

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2022-1-64-81](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-1-64-81)

### **Мониторинг и паспортизация зданий и сооружений**

Дистанционный мониторинг эксплуатационной надежности зданий

Бубис А.А.<sup>1</sup>, Абреков З.М.<sup>1</sup>, Закрайлов З.З.<sup>1</sup>, Кахновский А.М.<sup>1</sup>, Кодыш В.Э.<sup>1</sup>,  
Поляков В.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство

**Аннотация:** Проведен мониторинг объекта – «Здание Transport Tower в г. Нур-Султан, Республика Казахстан» и выполнен анализ динамического поведения конструкций объекта на основании контроля значений параметров (перемещения, скорости и ускорения) горизонтальных колебаний в нескольких уровнях по высоте здания. А также определены динамические характеристики объекта.

**Ключевые слова:** мониторинг зданий, параметры горизонтальных колебаний, формы горизонтальных изгибно-сдвиговых колебаний, обработка результатов

**Для цитирования:** Бубис А.А., Абреков З.М., Закрайлов З.З., Кахновский А.М., Кодыш В.Э., Поляков В.С. Дистанционный мониторинг эксплуатационной надежности зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 1. С. 64-81.

DOI: [10.37153/2618-9283-2022-1-64-81](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-1-64-81)

### **Monitoring and certification of seismic constructions**

Remote monitoring of operational reliability of buildings

Alexander A. Bubis<sup>1</sup>, Zaur M. Abrekov<sup>1</sup>, Zaynalbek Z. Zakrailov<sup>1</sup>,  
Alexander M. Kahnovskiy<sup>1</sup>, Vadim E. Kodysh<sup>1</sup>, Vladimir S. Polyakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TSNIISK named after V.A. Kucherenko JSC RCC

**Abstract:** Monitoring of the Transport Tower Building in Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan and performing an analysis of the dynamic behavior of the structures of the facility based on the control of the values of parameters (movement, speed and acceleration) of horizontal oscillations in several levels of the building height was performed.

As well as determining the dynamic characteristics of the object were determined

**Key words:** monitoring of buildings, parameters of horizontal vibrations, forms of horizontal bending-shear vibrations, processing of results

**For citation:** Bubis Alexander A., Abrekov Zaur M., Zakrailov Zaynalbek Z., Kahnovskiy Alexander M., Kodysh Vadim E., Polyakov Vladimir S. Remote monitoring of operational reliability of buildings. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2022, no. 1, pp. 64-81 (In Russian).

DOI: [10.37153/2618-9283-2022-1-64-81](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-1-64-81)

@ Бубис А.А., Абреков З.М., Закрайлов З.З., Кахновский А.М., Кодыш В.Э., Поляков В.С., 2022

Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1] и ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [2] содержат требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий и сооружений в течение всего предусмотренного проектом периода. Для зданий повышенного уровня ответственности, к которым относятся, в том числе, высотные здания (высота более 100 м), срок эксплуатации должен составлять не менее 100 лет [2]. В процессе эксплуатации, кроме естественной деградации материалов, могут возникать запроектные нагрузки и воздействия, способствующие возникновению дефектов, сокращающих срок службы здания. К их числу относятся сейсмические, климатические, особые воздействия, незапланированные удары, влияние агрессивной среды, коррозия, несоблюдение требований эксплуатации, включая несвоевременное проведение текущих и капитальных ремонтов, и т.п. Отрицательное влияние на долговечность здания могут оказать ошибки, допущенные при инженерно-геологических исследованиях, проектировании и строительстве.

Проверка соответствия зданий особенно повышенного уровня ответственности нормативным требованиям в большинстве случаев осуществлялась путем регулярного проведения детального инструментального обследования технического состояния по ГОСТу 31937-2011 «Правила обследования и мониторинга технического состояния» [3]. Проведение таких детальных обследований является весьма трудоемкой задачей и требует привлечения большого количества высококвалифицированных кадров и значительных финансовых затрат.

В настоящее время все шире внедряется метод анализа и оценки динамических характеристик зданий, позволяющий, в том числе и дистанционно, выявить изменения технического состояния.

Использование данного метода проиллюстрируем на конкретном примере динамического мониторинга здания «Transport Tower», построенного в столице Казахстана г. Нур-Султане (рис. 1-3).

Административный комплекс «Транспорт Тауэр» находится на территории новой части столицы Республики Казахстан г. Нур-Султана.

В помещениях комплекса располагаются Министерство транспорта и коммуникаций и Министерство индустрии и торговли республики. Главный фасад комплекса ориентирован к пешеходной зоне Водно-Зеленого бульвара, который протянулся от президентской резиденции «Ак-Орда» до парка Любви. На первом этаже здания находится атриум, вокруг которого расположены конференц-зал, столовая и различные технологические помещения. Здание увенчано шпилем, высота крайней точки которого превышает 150 метров, имеет 34 этажа, из которых три верхних являются техническими. Внутри комплекса работают 8 скоростных лифтов.

Основной объем здания административно-технологического комплекса «Transport Tower» представляет собой сооружение башенного типа высотой 34 этажа с развитым первым этажом. Основной объем здания имеет форму овала в плане с размерами 28x45 м в разбивочных осях (рис. 2).

Под всем объемом здания расположен цокольный этаж высотой 3,5 м.

С 27 этажа и выше здание имеет скошенную часть (рис. 3). На отметке 128,65 м установлен стальной конусообразный шпиль высотой 24 м.

В основном объеме здания расположены офисные помещения. В уровнях 12, 22 и 32 этажей расположены технические этажи.

Назначение помещений первого этажа — это конференц-залы, столовая, технические помещения (насосные, гаражи и т.д.).

На участке в осях 5–8/Б–Д выполнен атриум от отметки 0,0 м до 15,6 м (с первого по пятый этажи включительно).

В объеме атриума (с первого по пятый этаж включительно) предусмотрен панорамный лифт.

Для обслуживания здания предусмотрено 8 лифтов и две лестницы, расположенные по торцам здания.

Конструктивная схема основного объема здания решена в виде безригельного каркаса с диафрагмами жесткости (см рисунок 1).

В уровне 12, 22 и верхних этажей (28 этаж вдоль буквенных осей и 28, 30-31 этажи вдоль цифровых осей) предусмотрены балки-стенки высотой на этаж.

Диафрагмы жесткости по осям В и Г, а также по осям 5 и 7 выполнены переменного сечения по высоте. До 13 этажа диафрагмы выполнены толщиной 40 см, с 13 этажа до 26 этаж – 30 см, выше – 20 см.

Колонны на участках в осях Д–Е/3–4, А–Б/8–9, колонны 4Б, 8Д, 6А, 6Б, 6Д и 6Е имеют переменное сечение по высоте здания. До 13 этажа колонны выполнены сечением 80х80 см, с 13 по 26 этаж – 60х60 см, выше – 40х40 см. Проектный класс бетона по прочности В 22,5 до 12 этажа, выше – В25.

