

КОМПЛЕКСТУУ КОНСТРУКЦИЯ ДУБАЛДАРЫ МЕНЕН КУРУЛГАН 3 КАБАТТУУ ИМАРАТТЫ ДИНАМИКАЛЫК ТЕСТИРЛӨӨ

Бегалиев У.Т. ⁽¹⁾, Абдыкалыков Д.Б. ⁽²⁾, Абдыганы уулу Э. ⁽³⁾, Кенешбек уулу Т. ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ *т.и.д., ректор ЭИТУ, президент МАЭСС, Бишкек, Кыргызстан, utbegaliev@mail.ru;*

⁽²⁾ *Аспирант ЭИТУ, өндүрүш боюнча координатор «МАЭСС», Бишкек, Кыргызстан, abdykalykov_17@mail.ru;*

⁽³⁾ *Аспирант ЭИТУ, инженер Мекеме «Сейсмориск Интернешнал», Бишкек, Кыргызстан, 996779662727@mail.ru;*

⁽⁴⁾ *Аспирант ЭИТУ, инженер Мекеме «Сейсмориск Интернешнал», Бишкек, Кыргызстан, talant.mrz@mail.ru.*

Аннотация. Макалада комплекстуу конструкция дубалдары менен курулган 3 кабаттуу имаратты динамикалык тестирлеп изилдөөнүн методикасы жана жыйынтыктары берилген. Имарат Жалал-Абад шаарынын аймагында жайгашкан. Имараттын кыймыл абалын изилдөөгө авторлор жаңыдан жасалган мобильдик сейсмостанцияны колдонууну сунуштаган.

Ачык сөздөр: вибрациялык тестирлөө, өздүк термелүүнүн негизги тону, бекемдик, катуулук, имараттын динамикалык параметрлери, термелүүнүн периоду, инструменталдык жазуулар.

НАТУРНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ 3-ЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ СО СТЕНАМИ КОМПЛЕКСНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Бегалиев У.Т. ⁽¹⁾, Абдыкалыков Д.Б. ⁽²⁾, Абдыганы уулу Э. ⁽³⁾, Кенешбек уулу Т. ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ *д.т.н., ректор МУИТ, президент МАЭСС, Бишкек, Кыргызстан, utbegaliev@mail.ru;*

⁽²⁾ *Аспирант МУИТ, координатор по производству «МАЭСС», Бишкек, Кыргызстан, abdykalykov_17@mail.ru;*

⁽³⁾ *Аспирант МУИТ, инженер Учреждения «Сейсмориск Интернешнал», Бишкек, Кыргызстан, 996779662727@mail.ru;*

⁽⁴⁾ *Аспирант МУИТ, инженер Учреждения «Сейсмориск Интернешнал», Бишкек, Кыргызстан, talant.mrz@mail.ru.*

Аннотация. В статье излагается методика и результаты динамического испытания 3-этажного здания со стенами комплексной конструкции, расположенного в городе Джалал-Абад. Авторы предложили осуществлять изучение поведения зданий с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения.

Ключевые слова: вибрационные испытания, основной тон собственных колебаний, долговечность, жесткость, динамические параметры здания, период колебаний, инструментальные записи.

LOCAL DYNAMIC STUDIES OF THE 3-STOREY BUILDING WITH CONFINED MASONRY WALLS

Begaliev U.T.⁽¹⁾, Abdykalykov D. B.⁽²⁾, Abdygany uulu E.⁽³⁾, Keneshbek uulu T.⁽⁴⁾

⁽¹⁾IntUIT, IAEEE, Bishkek, Kyrgyzstan, utbegaliev@mail.ru;

⁽²⁾ graduate student IntUIT, production coordinator «IAEEE», abdykalykov_17@mail.ru;

⁽³⁾ graduate student IntUIT, "Seismorisk International" LLC, Bishkek, 996779662727@mail.ru;

⁽⁴⁾ graduate student IntUIT, "Seismorisk International" LLC, Bishkek, talant.mrz@mail.ru

Abstract. The article describes the methodology and results of a dynamic study of a 3-storey building with walls of an integrated structure located in the city of Jalal-Abad. The authors proposed to study the behavior of buildings using a new generation mobile seismic station.

Keywords: vibration tests, fundamental tone of natural vibrations, durability, stiffness, dynamic parameters of a building, vibration period, instrumental records.

Основная часть. Динамические характеристики зданий и сооружений являются очень важными параметрами в сейсмоактивных районах [1, 3, 9].

Оценка статических и динамических характеристик здания или сооружения может быть выполнена и на основе анализа ее собственных значений частот, периодов и форм собственных колебаний и коэффициентов затухания.

Исследуя конструкцию в ненагруженном состоянии, по величинам собственных частот и форм колебаний можно судить о жесткости здания в различных направлениях и его работоспособности. Известно, что основной динамический параметр – период собственных колебаний конструктивной системы T связан с её жесткостью EJ .

Поэтому результаты динамических испытаний периода собственных колебаний сооружения дают величину снижения интегральной жесткости сооружения. Математически зависимость периода собственных колебаний T от жесткости выражается формулой (1):

$$T = k \sqrt{\frac{m}{EJ}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, учитывающий тип конструктивной схемы; m – масса; E – модуль упругости, J – момент инерции.

