

УДК 699.841

ПОВЫШЕНИЕ И ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МАЛОЭТАЖНЫХ КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.Ж. Раззаков, Б.Г. Жураев

Наманганский инженерно-строительный институт, Республика Узбекистан

e-mail: sobirjonrsj@gmail.com, jurayevbaxtiyor74@gmail.com

В статье приведены полученные выводы теоретических и экспериментальных исследований по сейсмостойкости одноэтажных кирпичных зданий с сейсмоизоляцией и без нее, в том числе, результаты научных исследований, основанные на определении и оценке напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмоизоляция, моделирование, кирпичное здание, сейсмостойкость, сейсмические воздействия, периоды колебаний, форма колебаний, программа ETABS, расчетная схема, нагрузки, жесткость, потенциальная энергия, кинетическая энергия, резинометаллическая пластина.

INCREASING AND ASSESSING THE EARTHQUICK RESISTANCE OF LOW-RISE BRICK BUILDINGS USING EARTHQUICK INSULATING ELEMENTS

S. Razzakov, B. Zhuraev

Namangan Engineering-Construction Institute, Uzbekistan

e-mail: sobirjonrsj@gmail.com, jurayevbaxtiyor74@gmail.com

The paper presents the obtained conclusions of theoretical and experimental studies on the earthquake resistance of single-story brick buildings with and without seismic insulation, including the results of scientific research based on the determination and evaluation of the stress-strain state.

Keywords: earthquake, seismic isolation, modeling, brick building, earthquake resistance, seismic effects, vibration periods, vibration form, ETABS program, calculation scheme, loads, stiffness, potential energy, kinetic energy, rubber-metal plate.

Введение. В мире все большее значение приобретает строительство сейсмобезопасных и удобных, энергоэффективных и сейсмостойких зданий на основе применения инновационных технологий, что считается важнейшим фактором в сейсмоактивных регионах. В странах Азии, Европы и Америки особое внимание уделяется вопросам изучения воздействия сейсмической силы на здания и сооружения, совершенствованию технологий проектирования и строительство сейсмостойких зданий, а также сооружений. В качестве примера можно привести современные проекты и строительства в Японии, Китае, Южной Корее, России, Белоруссии, США, Германии, во Франции, Италии, Турции, Катаре, Египте, Сингапуре и других развитых странах. В связи с этим одной из важных задач является определение основы неблагоприятных состояний, возникающих при различных динамических воздействиях в строительных конструкциях, использование моделирования при их изучении, обеспечение выполнения требований сейсмобезопасности при проектировании и расчете. Существующая статистика свидетельствует о том, что на территории развивающихся стран процент ущерба намного выше. К примеру, при густо-

населенных районах Калифорнии в 1989 и 1994 г. погибло 130 человек, а при двух землетрясениях такой же силы в Армении (1988г.) и Сахалине (1995г.) погибло более 27 тысячи, а в Турции (6.02.2023) около 50 тысяч. Ввиду этого, причина очевидна, что в развитых странах строже контроль, выше ответственность исполнителей и население более подготовлено к возможному землетрясению. К тому же мировой опыт показывает, что землетрясение неизбежно, но его трагические последствия-гибель людей и разрушение зданий могут быть значительно уменьшены [1-17].

А также, данное время важное значение имеет проектирование сейсмостойких зданий и сооружений, углубленное изучение последствий сейсмических колебаний, предотвращение возможных повреждений и убытков. При этом в общем виде остро стоит вопрос повышения и обеспечения сейсμβезопасности в целом. Высокоточные расчеты показывают, что поперечные сечения несущих конструкций зданий увеличиваются с повышением силы землетрясения. Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на экономике строительства и следовательно приводит к работе по поиску оптимальных вариантов [1; 6; 7; 10].

Более того в настоящее время во всех странах решая проблему обеспечения сейсмостойкости новых возводимых зданий, недостаточно поясняются, как поступать с ранее построенными не сейсмостойкими зданиями. В данное время отсутствуют четких разработанных исследователями рекомендаций применительно к возведенным малоэтажным зданиям. С другой стороны надо учесть, что задача по разработке рекомендаций по усилению ранее построенных зданий, имеет социальный характер и даст нам главного результата, которого в итоге мы очень хотим, где в значительной степени уменьшиться людских потерь и решается задача сохранение человеческой жизни [1; 4; 6; 7].

