

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ВЫСОТНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. АЛМАТЫ

Тулеев Али Турсымбаевич<sup>2</sup>, Абаканов Танаткан<sup>2</sup>, Бегалиев Улугбек Турдалиевич<sup>3</sup>,  
Лапин Владимир Алексеевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>АО «КазГАСА», г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>3</sup>Международный университет инновационных технологий, г. Бишкек, Республика Кыргызстан

**Аннотация:** Рассматриваются вопросы строительства в городе Алматы высотных монолитных зданий. Высотное строительство получило значительное развитие на территории мегаполиса - построено свыше десятка зданий высотой до 38 этажей. Актуальным являются экспериментального определения собственных динамических характеристик высотных зданий (периоды и формы собственных колебаний, декремент колебаний) и проверка корректности расчетных предпосылок, принятых при их проектировании. Приводятся данные по определению динамических характеристик 35-ти этажного монолитного здания. Результаты работы могут быть использованы при проектировании высотных монолитных зданий.

**Ключевые слова:** высотное монолитное здание, бетон, арматура, натурное испытание, способы испытаний, динамические характеристики здания.

## DYNAMIC TESTS OF A HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDING IN ALMATY

Tuleev Ali Tursymbaevich<sup>2</sup>, Abakanov Tanatkan<sup>1</sup>, Begaliev Ulugbek Turdalievich<sup>3</sup>, Lapin Vladimir Alekseevich<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JSC "KazNIISA", Almaty, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>JSC "KazGASA", Almaty, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup>International University of Innovative Technologies, Bishkek, Republic of Kyrgyzstan

**Abstract:** issues of construction of high-rise monolithic buildings in the city of Almaty are considered. High-rise construction has received significant development in the metropolis - over a dozen buildings up to 38 floors high have been built. It is relevant to experimentally determine the intrinsic dynamic characteristics of high-rise buildings (periods and forms of natural vibrations, vibration decrement) and check the correctness of the calculation premises adopted during their design. Data are provided to determine the dynamic characteristics of a 35-story monolithic building. The results of the work can be used in the design of high-rise monolithic buildings.

**Key words:** high-rise monolithic building, concrete, reinforcement, full-scale testing, testing methods, dynamic characteristics of the building.

## АЛМАТЫДАГЫ КӨП КАБАТТУУ ТУРАК ЖАЙДЫН ДИНАМИКАЛЫК СЫНООЛОРУ

Тулеев Али Турсымбаевич<sup>2</sup>, Абаканов Танаткан<sup>2</sup>, Бегалиев Улугбек Турдалиевич<sup>3</sup>,  
Лапин Владимир Алексеевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>"КазНИИСА" АК, Алматы, Казакстан Республикасы

<sup>2</sup>"КазГАСА" АК, Алматы, Казакстан Республикасы

<sup>3</sup>Эл аралык инновациялык технологиялар университети, Бишкек, Кыргызстан Республикасы

**Аннотация:** Алматы шаарында көп кабаттуу монолиттүү үйлөрдү куруу маселелери каралат. Мегалолисте көп кабаттуу курулуш олуттуу өнүгүүгө ээ болду - бийиктиги 38 кабатка чейинки ондон ашык имараттар курулган. Көп кабаттуу имараттардын ички динамикалык мүнөздөмөлөрүн (табигый титирөөнүн мезгили жана формалары, титирөөнүн азайышы) эксперименталдык түрдө аныктоо жана аларды долбоорлоодо кабыл алынган эсептик жайлардын тууралыгын текшерүү актуалдуу. Маалыматтар 35 кабаттуу монолиттүү имараттын динамикалык мүнөздөмөлөрүн аныктоо үчүн берилген. Иштин натыйжалары көп кабаттуу монолиттүү имараттарды долбоорлоодо колдонулушу мүмкүн.

**Негизги сөздөр:** көп кабаттуу монолиттүү имарат, бетон, арматура, толук масштабдуу сыноо, сыноо ыкмалары, имараттын динамикалык мүнөздөмөлөрү.

