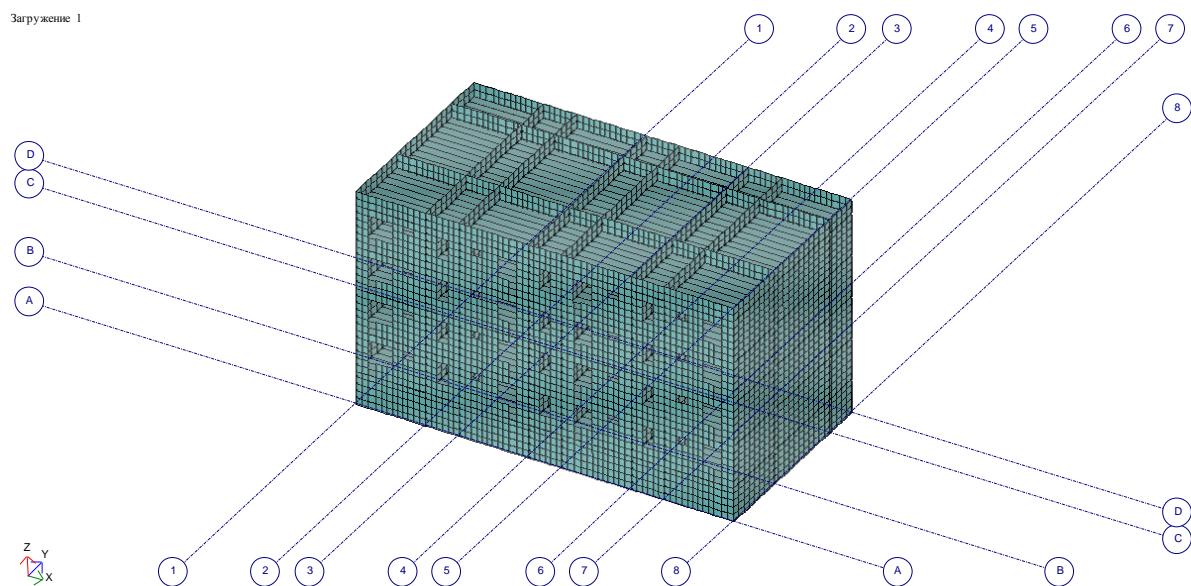


Рис.6. Пространственная расчетная модель здания,
вид с передней стороны

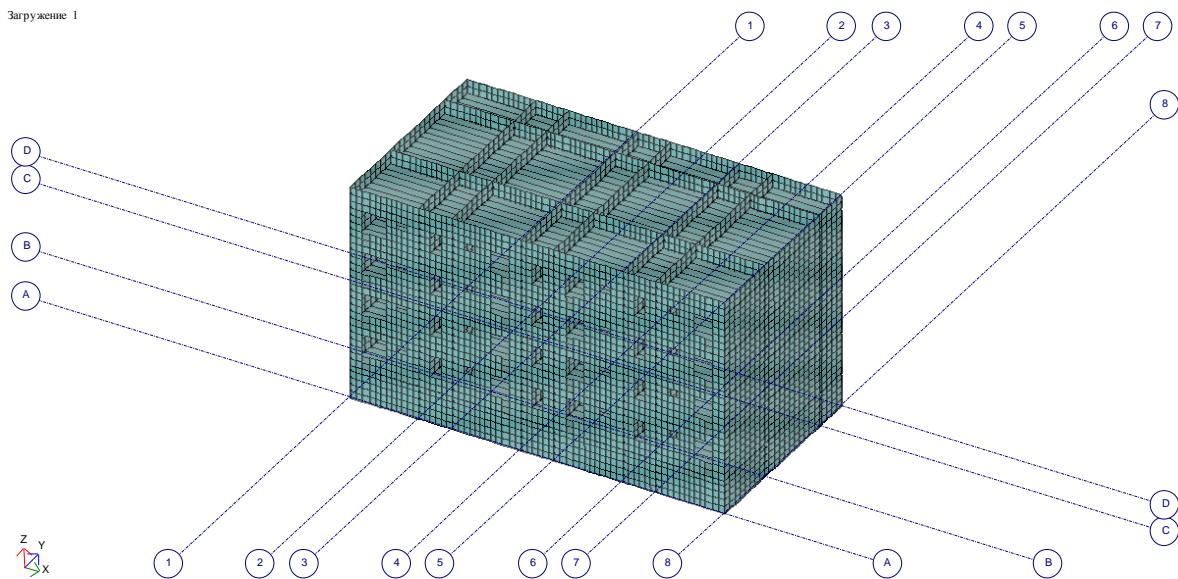


Рис.7. Пространственная расчетная модель здания,

вид с задней стороны

При определении напряженно-деформированное состояние кирпичного здания учет взаимодействия фундамента с грунтом основания включены в расчетную модель четырехэтажного здания на основе результатов, указанных на рис.2-5. Ниже