В целом, для любой конструктивной системы период собственных колебаний (T) характеризует жесткость системы (EJ). Можно считать, что масса здания (m) примерно неизменна, тогда снижение момента инерции (J), показывает наличие возможных дефектов в сечениях конструктивных элементов сооружения. Снижение модуля упругости (E) показывает, что происходит уменьшение прочности конструктивных элементов. Поэтому по изменению периода и частоты собственных колебаний несущих систем зданий можно оценивать изменение их конструктивной жесткости и дать количественную оценку их технического состояния [14, 15].

Одним из ключевых моментов при расчете конструкций на динамические воздействия и оценке разумности принятых конструктивных решений является определение частоты (периода) первой формы свободных колебаний здания. Использование для этих целей расчетных программных комплексов позволяет получить обширную и достаточно точную информацию о динамических свойствах конструкций. В тоже время существуют достаточно простые оценки некоторых характеристик зданий, предложенные различными специалистами на основе обработки результатов натурных испытаний реальных конструкций, а также рекомендуемые некоторыми нормами. Использование таких оценок позволяет более обоснованно оценивать принятые конструктивные решения [6, 10].

Объект испытаний

В данном случае изучены колебания 3-этажного здания со стенами комплексной конструкции. Здание было построено в 2020 году, расположено по адресу: Сузакский район село Кумуш-Азиз (рис. 3). Во время исследования октябрь 2020 года здания не сдан в эксплуатацию.

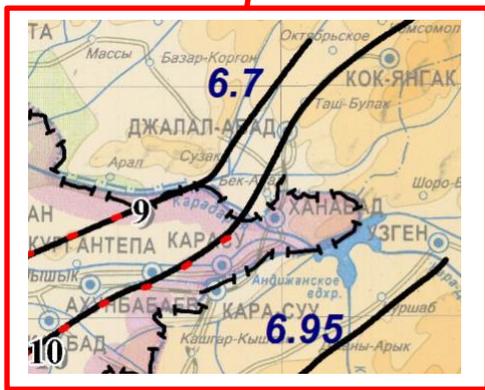
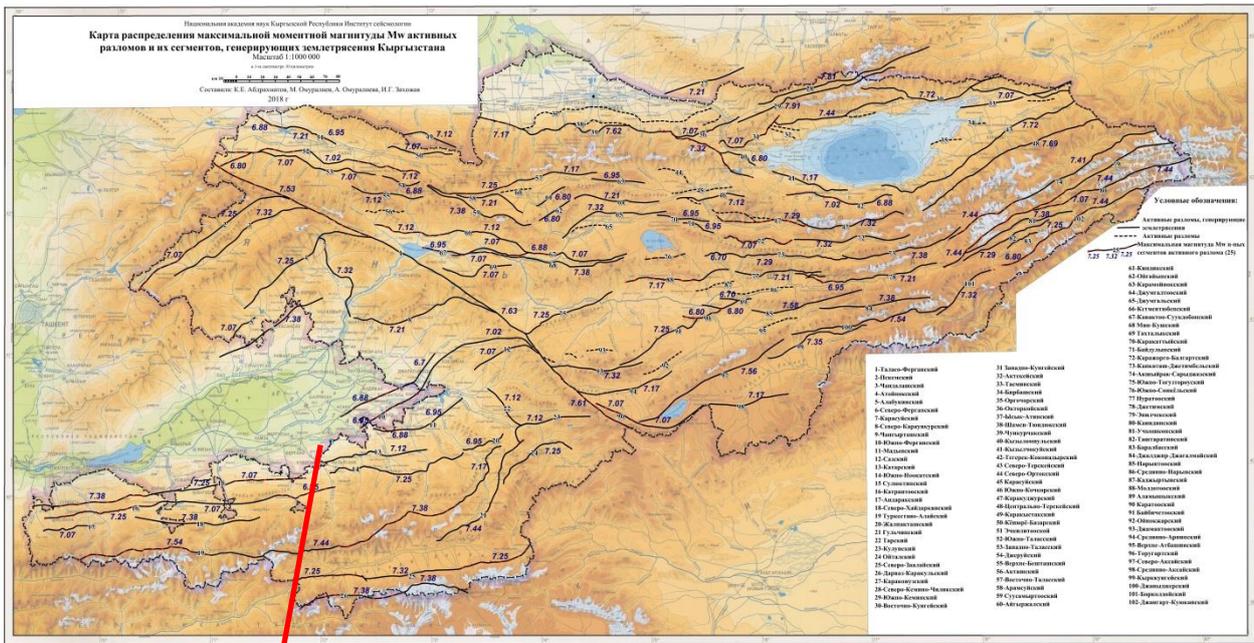
Согласно СН КР 20-02:2018 Приложение Г Список населенных пунктов Кыргызской Республики с указанием показателей сейсмической опасности: интенсивность сотрясения (IPE) в баллах, пиковое ускорение (PGA1) в грунтах для горизонтальной составляющей сейсмического колебания в долях $g=981 \text{ см/сек}^2$, которые относятся к "скальным" типам грунтовых условий по сейсмическим свойствам для село Кумуш-Азиз приведены на таблице Г.1 [3].