От отметки 19,05 м до отметки 39,75 м по оси 6 на участке в осях В–Г предусмотрены колонны сечением 40х40 см, которые «подвешены» к промежуточным диафрагмам жесткости технического этажа на отметке 39,75 м. От отметки 43,2 м до отметки 74,25 м эти колонны выполнены сечением 50х50 см, выше отметки 77,7 м – сечением 40х40 см.

Колонны на участке в осях 5–6/В–Г в уровне цокольного этажа выполнены сечением 40х40 см.

Колонны 2Б и 10Д с цокольного этажа до второго этажа включительно и колонны 4/А–Б и 8/Д–Е с цокольного этажа до четвертого этажа включительно выполнены сечением 40х40 см.

Оставшиеся колонны основного объема здания выполнены постоянного сечения 40х40 см.

Плиты перекрытий и покрытий выполнены из монолитного железобетона толщиной 20 см. Плиты армированы верхними и нижними плоскими сетками, дополнительно вдоль цифровых осей по всей площади установлены пространственные каркасы. Вдоль буквенных осей в местах пересечений с колоннами и диафрагмами жесткости установлено армирование из отдельных стержней в верхней и нижней зонах. В верхней зоне плит в местах пересечений с колоннами и диафрагмами жесткости установлено дополнительное армирование в виде сеток и отдельных стержней.

Стены подвала выполнены из монолитного железобетона толщиной 20 см.

Перегородки в здании выполнены в основном гипсокартонными по металлическим профилям.

Поперечные стены лифтовых шахт вдоль цифровых осей, расположенные между осями 3–4, 4–5, 7–8 и 9–10 имеют постоянную толщину на всю высоту здания – 20 см.

Диафрагмы жесткости и стены в лифтовых шахтах армируются пространственными каркасами, объединенными в блоки горизонтальными сдвоенными арматурными стержнями через каждые 0,95-1,1 м.

В соответствии с проектом класс бетона по прочности диафрагм жесткости и стен до отметки 5,25 м составляет В22,5, выше – В25. Класс бетона по прочности диафрагмы по оси В на участке в осях 7–11 от отметки 0,00 м и выше – В25.



Рис. 1 – Здание «Транспорт тауэр»

Fig. 1 – Transport Tower building

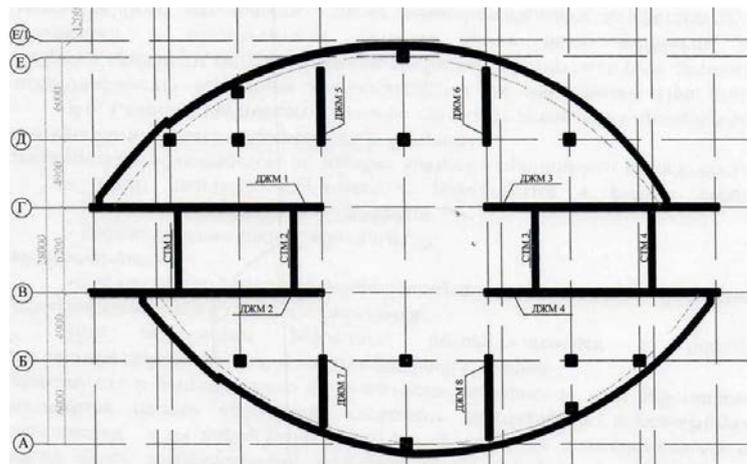


Рис. 2 – План здания

Fig. 2 – Building plan

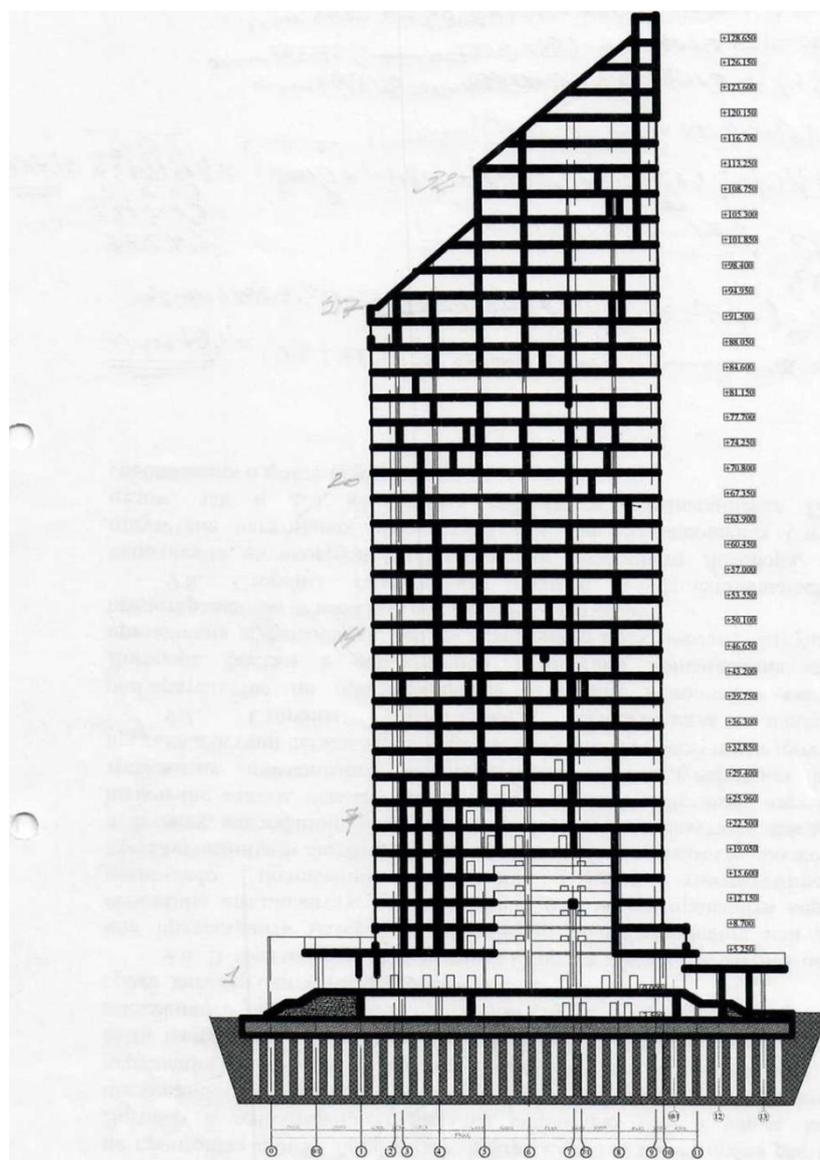


Рис. 3 – Разрез здания

Fig. 3 – Section of the building

Целью работы по проведению мониторинга объекта «Здание Transport Tower в г. Нур-Султане, Республика Казахстан» являлся анализ динамического поведения конструкций объекта на основании контроля значений параметров (перемещения, скорости и ускорения) горизонтальных колебаний в нескольких уровнях по высоте здания.