приведены изополии эквивалентного напряжения и соответствующие деформации по осям кирпичной кладки четырехэтажного здания в результате учета различного типа взаимодействия фундамента с грунтом основания при сейсмических воздействиях (рис.8-19).

a)

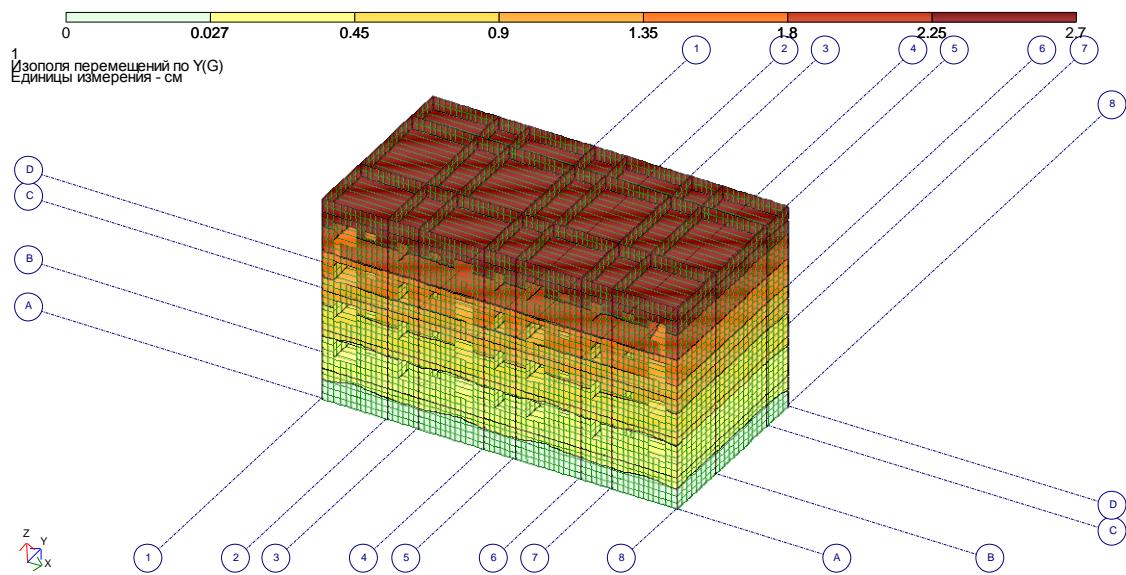


Рис.8. Изополя линейного перемещения по У при жестком защемлении фундамента с грунтом основания и низкочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

a)