Продолжение таблицы Г.1 (Джалал-Абадская область)

№	Населенный пункт	Район	Айылыный кенеш	IPE	PGA1	Значения расчетных ускорений a_g (в долях g) на площадках строительства с типами грунтовых условий			
						IA	IB	II	III
350	Жаны-Ачы	Сузакский	Кызыл-Тууский	8	0.2	0.20	0.240	0.300	0.380
492	Кыр-Джол	Сузакский	Ырысский	9	0.39	0.39	0.394	0.429	0.519
493	Кыр-Джол	Сузакский	Сузакский	9	0.4	0.40	0.400	0.440	0.520
494	Кюмош-Азиз	Сузакский	Ырысский	8	0.29	0.29	0.322	0.370	0.473
495	Кюрп	Аксыский	Ак-Джольский	9	0.49	0.49	0.490	0.539	0.637
501	Макмал	Тогуз-Тороуский	Каргальский	>9	0.5	0.50	0.500	0.550	0.650
502	Мамай	Аксыский	г. Кербен	9	0.49	0.49	0.490	0.539	0.637
503	Маркай	Сузакский	Барпынский	9	0.4	0.40	0.400	0.440	0.520
616	Фрунзе	Сузакский	Ленинский	8	0.2	0.20	0.240	0.300	0.380
617	Хаджир-Абад	Базар-Коргонский	Сайдыкумский	8	0.3	0.30	0.330	0.375	0.480

В Кыргызской Республике находятся несколько сейсмоактивных регионов и геологических разломов. В первую очередь, это крупные Северо-Тянь-Шаньский и Южно-Тянь-Шаньский регионы, в которых зафиксировано большое количество разрушительных землетрясений магнитудой не менее 8 [5, 9].

СН КР 20-02:2018 Приложение В, Карта распределения максимальной локальной магнитуды M_{LN} активных разломов и их сегментов, генерирующих землетрясения на территории Кыргызстана [4].



8-Северо-Карауунский
9-Чангырташский
10-Южно-Ферганский

Как правило, каменные здания отличаются прочностью и долговечностью, способны выдерживать гравитационные нагрузки (постоянные и временные нагрузки и воздействия) и нагрузки от воздействия окружающей среды, такие как ветровая и снеговая нагрузка. Однако здания, построенные по такому методу, являются одними из самых уязвимых конструктивных решений при сотрясениях грунта. Была выявлена недостаточная сейсмостойкость таких зданий во время землетрясений, что привело к несчастным случаям со смертельным исходом. На рисунке 1 показаны повреждения здания школы, построенного по методу неармированной каменной кладки в городе Ош Кыргызской Республики, вследствие Карасууйского землетрясения 2008 года (магнитуда 5,6). Сейсмостойкость этих зданий зависит от целостности всей конструкции, имеющей решающее значение для поддержания поведения по принципу короба. Такое поведение можно обеспечить при условии прочного соединения стен в местах сопряжения, наличия жестких диафрагм (например, железобетонных перекрытий) и наличия надлежащих сопряжений стена–перекрытие и стена–покрытие. К сожалению, когда речь идет о конструкциях, построенных методом неармированной каменной кладки, обеспечение их целостности часто становится проблемой. Типовые механизмы разрушения вне плоскости показаны на рисунке 2 [5, 11, 12].

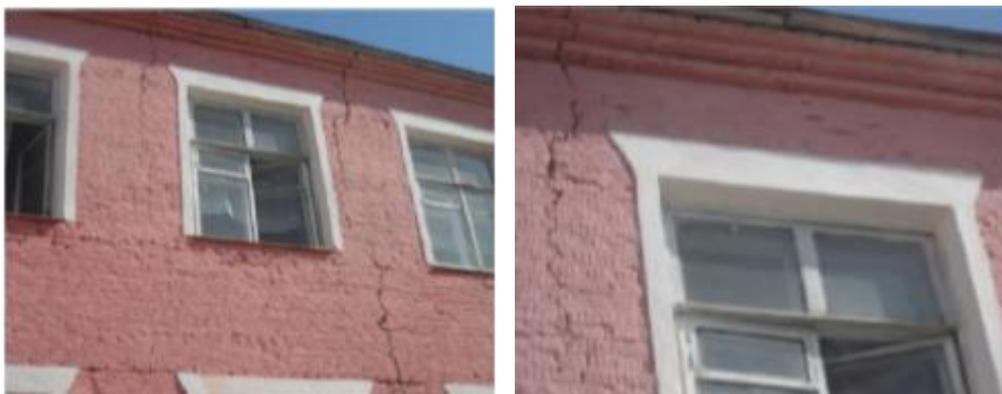


Рис 1 - Повреждение школы им. В.И. Ленина (здание, построенное методом неармированной каменной кладки, г. Ош Кыргызской Республики) при Карасууйском землетрясении 2008 года (магнитудой 5,6) (фотографии: У. Бегалиев)

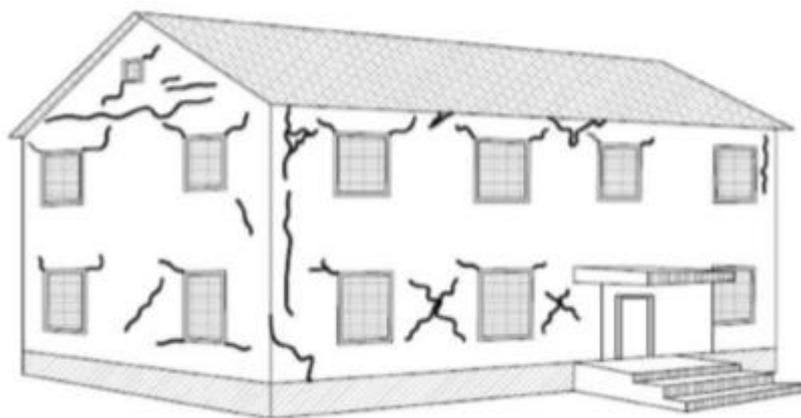


Рис 2 - Тип повреждений, характерный для зданий, построенных методом неармированной каменной кладки (на основе материалов Грантала, 1998)