Кроме того, в процессе работы проводилось определение динамических характеристик объекта (периодов и форм основных собственных колебаний).

Для достижения поставленной цели была установлена станция мониторинга, состоящей из следующих подсистем:

- 1 - подсистемы первичного оборудования, включающей в себя велосиметры ВЭГИК в количестве 6 шт.;
- 2 - подсистемы регистрации, сбора и обработки информации, представленной регистратором DR-4030 в количестве 1 шт.;
- 3 - магистральной подсистемы из кабелей.

Принципиальная схема расстановки акселерометров ВЭГИК на объекте для определения динамических характеристик объекта (периодов и форм горизонтальных колебаний на основных собственных частотах здания) представлена на рисунке 4.

В первый день в каждой из шести точек, указанных на схеме, приведенной на рис. 4 были установлены датчики, регистрирующие скорости горизонтальных колебаний в направлении поперечной оси здания (Y).

На второй день все датчики были перенастроены на регистрацию скоростей горизонтальных колебаний в направлении продольной оси здания (X).

Запись скорости колебаний велась с постоянным шагом оцифровки по времени, равным 0,0025 сек.

Далее для проведения постоянного мониторинга все датчики были перенастроены на регистрацию скоростей колебаний в направлениях X и Y и установлены на трех верхних уровнях здания (на 32, 27 и 20 этажах). Запись скорости колебаний велась с постоянным шагом оцифровки по времени, равным 0,01 сек.

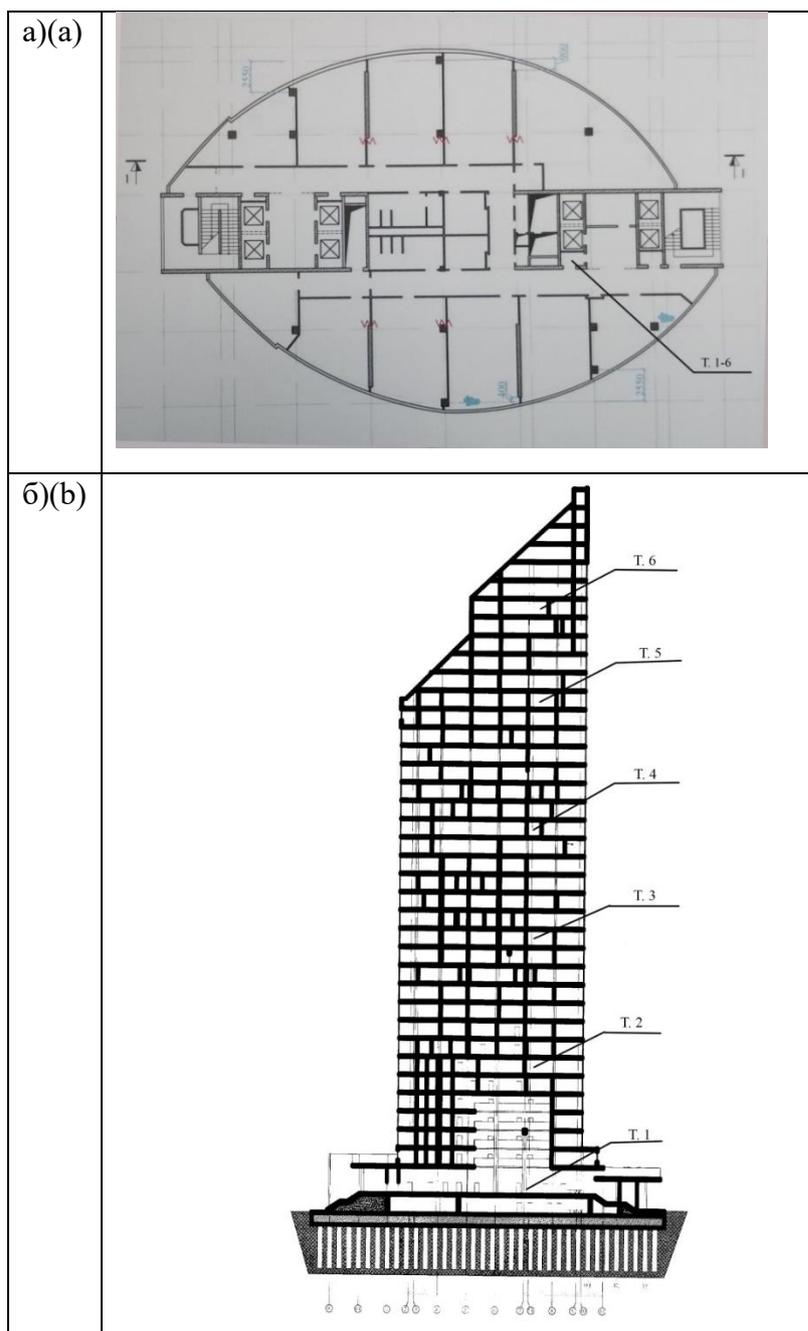


Рис. 4 – Схема расстановки велосиметров ВЭГИК на плане объекта (а) и по его высоте (б)

Fig. 4 – The layout of the velocimeters on the plan of the object (a) and its height (b)

Обработка записей скорости колебаний в точках измерения производилась с помощью пакета прикладных программ «WinПОС», разработанного в НПП «МЕРА». Пакет «WinПОС» предназначен для обработки измерительной информации с помощью стандартных математических и статистических алгоритмов, графического представления данных и документирования.

При проведении обработки записей использовались следующие возможности пакета «WinПОС»:

- цифровая фильтрация (синтезированные фильтры с требуемыми частотными характеристиками);

- арифметические операции над наборами данных, их нормирование и центрирование, тарировка измеряемой информации;
- операции численного интегрирования и дифференцирования;
- вычисление спектров колебаний с применением процедуры БПФ.

После предварительной обработки записей скорости колебаний в диапазоне частот от 0,3 до 10 Гц для каждой записи проводились операции численного интегрирования для получения осциллограмм горизонтальных перемещений в точках проведения измерений и соответственно операции численного дифференцирования для получения осциллограмм горизонтальных ускорений колебаний.

В процессе обработки записей для определения характера колебаний проводился как спектральный, так и визуальный их анализ.

При проведении работ в первые два дня по регистрации колебаний в шести уровнях здания для определения их основных форм по высоте здания и мониторинга в последующие 2 дня персоналом, работающим в здании, колебания не ощущались, что говорит о незначительном ветровом воздействии на здание за этот период времени регистрации его колебаний.