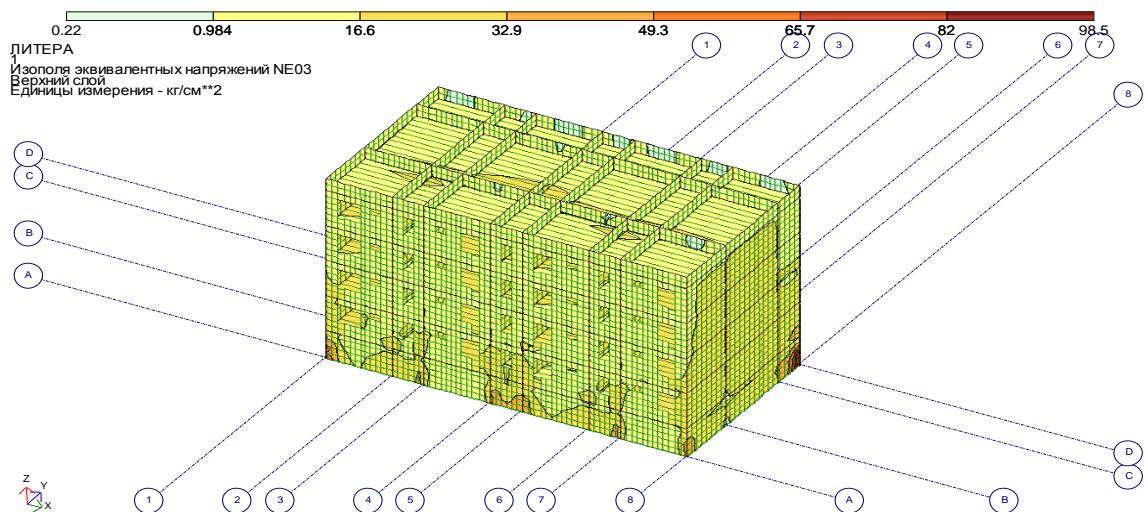


Рис.9. Изополя эквивалентных напряжений при жестком защемлении фундамента с грунтом основания и низкочастотных колебаниях: *(a)* в пространственном виде.

a)

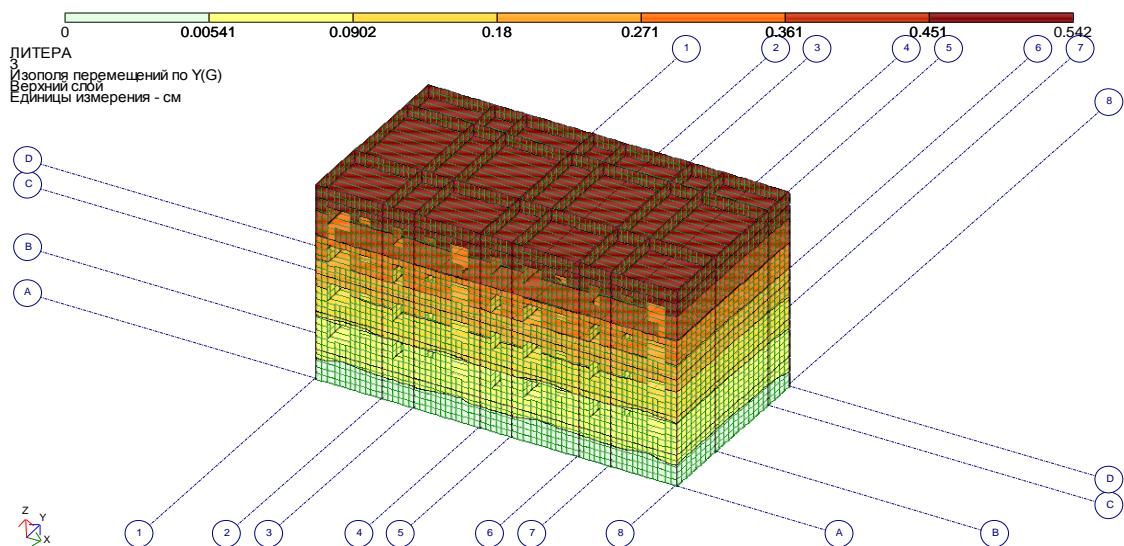


Рис.10. Изополя линейного перемещения по У при упругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и низкочастотных колебаниях: *(a)* в пространственном виде.

a)

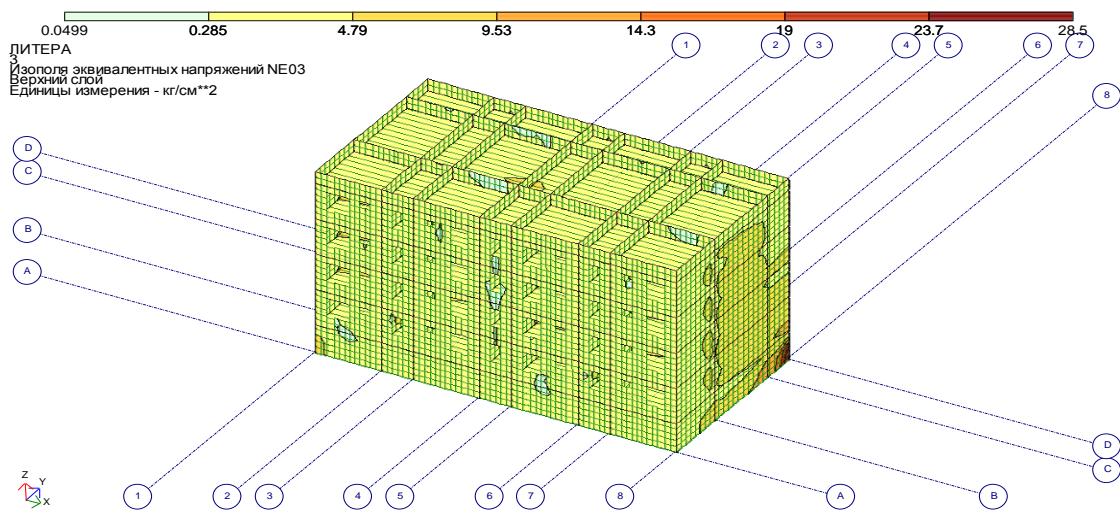


Рис.11. Изополя эквивалентных напряжений при упругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и низкочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

a)