Методика исследований. Проведенные авторами анализ научно-исследовательских работ показал, что научно-исследовательские работы по применению сейсмоизоляции в кирпичных зданиях недостаточно изучены, в том числе, отсутствуют комплексные научные исследования по сопоставлению сейсмической безопасности и определению сейсмостойкости кирпичных зданий с сейсмоизоляцией и без нее [1; 2; 4; 6; 7; 13; 16].

В связи с этим, исходя из задачи исследований, в методику исследования были включены экспериментальные и теоретические исследования оптимальных решений моделей малоэтажных кирпичных зданий. Исходя из задачи исследований экспериментальные исследования проводились на стандартной сейсмической платформе, которая расположена на базе технопарка университета Турин, в городе Ташкенте, а теоретические исследования выполнены программой ETABS, а также по инженерной методике [2; 4; 5; 6; 7; 8].

Оценка прочности и сейсмостойкости зданий производились на основе следующих основных показателей:

- а) здания с сейсмоизолирующими элементами;
- б) без сейсмоизолирующих элементов.

А также на основе положений КМК 2.01.03-19 «Строительство в сейсмических районах» и положений Стандарта Республики Узбекистан РСТ Уз 836-97 «Шкала для определения интенсивности землетрясения в пределах от 6 до 10 баллов», разработанного на базе известной школы «MSK-64» и введенного в действие с 01.01.1998 г.

Экспериментальные исследование. Результаты и их анализ. Выбранное для исследования кирпичное здание – одноэтажное, имеет размеры в плане 4000×5000 мм, с высотой этажа 3000 мм, конструкционные материалы стены из жженого кирпича, передаваемая нагрузка $Q_1=291\text{кН}$, модуль упругости был принят $E=0,3\cdot 10^3$ МПа, расчетная прочность на сжатие $R=2$ МПа, фасадная часть имеет проемы (900×2100 мм; 1500× 1500 мм) (рисунок 1).

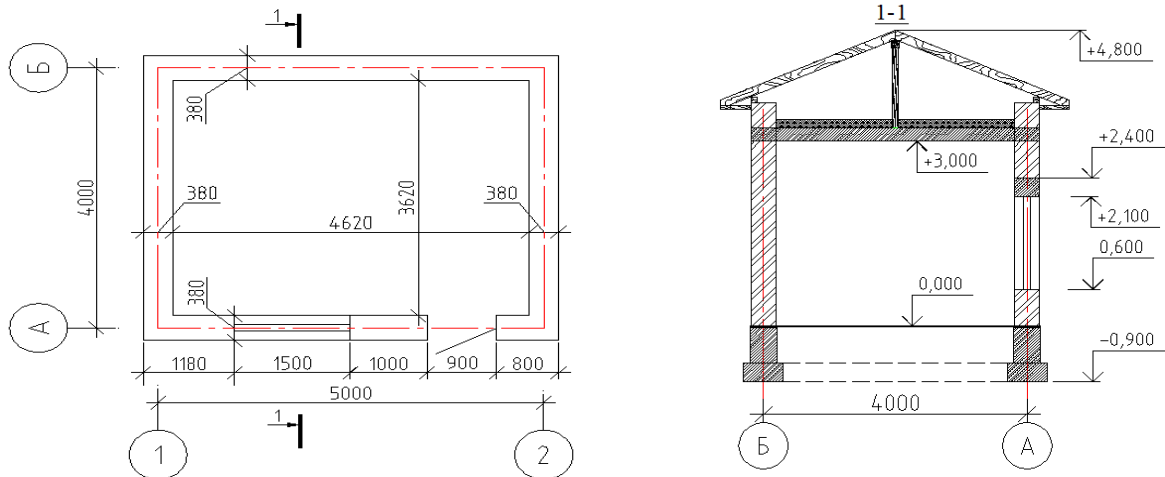


Рисунок 1. – План и разрез стен кирпичного здания

Сейсмостойкость кирпичных зданий на основании КМК 2.01.03-19 производилась по следующей последовательности:

1-этап: определение расчетной схемы.

2-этап: определение постоянных и временных нагрузок, при этом значения умножаются на коэффициент сочетания (0,9-для постоянных; 0,5-для кратковременных и 0,8-для длительных временных нагрузок).

3-этап: определение жесткости конструктивных элементов в продольных и поперечных направлениях.