Конструктивная схема здания решена с несущими кирпичными стенами и железобетонными включениями (комплексные конструкции) с сборными многопустотными железобетонными перекрытиями. Пространственная жесткость и устойчивость конструктивных систем обеспечивалась совместной работой стен и диска перекрытия (покрытия).

Схема зданий в плане имеет прямоугольную форму с размерами $30,0 \times 15,0$ м без подвала с 3 надземными этажами – высотой 13,6 м, а высота этажей составляет 3 м. (рис.4) Основанием здания служат валунно-гравийные грунты с песчаным заполнением.

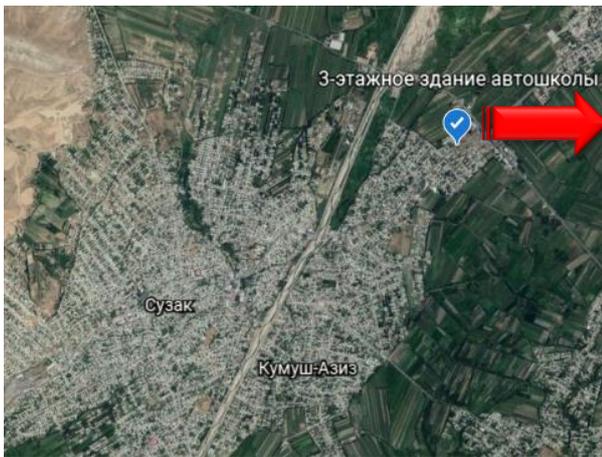


Рис 3 - Ситуационная схема расположения объекта. Общий вид здания

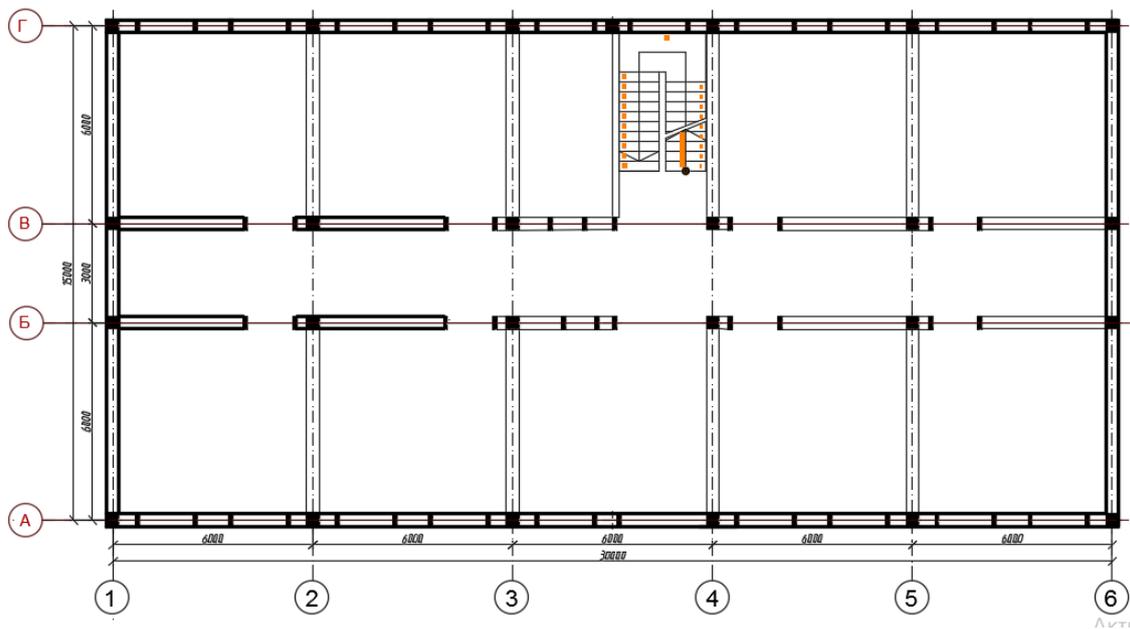


Рис 4 – План типового этажа здания

Методика испытаний

При испытаниях вибромашина В1 была установлена на пол 3-этажа таким образом, чтобы равнодействующая возбуждаемых ими сил совпала с геометрической осью здания в направлении цифровых осей. (рис.5)

Вибромашина и двигатель жестко крепились при помощи сварки и анкерных соединений к перекрытию здания. Включение и выключение вибромашины осуществлялось от пульта управления, расположенного в безопасном месте.



Рис.5 – Общий вид вибромашины В1

Установка датчиков-акселерометров осуществлялась **на каждом этаже**, а также на грунте основания здания. Схема расстановки акселерометров приведена на рис.6.