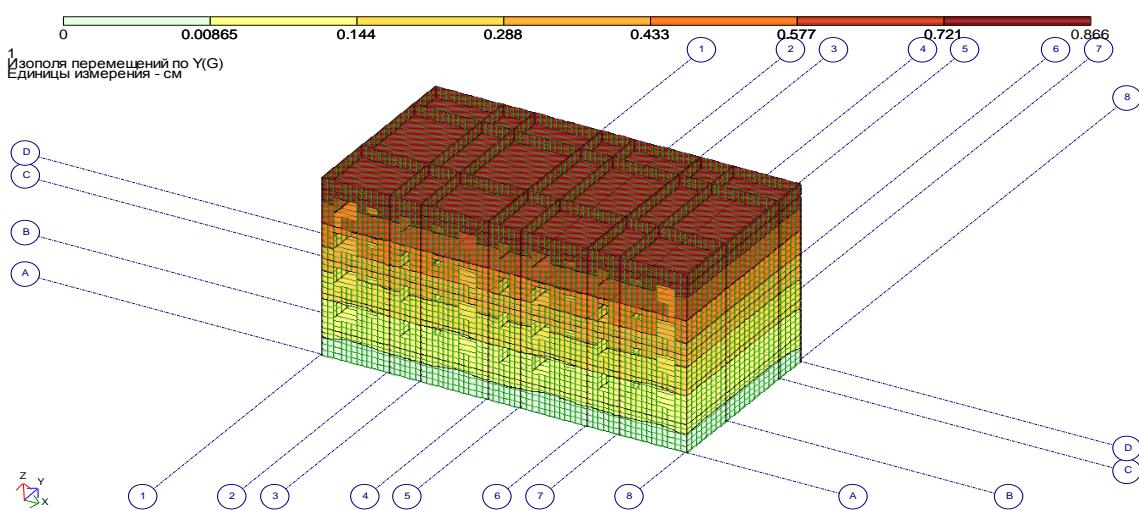


Рис.12. Изополя линейного перемещения по У при вязкоупругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и низкочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

a)

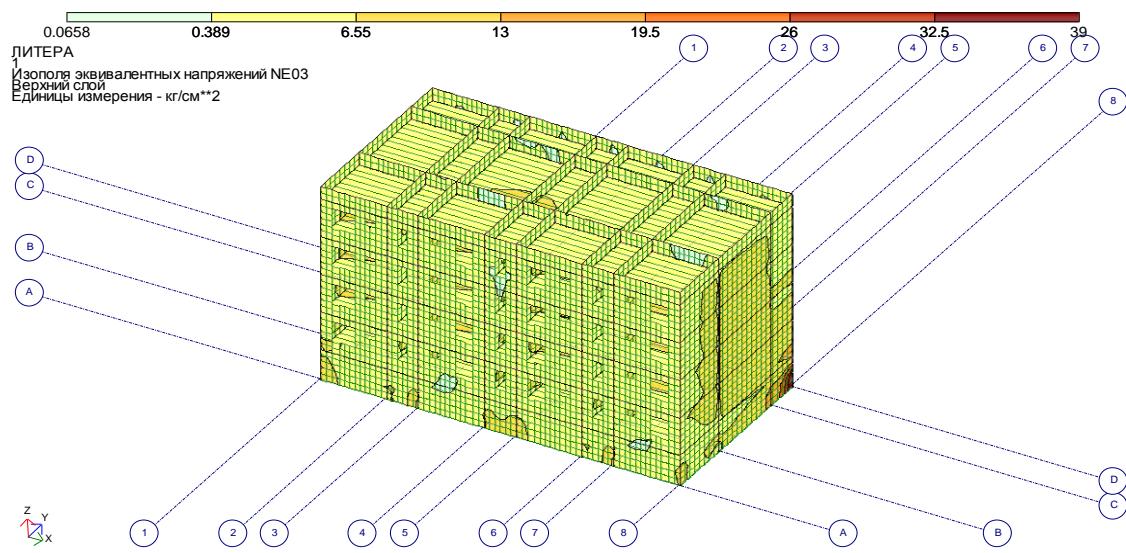


Рис.13. Изополя эквивалентных напряжений при вязкоупругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и низкочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