4-этап: определение потенциальной и кинетической энергии по формулам

$$E_p = 0,5 \sum_{i=1}^n Q_i X_i; \quad E_k = \frac{0,5}{g} \sum_{i=1}^n Q_i X_i^2,$$

здесь E_p – потенциальная энергия;

E_k – кинетическая энергия;

X_i – амплитуда перемещения i -той массы;

Q_i – масса в i -той точке.

5-этап: определение периода собственных колебаний по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{E_k/E_p}.$$

6-этап: вычисление расчетной сейсмической нагрузки по КМК 2.01.03-19 п.2.13 в выбранном направлении, приложенной к точке “ k ” и соответствующей i -му тону собственных колебаний здания по формуле:

$$S_{ik} = K_0 \cdot K_n \cdot K_{эт} \cdot K_p \cdot \alpha \cdot Q_k \cdot W_i \cdot K_\delta \cdot \eta_{ik},$$

здесь K_0 – коэффициент ответственности ($K_0=1$) принимаемый по табл. 2.3;

K_n – коэффициент повторяемости ($K_n=1,2$ при 7 и 8 баллов, $K_n=1,25$ при 9 баллов) принимаемый по табл. 2.4;

- $K_{эм}$ – коэффициент этажности ($K_{эм}=1$), определяемый по п. 2.17;
 K_p – коэффициент регулярности, определяемый по п. 2.25;
 α – коэффициент принимается по таблице 2.7;
 Q_k – вес здания, по пункту 2.1;
 W_i – спектральный коэффициент по пункту 2,14;
 K_δ – коэффициент диссипации по пункту 2.16;
 η_{ik} – коэффициент зависимости от формы колебаний по пунктам 2.18 и 2.19.
 Коэффициент диссипации K_δ следует определять по формуле:

$$K_\delta = e^{(0,548 - \sqrt{\delta}) \left(0,1 + \frac{0,7}{\sqrt{T}}\right)},$$

здесь δ – декремент колебаний, определяемый при натурных испытаниях зданий, аналогичных проектируемым, если невозможно определить экспериментально, определяется по таблице 2.9;

T_i – период основного тона собственных колебаний здания.

7-этап: для зданий высотой до 5 этажей включительно с незначительно изменяющимися по высоте массами и жесткостями этажей, при $T_i < 0,4$ сек, коэффициент η_k допускается определить по упрощенной формуле КМК $\eta_k = \frac{X_k \sum_{j=1}^n Q_j X_j}{\sum_{j=1}^n Q_j X_j^2}$; здесь: X_k и X_j – расстояние от точек – k и j до верхнего обреза фундаментов, Q_j – вес сосредоточенной массы, определяемый с учетом требования п.2.1 КМК 2.01.03-19.

8-этап: распределение сейсмической нагрузки по осям в продольном и поперечном направлении, с учетом площадей сечений стен в плане [2; 6; 7; 8].

Также с целью определения теоретических форм колебаний производились расчеты на основе программного комплекса ETABS, которые являются одной из важнейших характеристик динамического состояния зданий. Они используются для расчета реакции на сейсмические воздействия с помощью линейной аппроксимации. Поскольку в исследованиях использовались модели зданий, расчеты проводились для 4-х форм колебаний зданий и полученные периоды колебаний приведены в таблице 1.

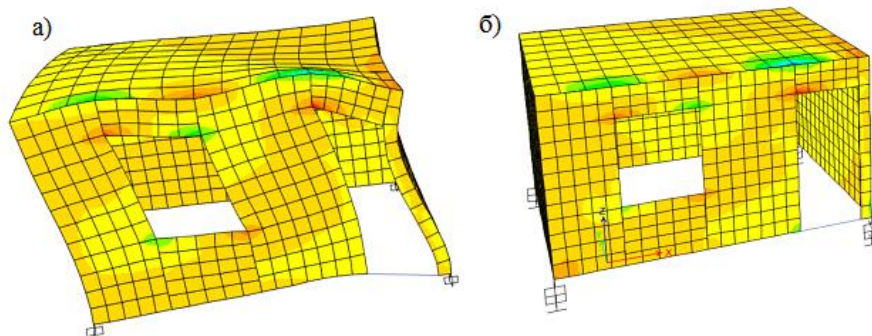
Таблица 1. – Периоды колебаний, соответствующие формам колебаний моделей зданий

Показатели	1-я форма	2-я форма	3-я форма	4-я форма
Период колебания здания без сейсмоизоляции – T, сек	0,059	0,053	0,034	0,029
Период колебания здания сейсмоизолированного здания –T, сек	0,077	0,0769	0,0579	0,049