Максимальные значения параметров колебаний здания за указанный выше период времени в диапазоне частот от 0,3 до 5 Гц в точках 4, 5 и 6 расположенных в уровне 32, 27 и 20 этажей здания приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальные значения параметров колебаний здания

Table 1 – Maximum values of building vibration parameters

№ этажа	Направление регистрации колебаний	Максимальные значения параметров колебания здания		
		скорость, мм/с	перемещение, мм	ускорение, см/с <sup>2</sup>
32	X	1,1	0,21	0,94
	Y	2,4	0,84	1,3
27	X	0,65	0,17	0,36
	Y	2,1	0,73	0,97
20	X	0,99	0,19	1,0
	Y	1,6	0,48	1,4

На рис. 5 приведены спектры скорости горизонтальных колебаний в уровне 32, 27 и 20 этажей здания, полученные в результате обработки записи мониторинга колебаний с во 2-й и 3-й дни длительностью ~14 часов. По спектрам видно, что основные колебания здания в направлении продольной оси происходят на частоте 0,59 Гц (период колебаний 1,69 сек), а соответственно в направлении поперечной оси на частоте 0,41 Гц (период колебаний 2,44 сек).

На рис. 6 приведены нормированные формы горизонтальных изгибно-сдвиговых колебаний несущих конструкций здания на основных значимых частотах колебаний и соответствующие классическому представлению о первой и второй формах собственных колебаний консольного стержня.

Нормированные формы получены путем обработки записей выполненных в первый и второй дни при регистрации колебаний в шести уровнях здания.

На рис. 7 приведены аналогичные нормированные формы, полученные путем обработки записей колебаний на 32, 27 и 20 этажах, выполненных в процессе длительного мониторинга (запись № 1).

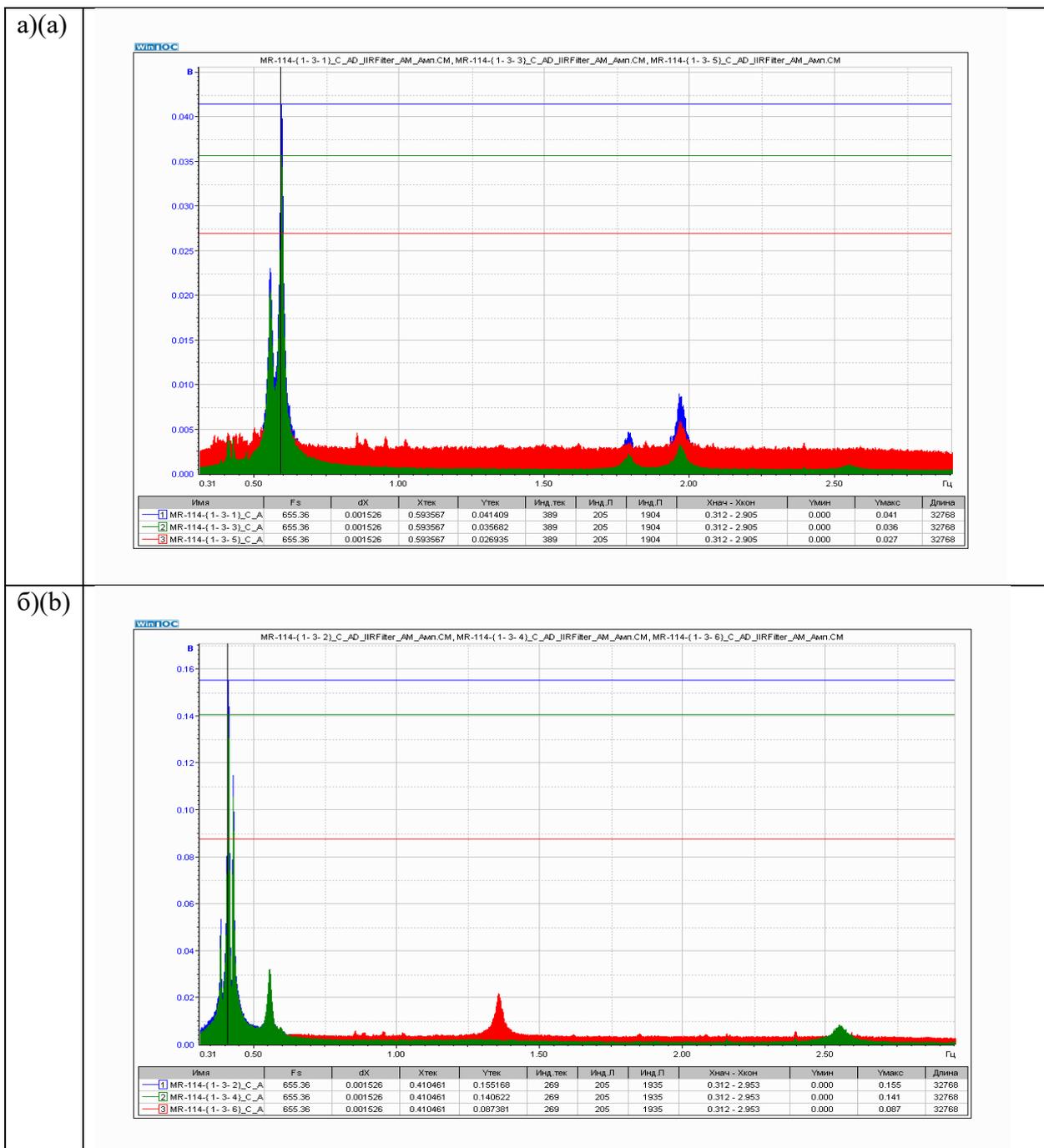


Рис. 5 – Спектры скорости колебаний в уровне 32, 27 и 20 этажей здания в направлении его продольной оси X (а) и поперечной оси Y (б)

Fig. 5 – The spectra of the oscillation velocity at the level of 32, 27 and 20 floors of the building in the direction of its longitudinal axis X (a) and transverse axis Y (b)