а)

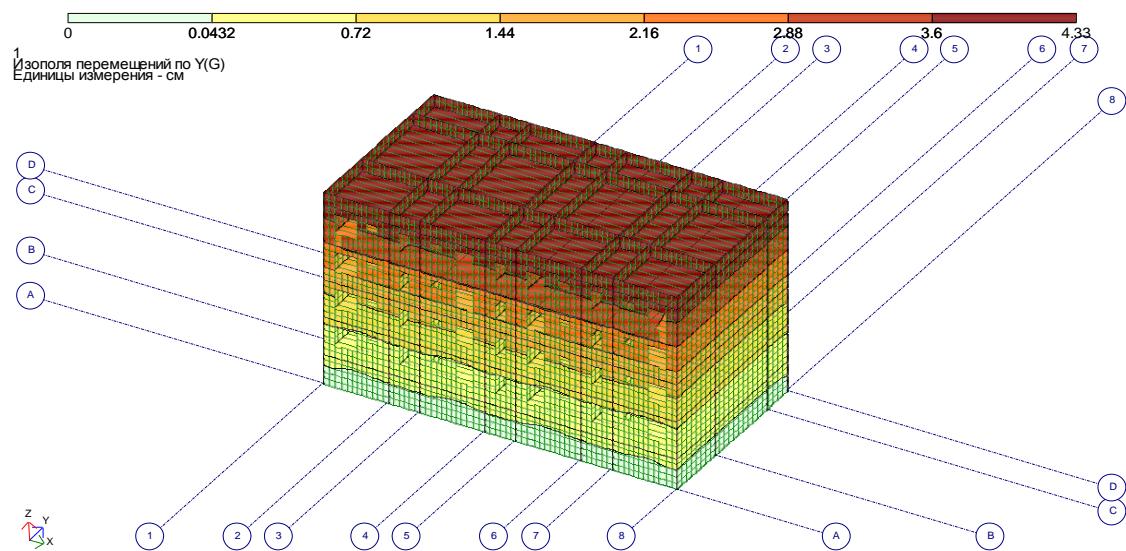


Рис.14. Изополя линейного перемещения по У при жестком защемлении фундамента с грунтом основания и высокочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

а)

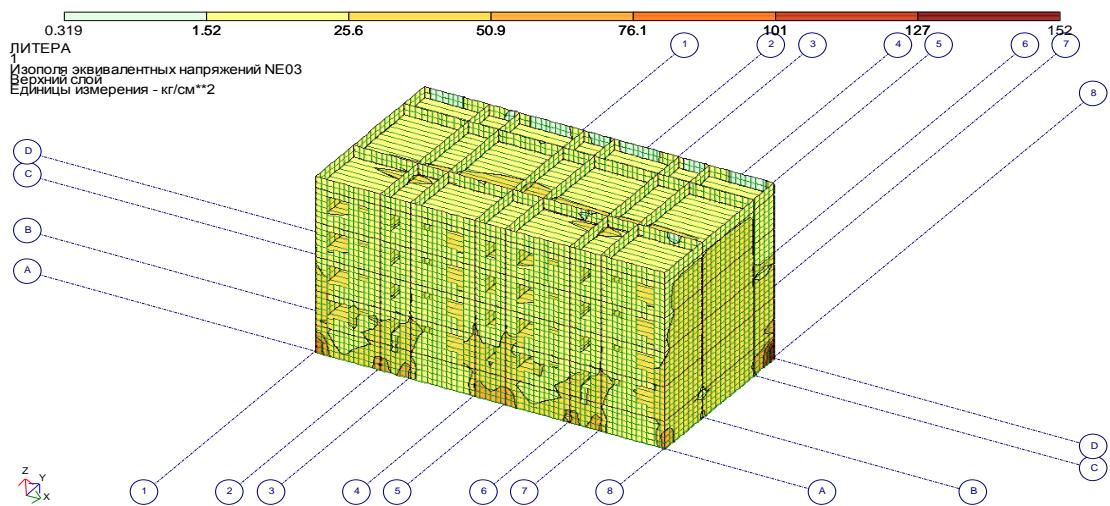


Рис.15. Изополя эквивалентных напряжений при жестком защемлении фундамента с грунтом основания и высокочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

a)