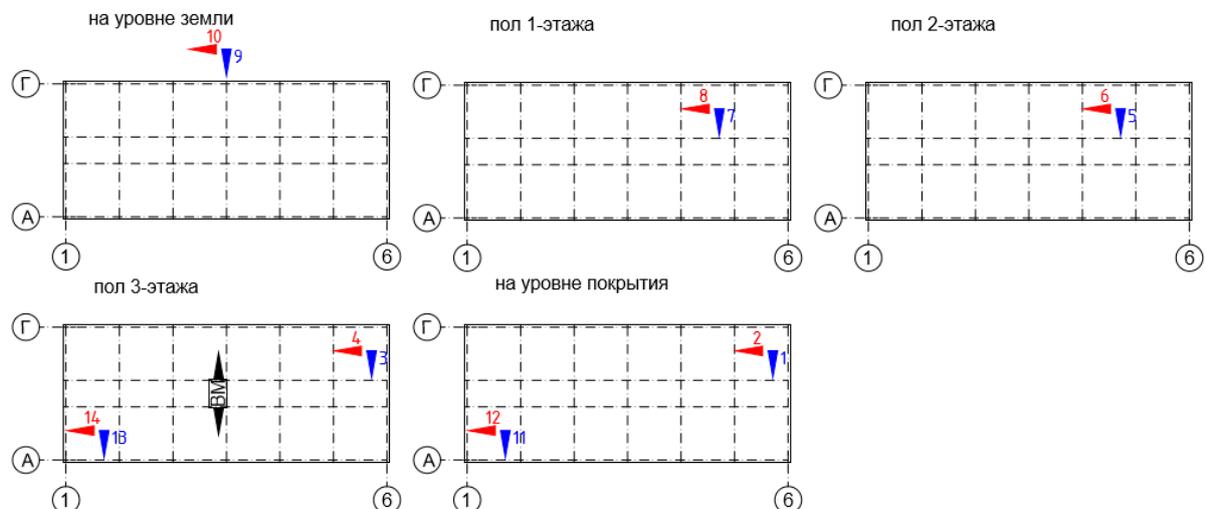


Рис.6 – План расстановки акселерометров (датчиков) на разных точках



Рис. 7 – Схема размещения датчиков на здании.

Изучение поведения зданий осуществлялось с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения, разработанного по техническому заданию специалистов Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству (МАЭСС). Двухканальные акселерометры (датчики) – со встроенными усилителями и независимыми источниками питания. Сигнал от датчиков в виде напряжения пропорционального ускорению колебаний, поступал по специальным виброзащищенным и помехоустойчивым кабелям через блок многоканальной регистрирующей аппаратуры в память персонального компьютера типа ноутбук [1]. Общий вид программно-аппаратного комплекса в процессе работы показан на рисунке 8.



Рис. 8 – Общий вид программно–аппаратного комплекса в процессе работы

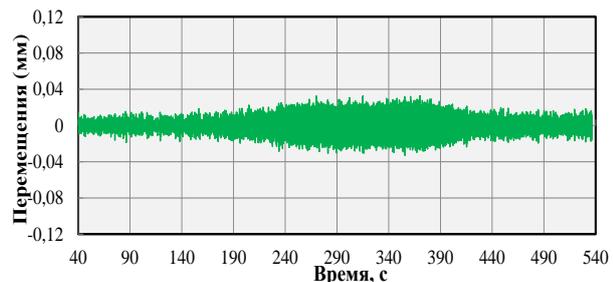
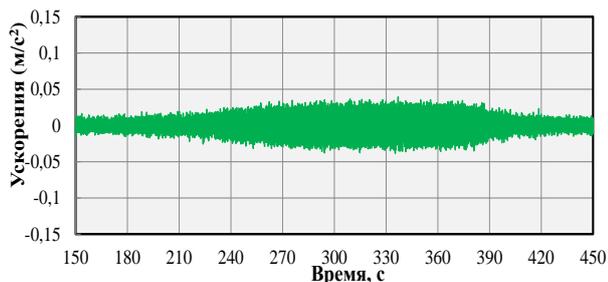
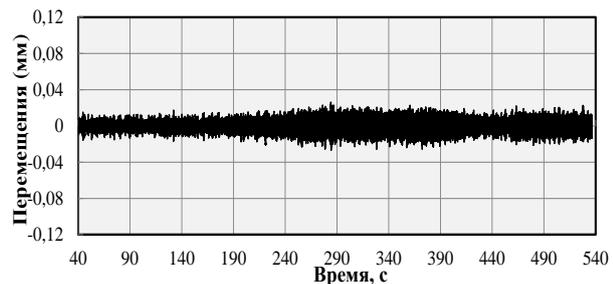
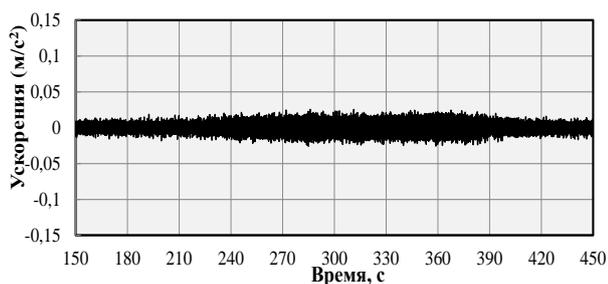
Результаты инструментальных измерений

Определялись периоды колебаний здания и грунта основания как в поперечном T_x , так и в продольном T_y направлениях. Был выполнен спектральный анализ по измерениям инструментальной записи.