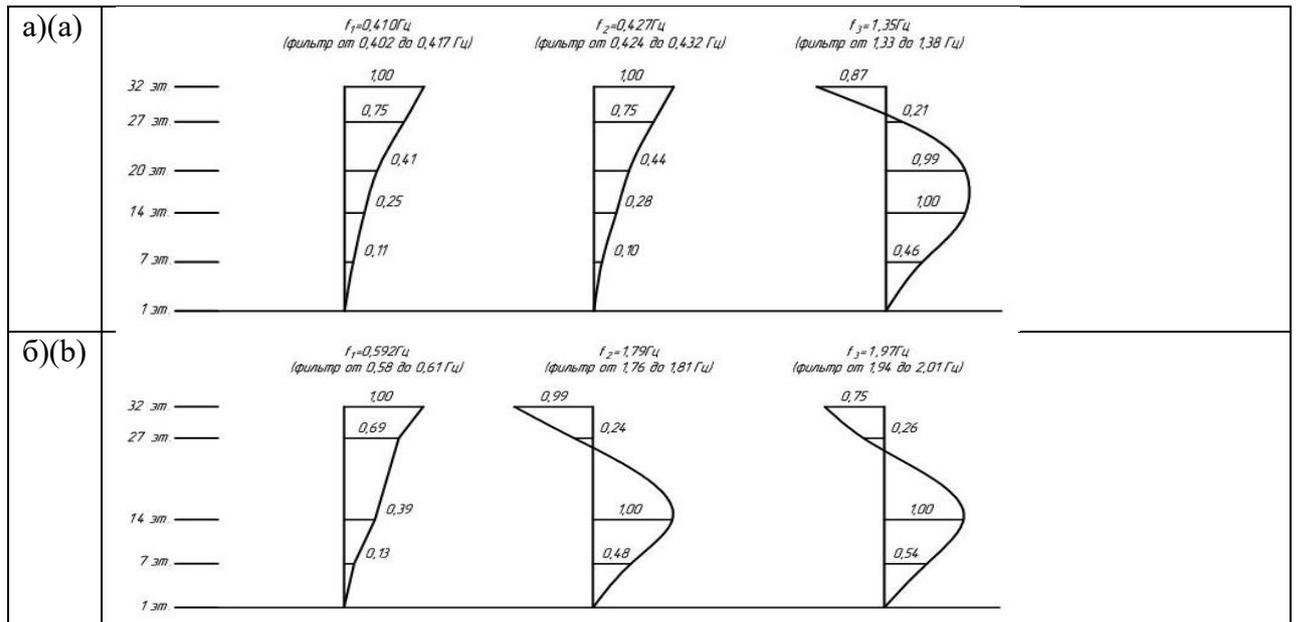


Рис. 6 – Нормированные формы основных типов горизонтальных изгибно-сдвиговых колебаний несущих конструкций здания по записям колебаний за первые 2 дня (а – по Y, б – по X)

Fig. 6 – Normalized forms of the main types of horizontal flexural-shear vibrations of the bearing structures of the building according to the records of vibrations for the first 2 days (a – by Y, b – by X)

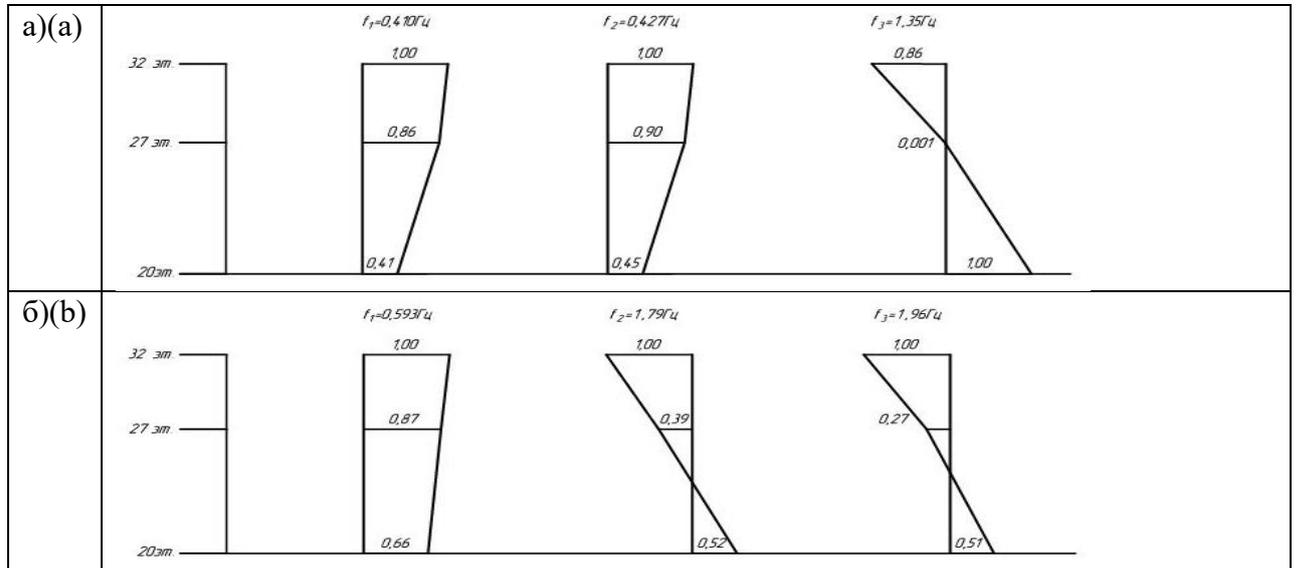


Рис. 7 – Нормированные формы основных типов горизонтальных изгибно-сдвиговых колебаний несущих конструкций здания по записям колебаний за последующие дни (а – по Y, б – по X)

Fig. 7 – Normalized forms of the main types of horizontal flexural-shear vibrations of the bearing structures of the building according to the records of vibrations for the following days (a – by Y, b – by X)

Сравнивая формы колебаний на рис. 6 и рис. 7 необходимо отметить, что для верхних этажей здания между 4 и 6 уровнями характер форм несколько изменился, что, возможно, вызвано разным распределением ветровой нагрузки по высоте здания в разные временные интервалы записей.

В процессе проведения долговременного мониторинга было получено 26 записей скорости горизонтальных колебаний в уровне 32, 27 и 20 этажей здания вдоль его продольной (X) и поперечной (Y) осей. Длительность каждой записи была переменной и менялась от ~ 14 до ~ 70 часов.

На рис. 8 в качестве примера приведены осциллограммы скорости колебаний в уровне 32, 27 и 20 этажей здания в направлении его поперечной оси Y (запись 10). На рис. 6 приведен фрагмент этих осциллограмм за период возникновения максимальных колебаний (при максимальной скорости порывов ветра 21 м/с) и соответствующие им спектры.