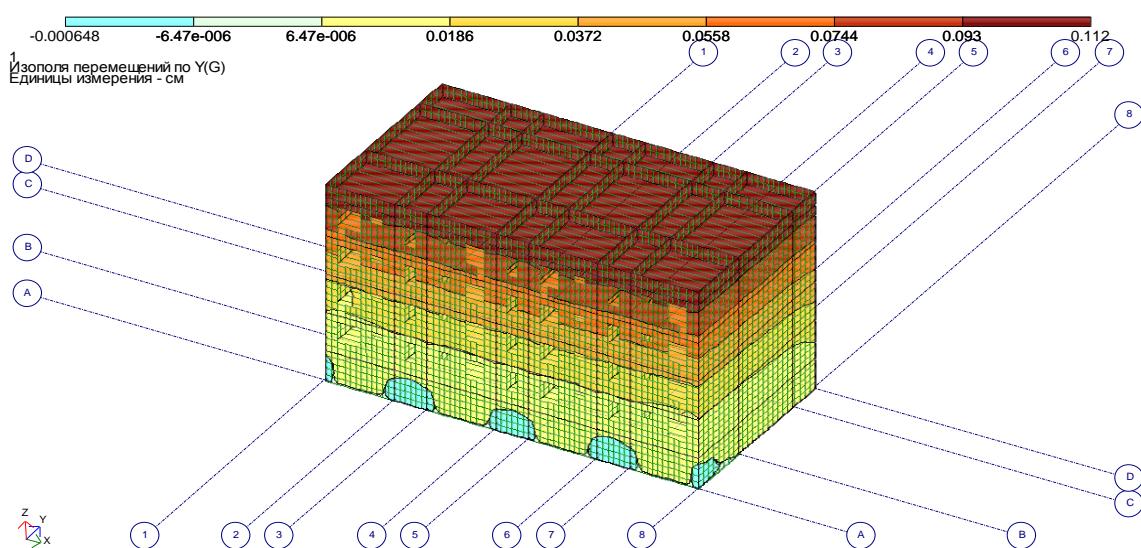


Рис.16. Изополя линейного перемещения по У при упругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и высокочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

a)

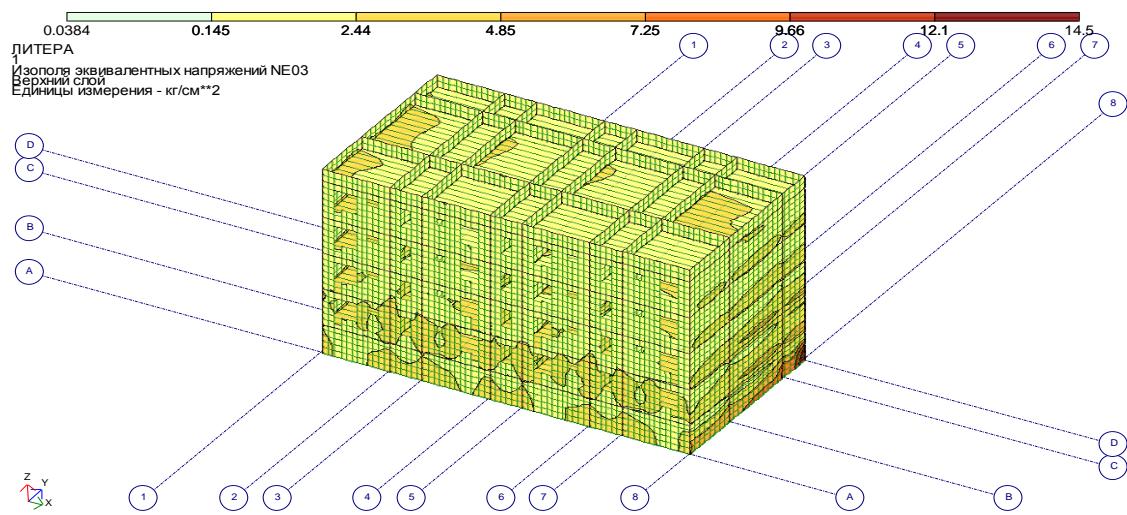


Рис.17. Изополя эквивалентных напряжений при упругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и высокочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде,