Измерения колебаний здания проводились в 5-точках по высоте здания. В каждой точке центральной части здания измерения проводились по двум взаимно перпендикулярным направлениям:

- горизонтальному в продольном направлении (ось X);
- горизонтальному в поперечном направлении (ось Y).

Определены динамические характеристики (частота, период, амплитуда, декремент затуханий) здания и грунта.



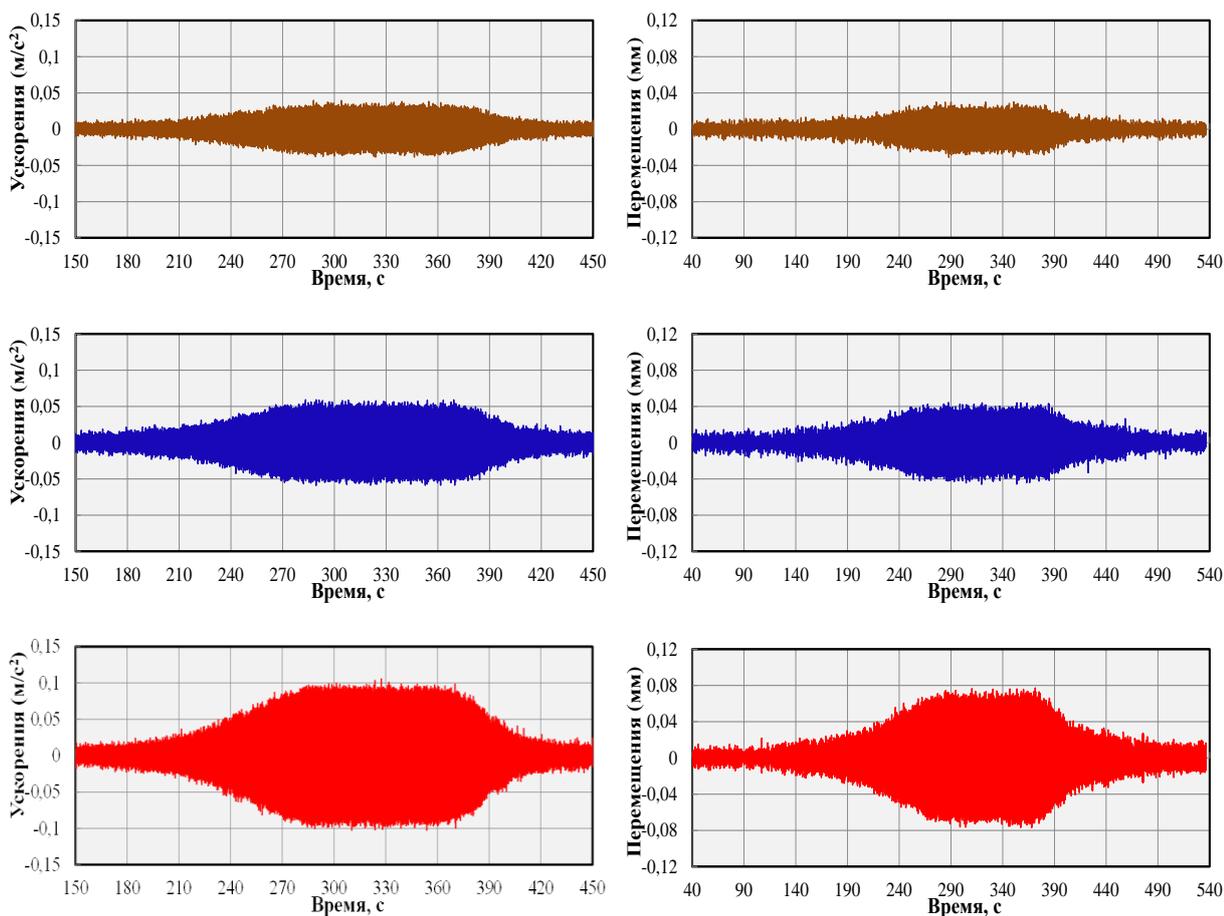


Рис. 9 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений.

- **черными** линиями показаны записи горизонтальных ускорений и перемещений на уровне земли;
- **зелеными** линиями показаны ЗГ ускорений и перемещений на уровне пол 1 этажа;
- **коричневыми** линиями показаны ЗГ ускорений и перемещений на уровне пол 2 этажа;
- **синими** линиями показаны ЗГ ускорений и перемещений на уровне пол 3 этажа;
- **красными** линиями показаны ЗГ ускорений и перемещений на уровне покрытия.