Нам известно, что на практике экспериментальных исследований при изучении колебаний, в основном преобладающий характер имеет первая форма колебаний. Причина к этому мысленно понятно, что во-первых одноэтажное, а также из-за малых геометрических размеров моделей зданий. Последовательные 2-ая, 3-я и 4-ая формы колебаний, при таких ситуациях очень сложно уловить даже сверхчувствительными приборами. Конечно, всегда при этом надёжные результаты получаем через регистрацию с помощью соответствующих сверхчувствительных сейсмоизмерительных приборов. Также при этом имеется в виду, что регистрируя динамические характеристики зданий с помощью специальной сейсмометрической аппа-

ратуры, можно определить выше 2-й формы колебаний. Но независимо от этажа, с помощью теоретического расчета мы можем определить формы колебаний для любых взятых объектов, тем более ETABS обладает такими возможностями [2; 4; 6].

Ниже приведены результаты деформированного состояния зданий, соответствующие 1-й форме колебаний, полученные на основании расчета программы ETABS (рисунок 2).



а) – период колебания в зданиях без сейсмоизоляции $T=0,059$ сек;
б) – период колебания в зданиях с сейсмоизоляцией $T=0,077$ сек

Рисунок 2. – Первая форма колебаний, вызванная сейсмической силой

Первая форма колебаний соответствует самым медленным начальным колебаниям. Формы 2-3-4 и выше соответствуют горизонтальным колебаниям здания вокруг оси Z. При колебаниях вокруг оси XYZ наблюдаются также крутящие моменты во всех точках здания.

Также, определено ускорение, скорость и перемещение колебаний в кирпичных зданиях с сейсмоизоляцией и без нее. В том числе, определены сейсмические нагрузки на кирпичные здания с помощью комплексной расчетной программы ETABS (таблица 2).

Таблица 2. – Результаты, полученные на базе программы ETABS

Влияние землетрясения на здания	С сейсмоизоляцией			Без сейсмоизоляции		
	ускорение, м/сек ²	скорость, см/сек	перемещение, мм	ускорение, м/сек ²	скорость, см/сек	перемещение, мм
по оси - X	0,76	2,80	3,36	1,95	3,90	5,59
по оси - Y	0,38	0,41	0,56	1,24	0,69	0,78

Графики ускорения, скорости и перемещения в зданиях под воздействием сейсмических сил приведены ниже на рисунке 3.

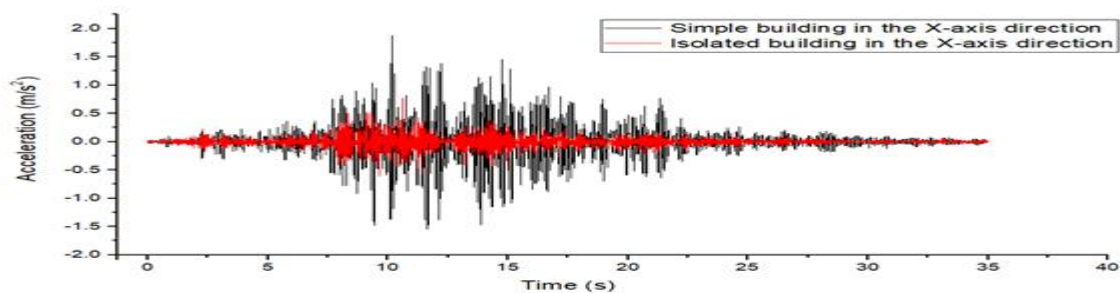


Рисунок 3. – Графики ускорения, скорости и перемещения сейсмоизолированных и без сейсмоизолированных моделей зданий (начало)