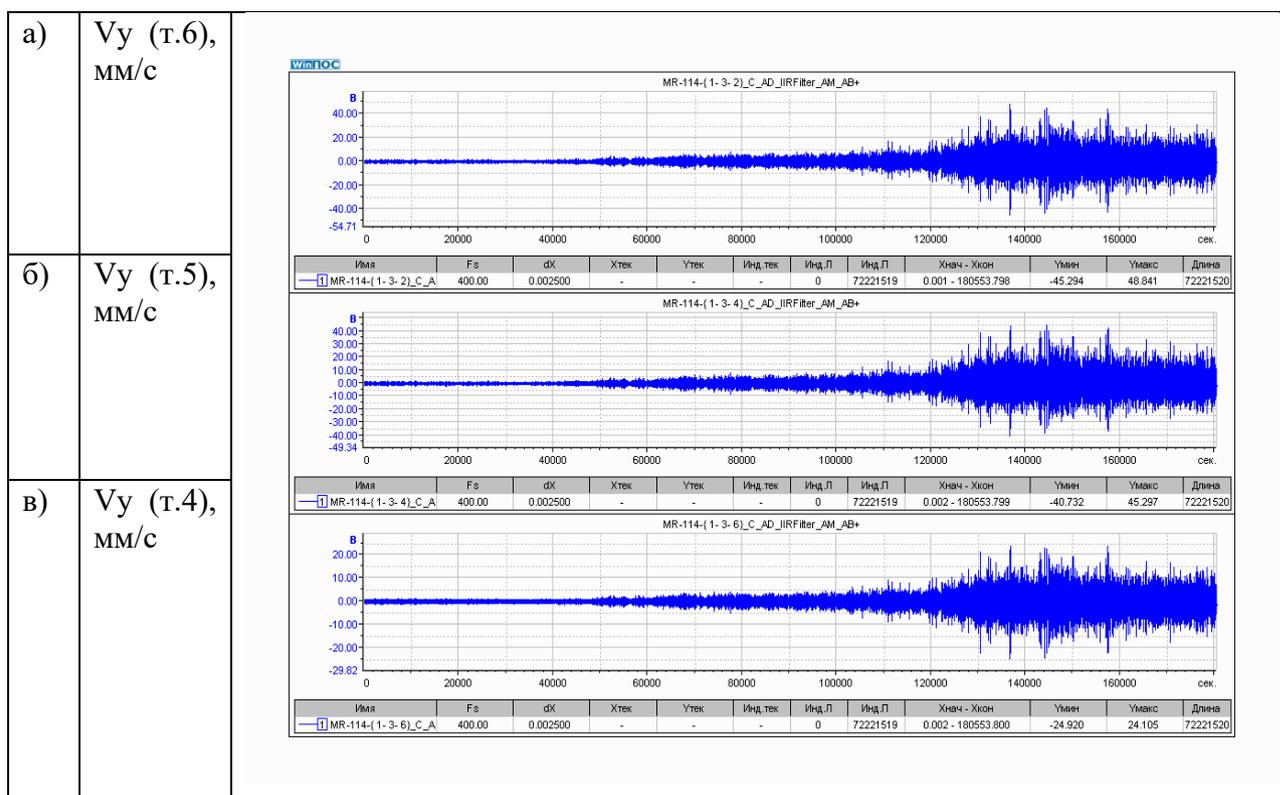


Рис. 8 – Осциллограммы скорости горизонтальных колебаний в уровне 32 (а), 27(б) и 20(в) этажей здания в направлении его поперечной оси Y (запись 10)

Fig. 8 – Waveforms of the horizontal oscillation velocity at the level of 32 (a), 27 (b) and 20 (c) floors of the building in the direction of its transverse Y axis (entry 10)

Из рис. 8 видно, что ближе к концу записи произошло значительное усиление колебаний конструкций здания, а в начальной части записи соответствующие колебания имеют значения близкие к значениям, приведенным в таблице 1.

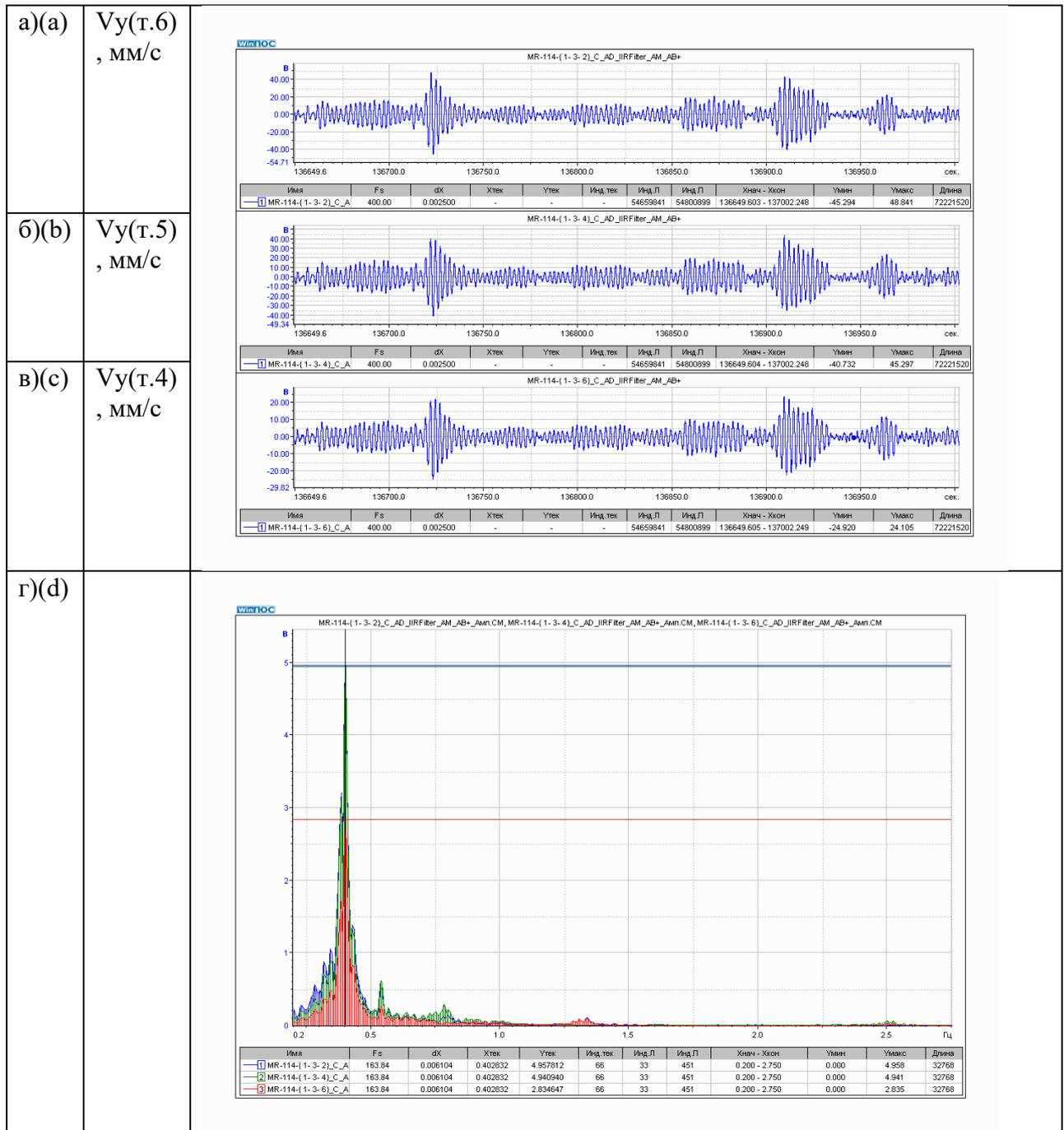


Рис. 9 – Фрагмент осциллограмм скорости горизонтальных колебаний в уровне 32(а), 27(б) и 20(в) этажей здания в направлении его поперечной оси Y (запись 10) и соответствующие спектры (г)

Fig. 9 – A fragment of the oscillogram of the velocity of horizontal oscillations at the level of 32 (a), 27 (b) and 20 (c) floors of the building in the direction of its transverse Y axis (entry 10) and the corresponding spectra (d)

По спектрам на рис. 9г видно, что основные колебания здания в направлении поперечной оси (Y) происходят на частоте 0,4 Гц (период колебаний 2,5 сек).