а)

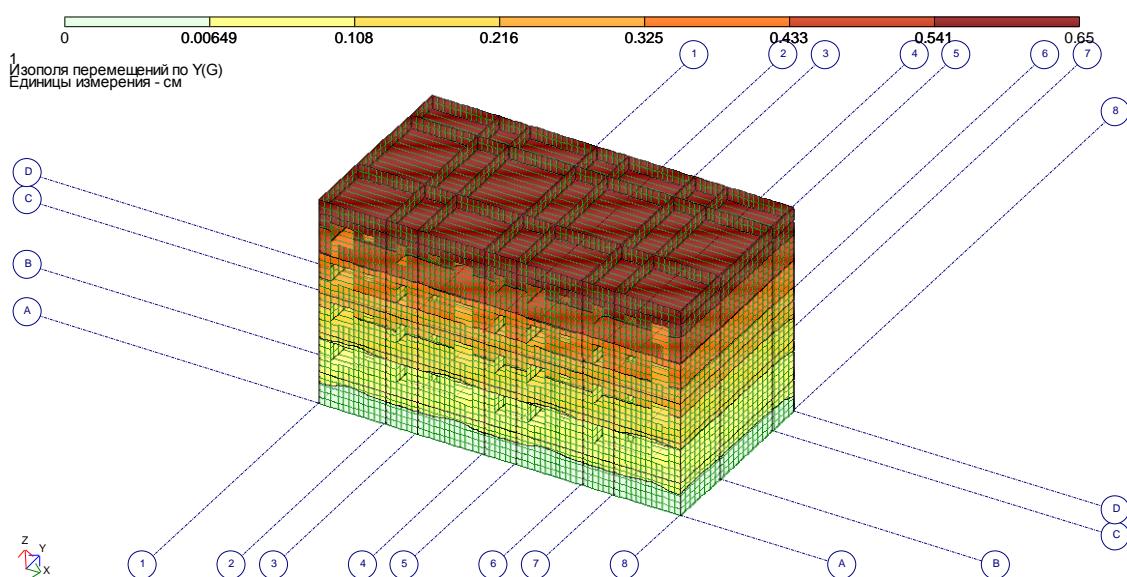


Рис.18. Изополя линейного перемещения по У при вязкоупругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и высокочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

а)

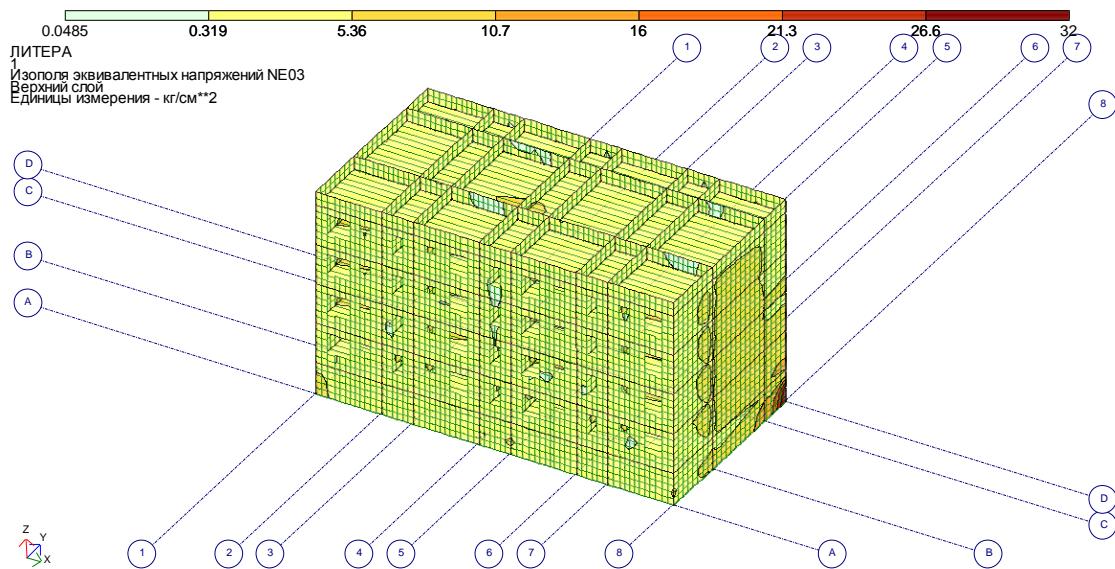


Рис.19. Изополя эквивалентных напряжений при вязкоупругом взаимодействии фундамента с грунтом основания и высокочастотных колебаниях: (а) в пространственном виде.