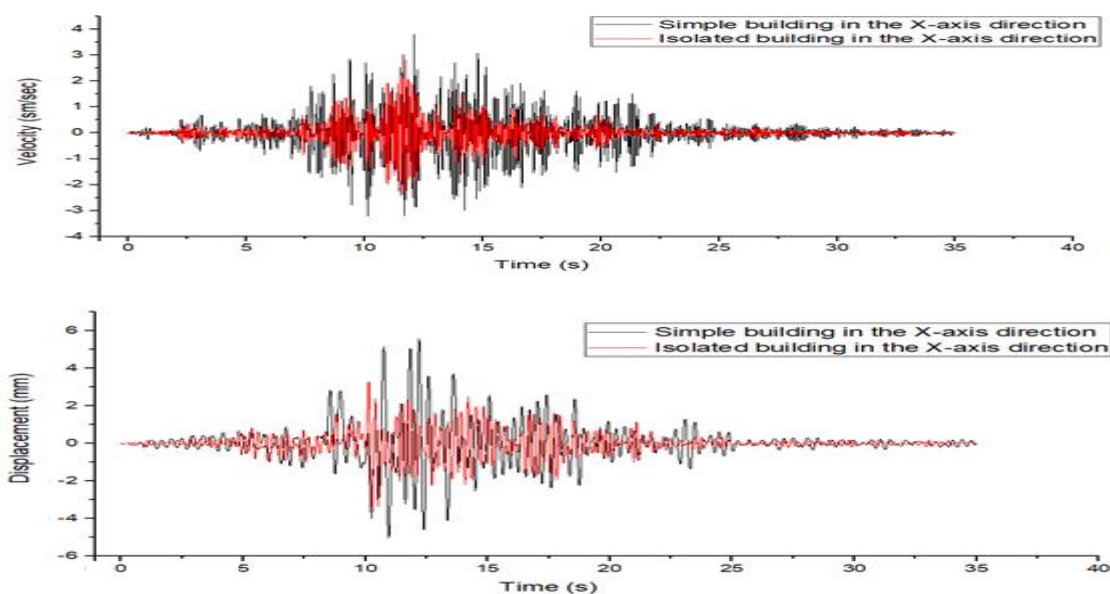


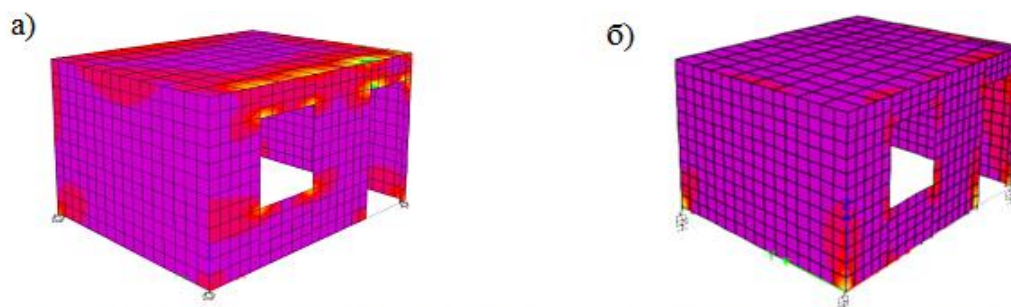
Рисунок 3. – Графики ускорения, скорости и перемещения сейсмоизолированных и без сейсмоизолированных моделей зданий (окончание)

В программе задавались сейсмические воздействия в один и тот же интервал времени (т.е. 35 сек) и на основании полученных результатов определены значения ускорения, скорости и перемещения. Определены и проанализированы относительные различия при использовании элемента сейсмоизоляции на кирпичном здании по сравнению со зданием без сейсмоизоляции.

В ходе проведения исследований определены и анализированы напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов здания под действием сейсмической нагрузки. С помощью интегрированной программы ETABS были рассчитаны напряжения и деформации, возникающие в конструкциях зданий с сейсмоизоляцией и без нее. При проведенном анализе напряженно-деформационного состояния конструкций под сейсмической нагрузкой было замечено, что напряжения и усилия в строительных конструкциях, где применялся элемент сейсмоизоляции, наглядно снижались (таблица 3).

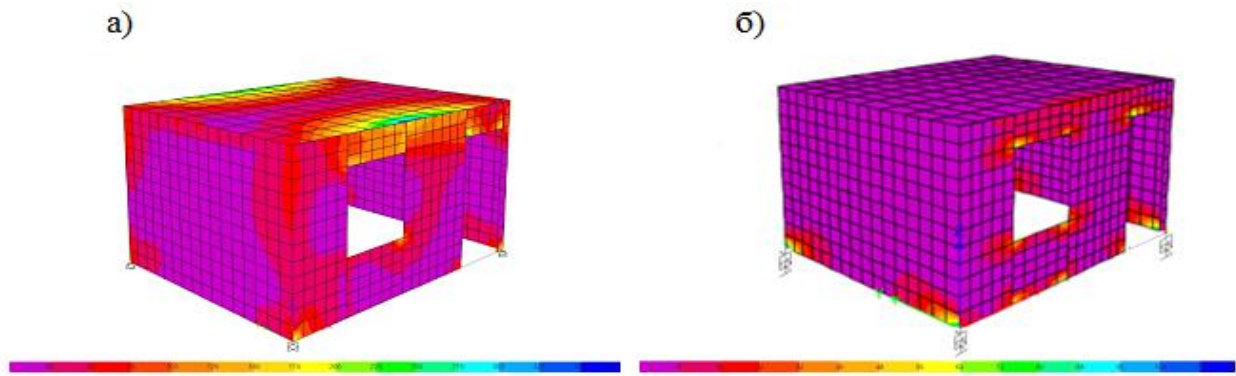
Таблица 3. – Напряженно-деформированное состояние в конструкциях зданий под действием сейсмической силы, полученное на основе метода конечных элементов