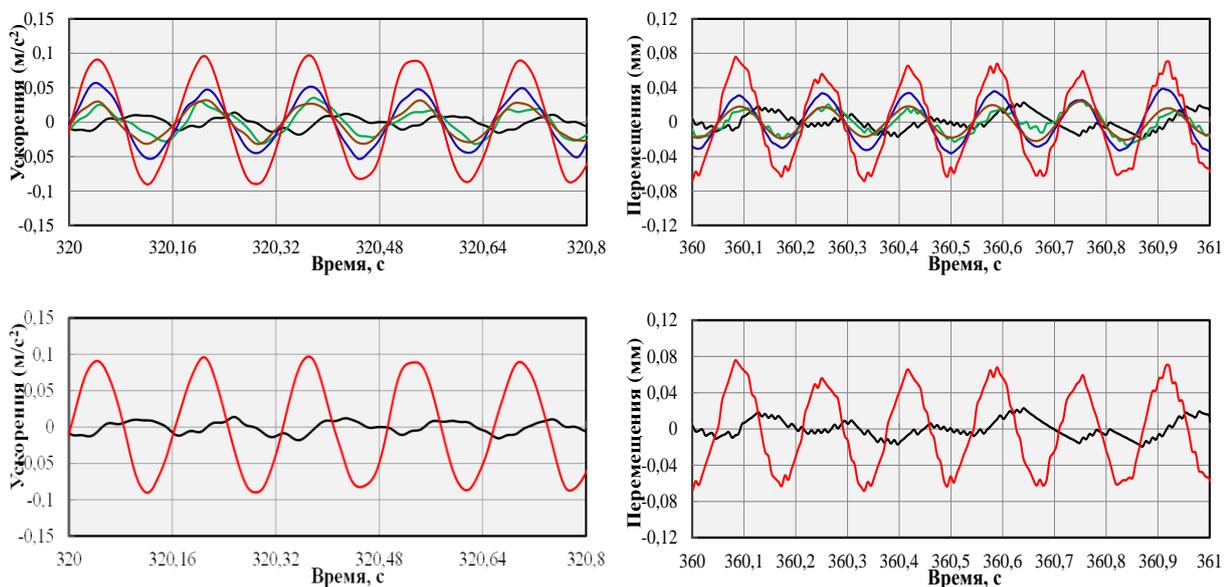


Рис. 10 – Фрагмент записи горизонтальных ускорений и перемещений.

При визуальном анализе можно отметить, что горизонтальные колебания имеют четко выраженные преобладающие частоты при весьма небольших амплитудах.

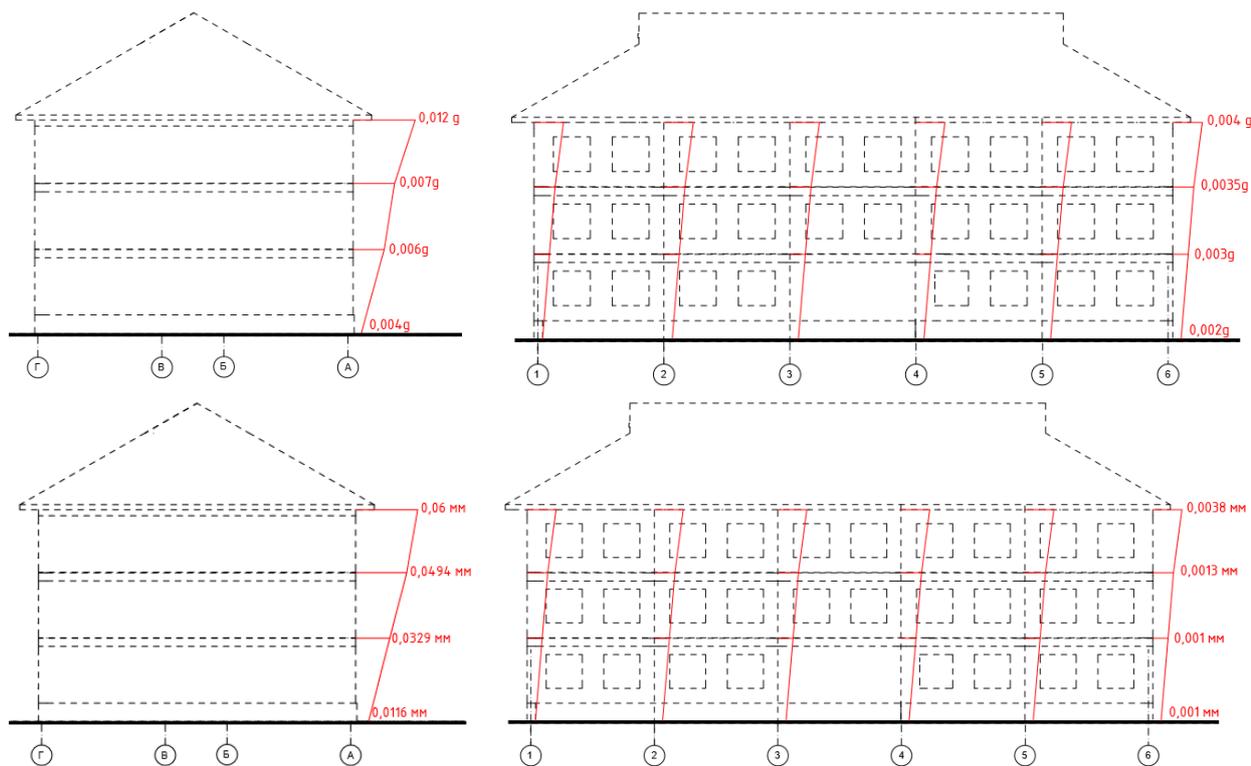


Рис. 11 – Форма продольных и поперечных колебаний здания в ускорениях и перемещениях (частота 2 Гц).

Как видим, в продольном и поперечном направлениях получены первые формы колебаний здания. При этом особенности форм колебаний и соответствующие им частоты характеризуют здание как жесткую конструкцию. В продольном направлении форма колебаний указывает на преобладание сдвиговых деформаций в конструкции здания.