В настоящее время в г. Алматы наблюдается тенденция резкого увеличения высоты (этажности) зданий, возводимых в условиях высокой сейсмичности. Это тенденция обусловлена двумя основными факторами: современными градостроительными требованиями и острым дефицитом свободной территории в крупных городах. Указанная тенденция присуща многим крупным городам мира.

Выполнены многочисленные исследования поведения многоэтажных жилых зданий при различных типах воздействия, включая сейсмические [1-6]. При этом используются самые современные методы, в том числе приведенные в нормах Еврокода 8 [6].

Если в конце двадцатого века самым высоким зданием, расположенным в 9-бальных районах стран СНГ, являлась 25-этажная гостиница «Казахстан», построенная в г. Алматы, то начиная, с 2005 года казахстанские и зарубежные строительные компании приступили к возведению в г. Алматы десятков 20...35-этажных высотных монолитных зданий. Среди них можно отметить высотных зданий – ЖК «Столичный центр» (21 этаж), ЖК «Almaty-Towers» (20 этаж) и ЖК «Мегатауэрс» (25 этаж), подвергнутых экспериментальным испытаниям.

**Целью** данной работы является экспериментальное определение собственных динамических характеристик высотного монолитного 35-ти этажного здания в г. Алматы.

Для проведения экспериментальных исследований был выбран объект, представляющий собой 35-этажное здание, строящегося в г. Алматы. Здание возведено на площадке сейсмичностью 9 баллов. Категория грунтов по сейсмическим свойствам – I. Условия, усложняющие сейсмологические или инженерно-геологические условия площадки строительства не выявлены. Здание запроектировано с 3-мя подземными этажами, 29-ю надземными жилыми этажами и 6-этажной купольной частью, в которой расположены смотровые площадки и технические помещения.

Принципиальные проектные объемно-планировочные и конструктивные решения объекта испытаний показаны на рис.1.

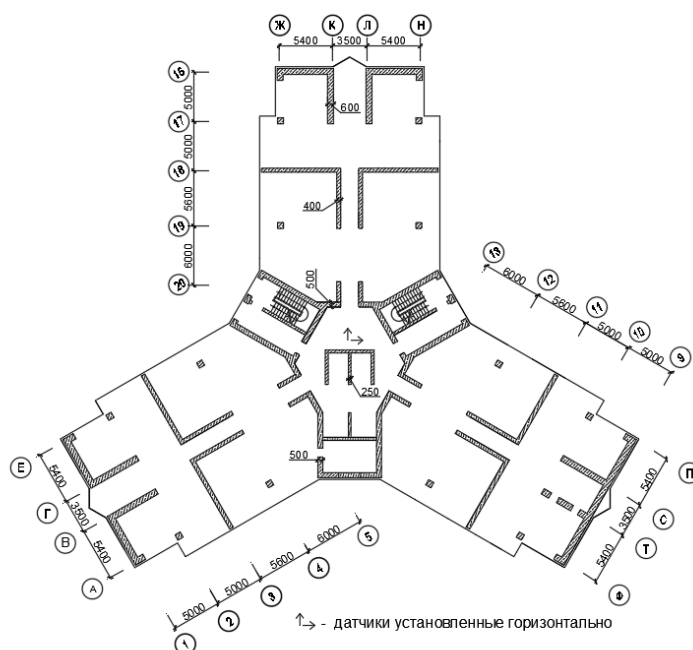


Рис.1. Типовой план высотного здания

Здание имеет Y – образную форму в плане и отделено от примыкающих объектов антисейсмическими швами. Проектная высота здания от подошвы фундамента до верха здания (без учета шпиля) 134,12м.

В конструктивном отношении изучаемый объект представляет собой пространственную каркасно-стеновую систему.

В выполненных экспериментальных исследованиях динамические нагрузки на исследуемый объект создавались с помощью вибромашины инерционного действия типа ВЗ.

Вибромашины типа В-3 являются одними из наиболее мощных в мире. Они позволяют развивать на валу возмущающую силу величиной до 1500-3000 кН.