Характеристика здания	Напряжение, МПа		Касательное напряжение, τ_{xy} , МПа	Усилие в конструкциях зданий, кН/м
	по оси-X	по оси-Y		
с сейсмоизоляцией	218	112	77	56,9
без сейсмоизоляции	340	375	109	98



а) – без сейсмоизоляции; б) – с сейсмоизоляцией

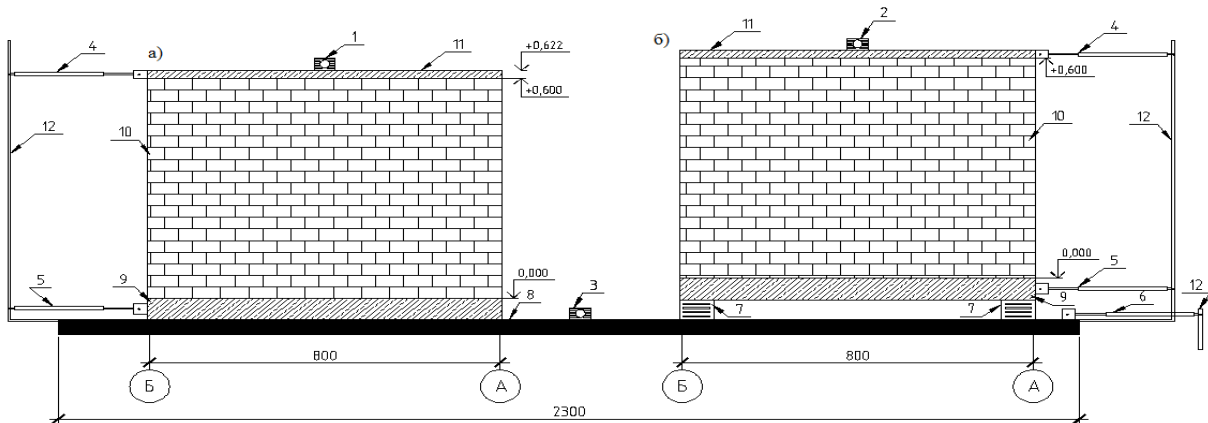
Рисунок 4. – Нормальные напряжения в зданиях, вызванные сейсмической силой по оси X



а) – без сейсмоизоляции; б) – с сейсмоизоляциями

Рисунок 5. – Нормальные напряжения в зданиях, вызванные сейсмической силой по оси Y

Подготовка моделей зданий для сейсмических испытаний на «Сейсмоплатформе СП-116» и получение результатов.



а) – без сейсмоизоляции, б) – с сейсмоизоляцией; 1 и 2 – установленные датчики на покрытие здания (акселерометры в направлениях X и Y); 3 – установленные датчики на сейсмоплатформе (акселерометры в направлениях X и Y); 4 – потенциометры для перемещения установленный на уровне покрытия; 5 – потенциометры для определения перемещения установленные на уровне фундамента; 6 – потенциометр для определения перемещения на сейсмоплатформе; 7 – эластомерные опоры; 8 – сейсмоплатформа (СП-116); 9 – фундамент здания; 10 – кирпичная стена; 11 – конструкция покрытия; 12 – металлический кронштейн для крепления датчиков

Рисунок 6. – Схема установки измерительных приборов в характерных точках



Рисунок 7. – Процесс экспериментирования на сейсмоплатформе СП-116 и вид записывающих устройств

Для регистрации ускорения и смещения модели здания под воздействием динамических сил используются одноосные датчики-акселерометры (1), разработанные японской компанией Akashi, датчики положения LVDT AML/EU 10+/150 мм (2), датчики потенциометра линейного перемещения GOA, разработанные в США, а также Использовано WX-7000 128 записывающее устройство (3) каналов японской компании TEAC.