На основе сопоставления и анализа полученных численных результатов, указанных на рис.2-5 и изополии эквивалентных напряжений и соответствующей деформации на рис.8-19 с учетом различного типа взаимодействия фундамента с грунтом основания при интенсивности землетрясения 9 баллов можно сделать следующие соответствующие выводы:

При низкочастотных колебаниях основания перемещения верхнего этажа четырехэтажного кирпичного здания относительно жесткого основания перемещение верхнего этажа при учете упругого и вязкоупругого взаимодействия уменьшается более 2 раза, а также значение ускорения верхнего этажа почти одинаковое.

При высокочастотных колебаниях основания перемещение верхнего этажа четырехэтажного кирпичного здания относительно жесткого основания перемещение верхнего этажа при учете упругого взаимодействия уменьшается 6 раз, а также при учете вязкоупругого

взаимодействия более 2 раза. Ускорение верхнего этажа здания относительно жесткого основания при учете упругого и вязкоупругого взаимодействия уменьшается почти одинаковое.

При низкочастотных колебаниях основания максимальное значение эквивалентного напряжения в стенах четырехэтажного кирпичного здания относительно жесткого основания при учете упругого взаимодействия уменьшается в 3,45 раза, а также при учете вязкоупругого взаимодействия уменьшается в 2,5 раза.

При высокочастотных колебаниях основания максимальное значение эквивалентного напряжения в стенах четырехэтажного кирпичного здания относительно жесткого основания при учете упругого взаимодействия уменьшается в 7 раза, а также при учете вязкоупругого взаимодействия уменьшается в 4,75 раза.

Из вышеприведенного анализа результатов видно, что при высокочастотных колебаниях основания учет взаимодействия фундамента с грунтом основания влияет существенно, чем низкочастотных колебаниях основания.

Вышеприведенные данные получены для одного случая, при изменении категории грунта, тип фундамента, а также физико-механических свойств грунта строительной площадки можно получить другие подобные результаты, влияющие на динамические характеристики и напряженно-деформированное состояние многоэтажных зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.dsyst.ru/blog/avstraliiskie-uch-nye-o-seismicheskoi-aktivnosti.html>
2. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-3190 от 09.08.2017 года «О Мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан».

3. Закон Республики Узбекистан №713 от 13.09.2021 "Об обеспечении сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан".

4. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4794 от 30.07.2020 года «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан».

5. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №405 от 30.06.2021 «О внедрении системы оценки сейсмостойкости зданий и сооружений и формировании электронных технических паспортов».

6. A.S. Yuvmitov, S.R. Hakimov. Influence of seismic isolation on the stress-strain state of buildings. Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent, 2021, 11, 74-82.

7. КМК 2.01.03-19. "Строительство в сейсмических районах". Изменение №3. Ташкент. Министерство строительства РУз, 2019. - 111 с.

8. Баркан Д.Д. Динамика оснований и фундаментов. М.: «Стройвоенмориздат», 1948.-407 с.

9. Корчинский И.Л, Поляков С.В, Быховский В.А, Дузинкевич С.Ю., Павлик В.С. Основы проектирования зданий в сейсмических районах.-М.: Госстройиздат,1961.- 458 б.

10. Стандарт Республики Узбекистан РСТ РУз 836-97. Шкала для определения интенсивности землетрясения в пределах от 6 до 10 баллов. Государственный комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. Ташкент, 1997. - 8 стр.

11. Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговис В.Е., Гензерский Ю.В., Гераймович Ю.Д., Марченко Д.В., Титок В.П. ЛИРА 9.4. Руководство пользователя. Основы. Учебное пособие. – Киев: Изд. «Факт», 2008. – 164 с.

12. КМК 2.03.07-98. "Каменные и армокаменные конструкции". Ташкент, Государственный комитет по архитектуре и строительству Республики Узбекистан, 1998. - 106 с.

13. КМК 2.01.07-96. "Нагрузки и воздействия". Ташкент, Государственный комитет по архитектуре и строительству Республики Узбекистан, 1996. - 126 с.