С использованием вибромашин типа В-3 в Республике Казахстан и других странах СНГ были испытаны десятки натуральных объектов. Полученные при этих испытаниях результаты неоднократно подтверждались анализом последствий сильных землетрясений.

При испытаниях двигатель и вибраторы были жестко закреплены к горизонтальной стальной раме, расположенной в уровне перекрытия над 29 этажом здания. Стальная рама, в свою очередь, была жестко закреплена к этому перекрытию.

Схема расположения вибромашины на перекрытии здания показана на рис. 2.

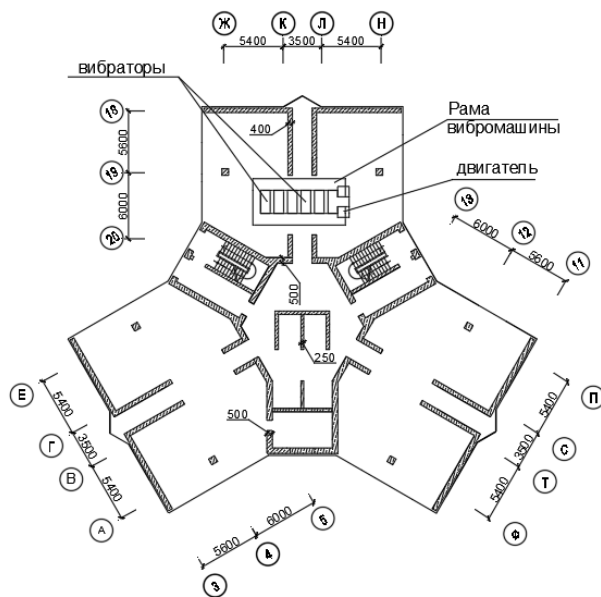


Рис.2.

Общий вид вибромашины на перекрытии, показан на рис.3.

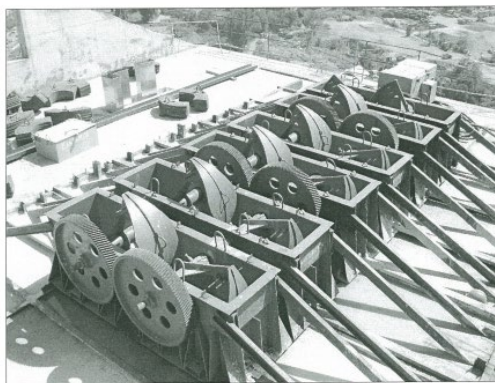


Рис.3.

Вибрационные испытания здания включали в себя три основных этапа, описанных в табл. 1. Каждый этап испытаний заключался в двукратном плавном прохождении через резонансы, соответствующие разным тонам колебаний здания: вначале - путем увеличения частоты вращения дебалансов ("прямой резонанс"), а затем - уменьшения частоты вращения дебалансов ("обратный резонанс").

При проведении вибрационных испытаний выполнялись: регистрация колебаний и предварительная обработка данных, визуальное обследование конструкций, а также фото- и видеосъемки объекта.

Таблица 1- Этапы испытаний

Номер этапа испытаний		Количество заблокированных вибраторов	Количество грузов дебалансов на каждом вибраторе
I	I-1	1	0
	I-2	1	0
II	II-2	6	0
	II-2	6	0
III	III-1	6	60
	III-2	6	60
	III-3	6	60

Регистрация инструментальных данных осуществлялись с помощью специального программно-аппаратного комплекса, разработанного по техническому заданию специалистов института КазНИИССА. Аппаратная часть комплекса состоит из блока ввода аналоговых сигналов с устройством для аналого-цифрового преобразования, к которому подключается блок регистрации и обработки сигналов на базе ПЭВМ. В проведенных испытаниях было задействовано 34 акселерометра. Схема расстановки акселерометров на экспериментальном объекте показана на рис. 4.