С помощью измерительного комплекса на модели здания подавались и тестировались низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные вынужденные колебания, а с помощью программы “Matlab” построены соответствующие графики перемещений, ускорений и скоростей в характерных точках [2; 7; 8].

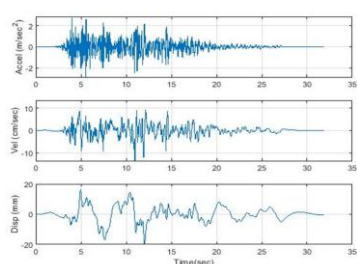


График колебаний СП-116.
Ускорение – 2,743 м/сек²;
скорость – 9,253 м/сек;
перемещения – 16,19 мм

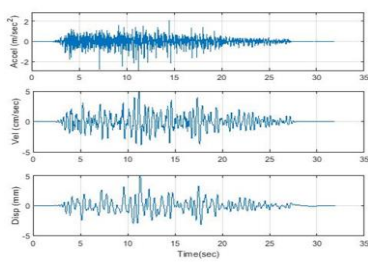


График колебаний Без сейсмоизоляции по направлению оси - X
Ускорение – 2,108 м/сек²;
скорость – 4,892 м/сек;
перемещение – 5,091 мм

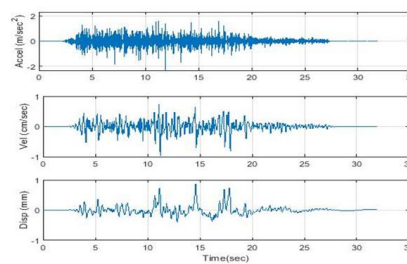


График колебаний Без сейсмоизоляции по направлению оси - Y
Ускорение – 1,611 м/сек²;
скорость – 0,7792 м/сек;
перемещение – 0,8781 мм

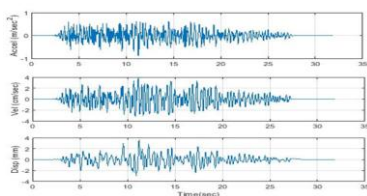


График колебаний с сейсмоизоляцией по направлению оси - X
Ускорение – 0,6271 м/сек²;
скорость – 3,959 м/сек;
перемещение – 3,609 мм

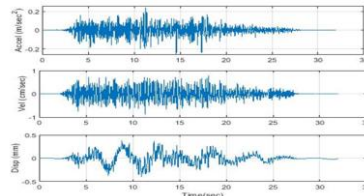


График колебаний с сейсмоизоляцией по направлению оси - Y
Ускорение – 0,2409 м/сек²;
скорость – 0,7315 м/сек;
перемещение – 0,3803 мм

Рисунок 8. – График максимальных значений вибрации при сейсмическом воздействии

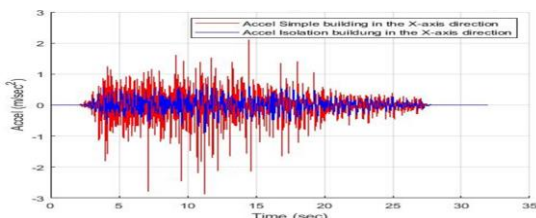


График сравнения вибрации по оси - X модели здания:
без сейсмоизоляции - 2,108 м/сек²;
с сейсмоизоляцией - 0,6271 м/сек²

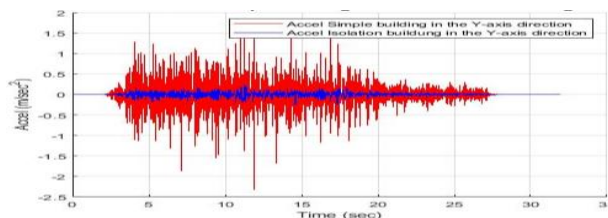


График сравнения вибрации по оси - Y модели здания:
без сейсмоизоляции - 1,611 м/сек²;
с сейсмоизоляцией - 0,2409 м/сек²

Рисунок 9. – Сравнительный график колебаний по осям X и Y зданий без сейсмоизоляции и с сейсмоизоляцией под воздействием сейсмической силы

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. За счет повышения пластичности резинометаллической сейсмоизоляции повышается уровень поглощения энергии, образующейся в процессе колебаний и тем самым происходит гашение колебаний. Это, в свою очередь, позволяет снизить расчетную интенсивность землетрясений на 1÷1,5 балла при проектировании зданий в сейсмических районах.