В направлении продольной оси (X) основные колебания здания происходят на частоте 0,59 Гц (период колебаний 1,69 сек).

В сводной таблице 2 приведены данные о времени начала и конца (по местному времени) указанных выше 26 записей, максимальные значения скорости горизонтальных колебаний по каждой записи в уровне 32 этажа здания (т.6). Кроме того, в таблице 2 приведены сведения метеослужбы о максимальных порывах ветра в период возникновения этих максимальных колебаний в направлении оси  $Y$ .

Необходимо отметить, что за время проведения мониторинга колебаний в здании скорость максимальных порывов ветра по данным метеослужбы достигала 21-23 м/с в период проведения метеоизмерений между сроками в 21 час 26.01.2020 и в 06 часов 27.01.2020 (по местному времени).

Указанное выше событие произошло во время выполнения записи 12, при которой, начиная с 22 часов 45 минут 26.01.2020 скорость колебаний здания в точках измерения на 32 и 27 этажах в направлении оси  $Y$  превысила возможный для записи колебаний динамический диапазон установленных велосиметров. При этом на 20 этаже (т.4) в направлении оси  $Y$  и в точках измерения в направлении оси  $X$  (т.4, т.5 и т.6) были получены полноценные записи скорости колебаний здания.

В таблице 2 для записи 12 приведено максимальное значение скорости горизонтальных колебаний в уровне 32 этажа здания в направлении оси  $Y$ , зарегистрированное перед моментом начала действия ограничений, определяемых конструкцией велосиметра.

Таблица 2 – максимальное значение скорости горизонтальных колебаний в уровне 32 этажа здания в направлении оси Y

Table 2 – the maximum value of the horizontal oscillation velocity at the level of the 32nd floor of the building in the direction of the Y axis

№ записи	Дата / время записи		Максимальное значение скорости колебаний, мм/с		Максимальный порыв ветра, м/с
	начало	конец	V <sub>X</sub>	V <sub>Y</sub>	
1	28.11.2019/20:06	29.11.2019/09:57	1,0	2,7	5
2	03.12.2019/16:35	04.12.2019/11:06	1,0	2,6	4
3	04.12.2019/11:06	05.12.2019/15:02	1,4	5,2	7
4	05.12.2019/15:03	06.12.2019/17:49	2,0	8,5	9
5	06.12.2019/18:06	09.12.2019/11:27	4,3	37	13
6	09.12.2019/11:39	10.12.2019/17:27	1,3	1,3	2
7	10.12.2019/17:28	13.12.2019/11:57	1,1	1,8	4
8	15.01.2020/17:30	16.01.2020/15:30	1,2	4,0	7
9	16.01.2020/15:37	19.01.2020/00:34	6,6	39	15
10	21.01.2020/12:50	23.01.2020/14:59	7,2	47	21
11	23.01.2020/15:22	24.01.2020/19:23	5,1	31	15
12	24.01.2020/19:23	27.01.2020/17:40	12	> 48	23
13	27.01.2020/17:44	28.01.2020/10:28	2,9	18	15
14	28.01.2020/10:28	29.01.2020/13:24	2,8	11	15
15	29.01.2020/16:29	30.01.2020/11:59	0,9	1,1	4
16	30.01.2020/12:03	03.02.2020/11:41	1,1	2,9	5
17	03.02.2020/11:44	05.02.2020/15:32	1,9	7,1	12
18	05.02.2020/15:32	06.02.2020/12:25	2,4	17	14
19	06.02.2020/12:25	07.02.2020/17:02	3,1	16	13
20	10.02.2020/11:20	11.02.2020/11:28	1,4	2,8	5
21	11.02.2020/11:29	13.02.2020/10:36	1,6	6,2	9
22	13.02.2020/10:36	15.02.2020/13:25	4,1	18	16
23	19.02.2020/10:53	20.02.2020/10:19	1,1	4,4	11
24	24.02.2020/15:45	25.02.2020/11:44	0,9	3,2	
25	25.02.2020/11:51	26.02.2020/16:09	2,7	14	
26	26.02.2020/16:09	27.02.2020/12:40	6,5	34	

В таблице 3 приведены максимальные значения параметров горизонтальных колебаний по осям X и Y здания для записей 5, 9, 10, 11, 12 и 26 (при которых достигались существенные амплитуды колебаний) в точках 6, 5 и 4, расположенных в уровне 32, 27 и 20 этажей здания.

Таблица 3 – максимальные значения параметров горизонтальных колебаний по осям X и Y здания для записей 5, 9, 10, 11, 12 и 26

Table 3 – maximum values of horizontal oscillation parameters along the X and Y axes of the building for entries 5, 9, 10, 11, 12 and 26

№ записи	Направление регистрации колебаний	№ этажа	Максимальные значения параметров колебания здания		
			скорость, мм/с	перемещение, мм	ускорение, см/с <sup>2</sup>
5	X	32	4,3	1,3	1,9
		27	4,0	1,1	1,5
		20	3,4	0,92	1,4
	Y	32	37	13	<b>9,3</b>
		27	37	13	<b>9,7</b>
		20	19	6,8	5,1
9	X	32	6,6	1,9	2,8
		27	5,6	1,6	2,3
		20	4,7	1,3	1,8
	Y	32	39	14	<b>10</b>
		27	35	13	<b>9,6</b>
		20	20	7,1	6,5
10	X	32	7,2	2,0	3,0
		27	6,1	1,7	2,3
		20	5,2	1,4	2,2
	Y	32	47	19	<b>13</b>
		27	43	15	<b>13</b>
		20	25	9,2	7,2
11	X	32	5,1	1,3	2,0
		27	4,3	1,1	1,6
		20	3,5	1,0	1,5
	Y	32	31	11	<b>8,5</b>
		27	31	11	<b>9,2</b>
		20	17	6,1	5,1
12	X	32	12	3,3	4,5
		27	10	2,9	3,8
		20	8,5	2,4	3,2
	Y	20	38	14	<b>11</b>
26	X	32	6,5	1,9	2,6
		27	5,5	1,6	2,1
		20	4,6	1,3	1,7
	Y	32	34	12	<b>8,7</b>
		27	35	12	<b>9,3</b>
		20	17	6,2	5,0