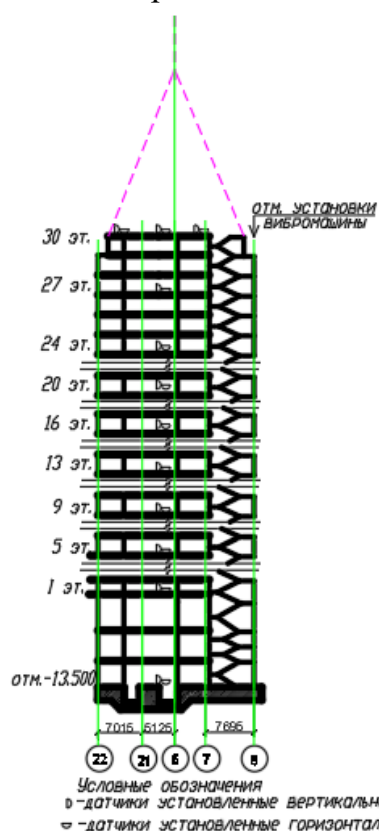


Рис.4.

Некоторые образцы записей колебаний здания, зарегистрированные некоторыми датчиками на этапе вибрационных испытаний III-3 в уровне перекрытия над 29 этажом, показаны на рис. 4.

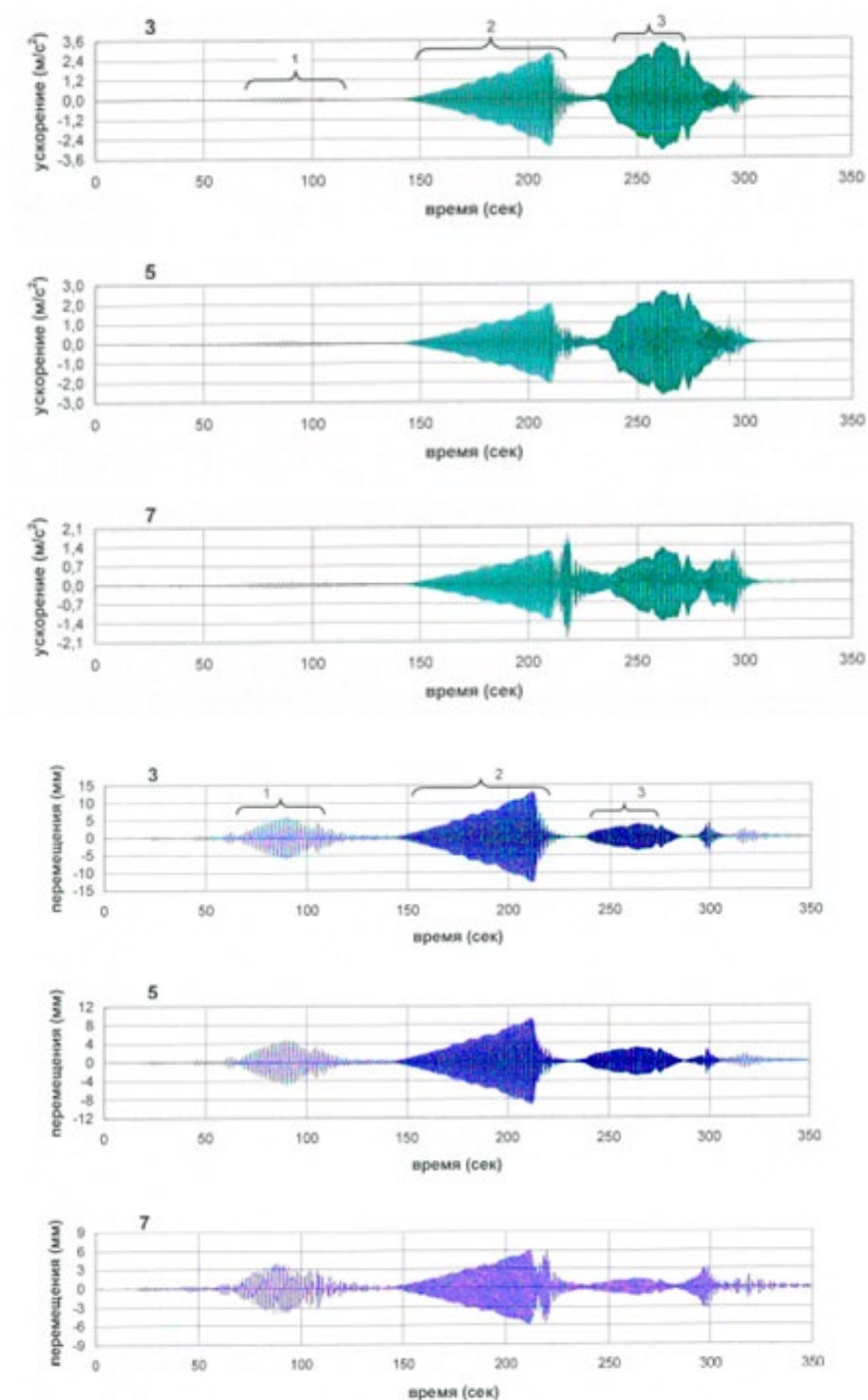
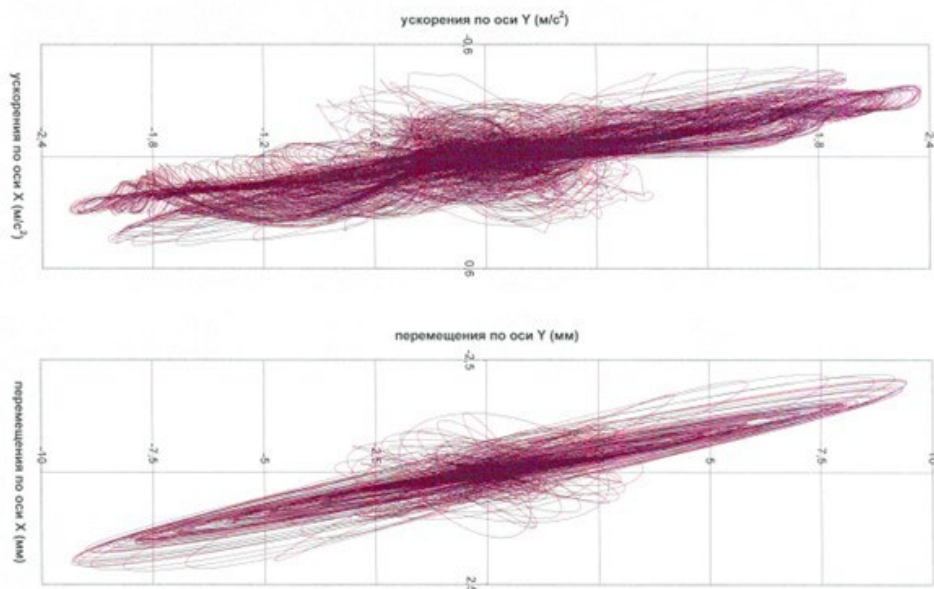