2. На основе теоретически-экспериментального подхода установлено, что применение конструкций с элементами сейсмоизоляции в кирпичных зданиях снижает сейсмическую силу в 2-3 раза. Это позволяет снизить уровень сейсмичности строительной площадки на 1-1,5 балла (с запасом прочности) при проектных работах.

С учетом линейных деформаций элемента сейсмоизоляции в программном комплексе ETABS получены комплексные научные результаты по напряженно-деформированному состоянию, прочности, ускорению, скорости и перемещению зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Razaqov S.J., Jurayev B.G. "Simulation of single storey brick buildings and testing with a seismic platform" // Journal of Engineering and Technology (JET) ISSN(P):2250-2394; ISSN(E): Applied Vol. 13, Issue 1, 2023, 27–36
2. Razaqov S.J., Juraev B.G. modeling of one-story brick buildings and testing with seismic platform / Innovative technologies in construction 2023/1, part 2 - GOLDEN BRAIN, 2023 <https://zenodo.org/records/8194773>.
3. Mavlonov R. and Razzakov S. Numerical modeling of combined reinforcement concrete beam, V International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering" CONMECHYDRO, E3S Web of Conferences (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103007>.
4. Razzakov S. and Martazaev A. Mechanical properties of concrete reinforced with basalt fibers, V International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering" CONMECHYDRO, E3S Web of Conferences (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105003>.
5. Раззаков С.Ж., Жураев Б.Г. Определение динамических характеристик кирпичных зданий на основе компьютерной программы // ФарПИ Научно-технический журнал. Фергана - 2022. Том 26, спецвыпуск №2. – С. 39-45
6. Jurayev B.G., "Selection of Geometric Dimensions of Active Seismic Protection of Buildings" // ISSN: 2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Monthly, Peer-Reviewed, Refereed, Indexed Journal (№8) Scientific Journal Impact Factor: 6.684, Volume – 8, Issue – 1, - 2021.
7. Жураев Б.Г. Повышение и оценка сейсмостойкости малоэтажных кирпичных зданий с использованием сейсмоизолирующих элементов: автореферат дис. ... доктора философии (PhD) по техническим наукам: 05.09.01 - Наманган – 2023.
8. Жураев Б.Г. Расчет малоэтажного кирпичного здания на сейсмическое воздействие в программе ПК ЛИРА // «Инновации в строительстве, конструктивная и сейсмическая безопасность зданий и сооружений», сборник материалов международной научной и научно-технической конференции, Наманган-2021. 11-13 ноября. – С. 685-688.
9. Раззаков С.Ж., Холбоев З.Х., Косимов И.М. Определение динамических характеристик модели зданий, возведенных из малопрочных материалов //архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – 2020. – С. 74-79.
10. Молодин В.В., Раззаков С.Ж., Жураева А.С. Определение напряженно-деформированного состояния пространственной модели здания // Innovations in construction, energy-saving technologies, construction and seismic safety of buildings and structures. – 2019. – С. 7-9.
11. Razzakov S.J., Juraev B.G., Juraev E.S. Sustainability of walls of individual residential houses with a wooden frame // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2018. – Т. 14. – № 5. – С. 427-435.
12. Раззаков С.Ж., Жураев Б.Г., Жураев Э.С. Устойчивость стен индивидуальных жилых домов с деревянным каркасом //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2018. – Т. 14. – №. 5.

13. Раззаков С.Ж., Мирзажонов Б.М. Определение сейсмостойкости зданий из местных материалов - seism-stab-building // Мировые инновационные прорывы. – 2017. – С. 74-78.
14. Раззаков С.Ж. Исследование напряженно-деформированного состояния одноэтажной постройки с внутренней перегородкой при статической оттягивающей нагрузке по верхнему поясу строения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2016. – № 6. – С. 14-19.
15. Juraevich R.S., Abdujabbarovich H.S., Gulomovich J.B. The study of seismic stability of a single-storey building with an internal partition with and without taking into account the frame // European science review. – 2016. – № 7-8. – С. 217-220.
16. Juraevich R.S. Experimental and theoretical approach to the determination of physical and mechanical characteristics of the material of the walls of the low-strength materials // European science review. – 2016. – № 7-8. – С. 215-216.
17. Razzakov S.J. Research of stress-strain state of single-storey buildings with internal partitions under static pulling load of the upper belt of a structure // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2016. – № 6. – С. 14-19.