Согласно СП РК 3.02-02-2008 «Проектирование многофункциональных высотных зданий и комплексов. Приложение 5. Ветровые нагрузки. П.5.11 [4] и СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Приложение В.3 Динамическая комфортность» [5] максимальные ускорения колебаний на этажах здания не должны превышать 0,08 м/с<sup>2</sup>. Из таблицы 3 следует, что максимальные ускорения колебаний на 32 и 27 этажах превышают допустимые из соображений комфортности пребывания людей в здании уже при порывах ветра 13-15 м/с,

а при порывах ветра 23 м/с соответственно и на 20 этаже здания (в таблице 3 значения ускорения колебаний, превышающие величину  $0,08 \text{ м/с}^2$  выделены «жирным» шрифтом). В таблице 4 приведены оценочные значения параметров максимальных горизонтальных колебаний по оси Y здания для записи 12 в точках 6 и 5 расположенных в уровне 32 и 27 этажей здания, полученные путем вычисления с использованием корреляционной связи с соответствующими значениями, зарегистрированными на 20 этаже здания и приведенных в таблице 3.

Таблица 4 – оценочные значения параметров максимальных горизонтальных колебаний по оси Y здания для записи 12 в точках 6 и 5

Table 4 – estimated values of the parameters of the maximum horizontal oscillations along the Y axis of the building for record 12 at points 6 and 5

№ этажа	Направление регистрации колебаний	Максимальные значения параметров колебания здания		
		скорость, мм/с	перемещение, мм	ускорение, см/с <sup>2</sup>
32	Y	73	27	19
27		71	26	20
20		38	14	11

### Выводы

1. Выполнены работы по оборудованию станции для мониторинга горизонтальных колебаний несущих конструкций объекта – «Здание Transport Tower в г. Нур-Султане, Республика Казахстан».
2. По результатам обработки записей скорости колебаний в точках измерения установлено, что основные колебания в здании происходят в направлении его поперечной оси на частоте 0,41 Гц (период колебаний 2,44 сек), а в направлении продольной оси, соответственно, на частоте 0,59 Гц (период колебаний 1,69 сек).
3. Получены нормированные формы горизонтальных изгибно-сдвиговых колебаний несущих конструкций здания на основных значимых частотах колебаний.
4. В процессе проведения мониторинга объекта было получено 26 записей скорости горизонтальных колебаний в уровне 32, 27 и 20 этажей здания вдоль его продольной и поперечной осей. Длительность каждой записи была переменной и менялась от ~ 14 до ~ 70 часов. При этом по метеоданным за время мониторинга максимальная скорость порыва ветра менялась от 2 до 23 м/с.
5. Максимальные значения параметров горизонтальных колебаний в уровне 32 этажа здания в поперечном направлении здания составили: скорость – 73 мм/с, перемещение – 27 мм и ускорение – 19 см/с<sup>2</sup>.
6. Максимальные значения параметров горизонтальных колебаний в уровне 32 этажа здания в продольном направлении здания составили: скорость – 12 мм/с, перемещение – 3.3 мм и ускорение – 4,5 см/с<sup>2</sup>.
7. Обработка записей колебаний здания, полученных в процессе мониторинга, показала, что максимальные ускорения колебаний на верхних этажах здания превышают допустимые из соображений комфортности пребывания людей в здании уже при порывах ветра 13-15 м/с.

### Список литературы

1. Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
2. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»
3. ГОСТ 31937-2011 «Правила обследования и мониторинга технического состояния»
4. СП РК 3.02-02-2008 «Проектирование многофункциональных высотных зданий и комплексов. Приложение 5. Ветровые нагрузки. П.5.11
5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Приложение В.3 Динамическая комфортность»

### References

1. Federal Law No. 384-FZ "Technical Regulations on the safety of buildings and structures"
2. GOST 27751-2014 "Reliability of building structures and foundations. Basic provisions"
3. GOST 31937-2011 "Rules of inspection and monitoring of technical condition"
4. SP RK 3.02-02-2008 "Design of multifunctional high-rise buildings and complexes. Appendix 5. Wind loads. Item 5.11"
5. SP 20.13330.2016 Loads and impacts. Appendix B.3 Dynamic comfort"

### Информация об авторах/Information about authors

**Бубис Александр Александрович**, зам. руководителя ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация  
**Alexander. A. Bubis**, deputy chief of Structures Earthquake Resistance Research Center of TSNIISK named after V.A.Kucherenko of JSC RCC. Moscow, Russian Federation

**Абреков Заур Муратович**, м.н.с. ЛССИМС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация [elgor1991@mail.ru](mailto:elgor1991@mail.ru)  
**Zaur M. Abrekov**, junior researcher of LSSIMS TSNIISK named after V.A.Kucherenko of JSC RCC. Moscow, Russian Federation [elgor1991@mail.ru](mailto:elgor1991@mail.ru)

**Закраилов Зайналбек Зайндиевич**, к.т.н., зав. лабораторией испытания конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация  
**Zaynalbek Z. Zakrailov**, PhD of engineering, head of Laboratory of testing of the structures of TSNIISK named after V.A.Kucherenko of JSC RCC. Moscow, Russian Federation

**Кахновский Александр Михайлович**, к.т.н., в.н.с. Испытательной лаборатории ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация [aleckxdark@yandex.ru](mailto:aleckxdark@yandex.ru)  
**Alexander M. Kakhnovskiy**, PhD of engineering, leading researcher of Testing laboratory of TSNIISK named after V.A. Kucherenko of JSC RCC. Moscow, Russian Federation [aleckxdark@yandex.ru](mailto:aleckxdark@yandex.ru)

**Кодыш Вадим Эмильевич**, к.т.н., н.с. ЛССИМС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация [entvacancy@mail.ru](mailto:entvacancy@mail.ru)

**Vadim E. Kodysh**, PhD of engineering, researcher of LSSIMS of TSNIISK named after V.A. Kucherenko of JSC RCC. Moscow, Russian Federation [entvacancy@mail.ru](mailto:entvacancy@mail.ru)

**Поляков Владимир Святославович**, к.т.н., в.н.с. ЛССИМС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация  
[polydynamic@gmail.com](mailto:polydynamic@gmail.com)

**Vladimir S. Polyakov**, PhD of engineering, leading researcher of LSSIMS TSNIISK named after V.A. Kucherenko of JSC RCC. Moscow, Russian Federation [polydynamic@gmail.com](mailto:polydynamic@gmail.com)