Рис.4. Образцы записей колебания в уровне 29 этажа.

Цифры, показанные на образцах инструментальных записей, соответствуют номерам датчиков. Фигурными скобками на рис. 4 показаны зоны прохождения через первый, второй и третий резонансы, соответствующие первой, второй и третьей формам колебания здания в направлении оси Y.

Образцы траекторий движения междуэтажного перекрытия здания над 29 этажом на этапе испытаний III-3 показаны на рис.5. Траектории движения междуэтажных перекрытий были построены по записям датчиков 1 и 2, расположенных в центральной части здания.



Значения периодов колебаний здания по разным формам приведены в таблицах 2.

**Таблица - 2.**

Номер формы колебаний	Периоды колебаний (сек) здания на этапах испытаний			
	I	II	III-I	III-3
1	1,31	1,33	1,40	1,48
2	0,38	0,40	0,42	0,43
3	-	0,20	-	0,22

Экспериментальные значения периодов колебаний здания по трем формам колебаний незначительно отличались от расчетных значений. Резонансные периоды колебаний здания зависели от уровня действовавших на него нагрузок. Значения резонансных периодов колебаний на заключительных этапах испытаний превышали значения начальных периодов на 10...13%. Изменение резонансных периодов колебаний здания по мере увеличения интенсивности внешних вибрационных воздействий может быть объяснено нелинейной работой несущих конструкций и основания. Степень проявления нелинейности работы здания и основания, как это следует из экспериментальных данных, были незначительны.