Заключение

1. Проведенные экспериментальные исследования показали уверенную возможность определять динамические характеристики здания по записям их микроколебаний вызываемых мобильной вибромашиной инерционного действия типа В-1 весом 0,35т. Собственные частоты и соответствующие формы колебаний получены для данного здания впервые после его возведения.

2. Динамические характеристики характеризуют здание как относительно жесткую для которой фундаментная часть является как бы жестким основанием.

3. Максимальное перемещение составляет от **0,07мм**, и максимальное ускорение **0,01g**, период колебаний **0,16 с**, частота...

4. **Максимальный горизонтальный перекося этажа...**

В дальнейшей эксплуатации здания путем периодических проверок его динамических характеристик можно будет оценивать стабильность состояния его строительных конструкций

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Отчет по результатам вибродинамических испытаний фрагмента здания из легких стальных тонкостенных конструкций с заключением о возможности применения зданий испытанного конструктивного типа в районах сейсмичностью 7-9 баллов. / Международная Ассоциация экспертов по сейсмостойкому строительству. – Бишкек: МАЭСС – 2021. – 64 с.*
2. *Вибрационные испытания зданий [Текст] / Под ред. Г.А.Шатира // Гос. Ком. по делам строит. и арх. при Госстрое СССР. ЦНИИЭПжилища. – М.: Стройиздат, 1972. – 160 с.*
3. *СН КР 20-02:2018* Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Взамен СНиП КР 20-02:2009. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики [Текст]. – Введ. 2019-03-01. – Б.: Госстрой при Правительстве КР, 2018. – 131 с.*
4. *СН КР 22-01:2018 Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки. Взамен СНиП КР 22-01:1998. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики [Текст]. – Введ. 2019-03-01. – Б.: Госстрой при Правительстве КР, 2018. – 65 с.*
5. *СН КР 31-02:2018 Проектирование и застройки территории г.Бишкек и сел, примыкающих к Ыссык-Атинскому разлому. Взамен СНиП КР 31-02:2001. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики [Текст]. – Введ. 2019-03-01. – Б.: Госстрой при Правительстве КР, 2018. – 25 с.*
6. **Бржев С., Бегалиев У.Т.** *Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике. – Бишкек: Всемирный Банк. – 2018. – 291 с.*
7. **Шаблинский Г.Э., Зубков Д.А.** *Натуральные и модельные исследования динамических явлений в строительных конструкциях энергетических и гражданских объектов. – М.: МГСУ, 2012. — 484 с.*
8. *Р 73-2000. Рекомендации по натурным исследованиям и постоянным наблюдениям за вибрацией гидротехнических сооружений электростанций. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2000. – 31 с.*
9. **Абдыкалыков А.А., Бегалиев У.Т.** *Повышение сейсмостойкости кирпичных зданий усилением несущих конструкций. – Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2017. – № 3 (3). – С. 139-142.*
10. **Бегалиев У.Т., Бржев С.Н.** *Состояние проектирования и конструирования сейсмоусиления зданий в Кыргызской Республике. – Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2019. – № 1 (10). – С. 3-20. doi:10.33942/sit01.*

11. **Абдыкалыков Д.** Методика проведение динамических испытаний зданий со стенами комплексной конструкции. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 1 (11). – С. 16-28.
12. **Абдыкалыков Д.Б.** Экспериментальные вибродинамические исследования зданий и сооружений в условиях Кыргызстана. – Наука и инновационные технологии. – 2019. – №3(12). – С.3-12. doi:10.33942/sit020.
13. **Бегалиев У.Т., Петрина И., Бинди Д., Петрович Б., Орунбаев С., Шералиев Т., Мостбок А.** Динамическое поведение здания на основе моделирования методом конечных элементов. – Материаловедение. – 2018. – №1 (14). – С. 11-23.
14. **Абдыганы уулу Э., Абдыкалыков Д.** Практичность применения методики оперативного обследования зданий в полевых условиях на территории Кыргызской Республики. – Наука и инновационные технологии. – 2020. – № 1 (14). – С. 5-17. doi:10.33942/sit.nes026.
15. **Шокбаров Е.М.** Вибродинамические экспериментальные исследования в сейсмических районах Республики Казахстан. – Наука и инновационные технологии. – 2018. – №3(8). – С. 207-208.
16. **Сатыбалдиев Р.А.** Анализ результатов замера вибрационных колебаний покрытия дорог местного значения. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 2 (12). – С. 16-25.
17. **Стамов А.К.** Методика расчетного анализа коэффициента сейсмобезопасности существующего здания. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 2 (12). – С. 3-15.
18. **Карапетян Дж.К., Айрапетян О.Ю., Мхитарян Д.А.** Анализ динамических характеристик здания комплексной конструкции с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения. – Геология и геофизика Юга России. – 2019. – №9 (1) – С. 110-121. doi:10.23671/VNC.2019.1.26792.
19. **Галиуллин Р.Р.** Оценка технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев: автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.01 – Казань: Изд-во КГАСУ, 2012. – 20 с.
20. **Абдыганы у. Э.** Проектирование и конструирование технических решений сейсмоусиления зданий малой этажности. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 1 (11). – С. 3-15.

Рецензент, к.т.н.
21.05.2022г.

Абдыбалиева М.К.