Формы колебаний вертикальной оси здания и значения коэффициентов форм колебаний в разных уровнях здания показаны на рис.5.

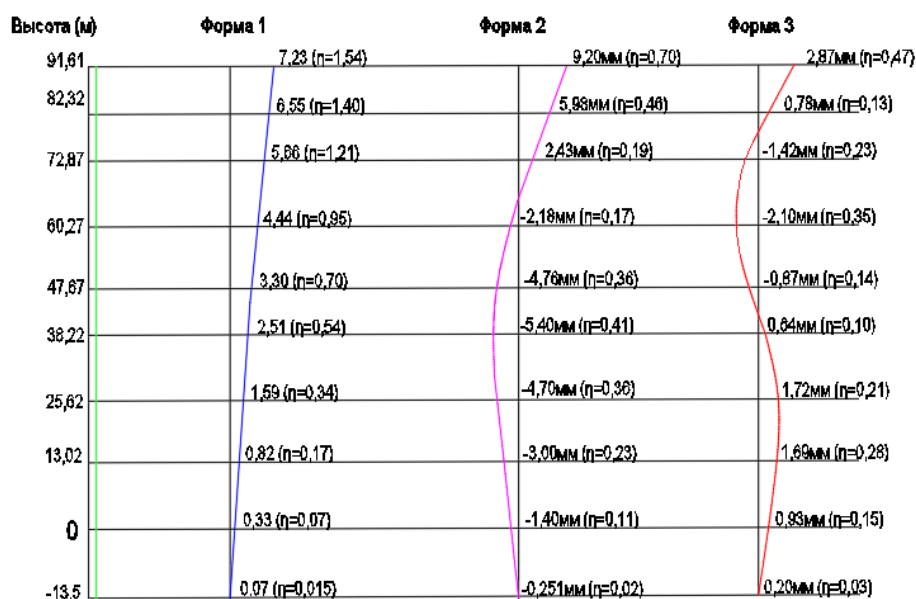


Рис.5. Формы колебаний вертикальной оси здания

Максимальные ускорения и перемещения здания в направлении оси У, зарегистрированные датчиком 1 в центре перекрытия над 29-м этажом, приведены в табл.3.

Таблица - 3

Номер формы	Перемещения (мм)	Ускорения (в долях g)
1	7,2	0,016
2	9,2	0,199
3	2,9	0,240

Поступательные колебания здания сопровождались поворотами междуэтажных перекрытий в плане. Поэтому максимальные ускорения и перемещения, зарегистрированные датчиком 3 на краевом участке перекрытия над 29-м этажом (в месте пересечения осей 3 и 6) были ощутимо больше, чем зарегистрированные в центре перекрытия (табл. 4).

Таблица - 4.

Номер формы	Перемещения (мм)	Ускорения (в долях g)
1	8,5	0,018
2	13,2	0,290
3	3,9	0,340

Податливость междуэтажных перекрытий незначительно сказывалась на характере деформирования здания. Горизонтальные деформации междуэтажных перекрытий здания, обусловленные их податливостью, составляли не более 3% от



перемещений этих перекрытий. Податливость основания также оказывала малое влияние на характер деформирования экспериментального объекта.

Значения логарифмических декрементов колебаний  $\delta$  и коэффициентов затухания  $\xi$ , вычисленные на основании анализа инструментальных записей колебаний здания при максимальных вибрационных воздействиях, приведены в табл. 5.

**Таблица - 5**

Номер формы колебаний	Логарифмический декремент колебаний $\delta$	Коэффициент $\xi$ (в % от критического)
1	0,08	1,2
2	0,16	2,6
3	0,22	3,5

При проведении вибрационных испытаний режимы прохождения через резонансы испытываемых объектов, как правило, носят нестационарный характер, и регистрируемые максимальные значения амплитуд колебаний не достигают значений стационарных амплитуд. В наибольшей степени влияние нестационарности проявляется при вибрационных испытаниях длинопериодных объектов с малым затуханием. Учитывая сказанное величины логарифмических декрементов колебаний  $\delta$  и коэффициентов затухания  $\xi$ , приведенные в таблице 5, следует рассматривать как несколько завышенные по сравнению с действительными величинами. В наибольшей степени сказанное относится к характеристике диссипативных свойств здания при его колебаниях по первой форме и в наименьшей - по третьей форме.

Результаты визуального осмотра несущих и ненесущих конструкций здания после вибрационных воздействий показали, что в несущих конструкциях экспериментального объекта, после все этапов вибрационных воздействий, какие-либо повреждения отсутствовали. А также выявлено, что в некоторых ненесущих конструкциях (перегородках) и в местах их примыкания к смежным конструкциям визуально отмечено образование трещин с незначительным раскрытием.

### **Выводы**

Проведенные экспериментальные исследования дома позволили определить фактические динамические параметры высотного жилого дома. Получены характеристики колебаний опытного здания, отвечающие трем его формам деформирования по высоте.

Периоды колебаний первого основного тона по У составили 1,31-1,48 сек. Периоды колебаний второго тона – 0,38-0,43. Периоды колебаний третьего тона – 0,20-0,22.

Логарифмические декременты колебаний составили при первой форме колебаний 0,08, второй - 0,16 и третьей форме - 0,22. При определении расчетных сейсмических нагрузок на объекты подобного типа значения логарифмических декрементов колебаний рекомендуется принимать в пределах 0,12...0,18 ( $\xi=2...3\%$ ).

Выявлено, что податливость междуэтажных перекрытий незначительно сказывалась на характере деформирования здания. Горизонтальные деформации междуэтажных перекрытий здания, обусловленные их податливостью, составляли не более 3% от перемещений этих перекрытий. Суммарный вклад податливости основания (на сдвиг и поворот) в перемещения верха здания составил при колебаниях по третьей форме - не более 27...32%.

Сопоставительный анализ периодов колебаний по основному тону (по У) высотных зданий У – образной формы в плане ЖК «Столичный центр» (21 этаж) и рассматриваемого 35-этажного высотного зданий показали, что с увеличением высоты зданий периоды колебаний (Т) повышается от 0,944/1,152 до 1,31/1,48.

Примечание - Экспериментальные значения периодов колебаний, приведенные в числителе, соответствуют начальным этапам испытаний, а в знаменателе – заключительному этапу испытаний.

### Литература

1. Mohammad Safarzadeh, Ghassem Heidarinejad, Hadi Pasharshahri The effect of vertical and horizontal air curtain on smoke and heat control in the multi-storey building. *Journal of Building Engineering* Volume 40, August 2021, 102347 <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102347>
2. Cagatay Demirci, Christian Málaga-Chuquitaype, Lorenzo Macorini Seismic shear and acceleration demands in multi-storey cross-laminated timber buildings *Engineering Structures*, Volume 198, 1 November 2019, 109467 <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109467>
3. Paul Mottier, Robert Tremblay, Colin Rogers Seismic behaviour of multi-storey gravity-controlled rocking braced-frame buildings including floor vertical response *Journal of Constructional Steel Research* Volume 182, July 2021, 106665 <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106665>
4. Vahid Mohsenian, Nima Gharaei-Moghaddam, Iman Hajirasouliha An innovative variable target time method for probabilistic-based seismic performance assessment of multi-storey buildings *Journal of Building Engineering* 17 March 2022 <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104378>
5. Ravi KantWesam Al AghaNambiappan Umamaheswari Study on seismic performance of reinforced concrete multi-storey building considering soil-structure interaction effect *Materials Today: Proceedings* 16 December 2021 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.475>
6. СП РК EN 1998-1:2004/2012 «Проектирование сейсмостойких конструкций - Часть 1. Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий» с Национальным приложением.
7. НТП РК 08-01.7-2021 (к СП РК EN 1998-1:2004/2012) «Проектирование сейсмостойких зданий. Часть. Высотные здания» (с изм. 2021-12-15).
8. СП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах».
9. СП РК 2.03-30-2017\* «Строительство в сейсмических зонах» (с изм. 2019-06-05).