

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION FACILITIES



УДК 699.841

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-71-82>

Конструктивная система и расчетно-динамическая модель жизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции



EDN: LAEOQI

Х.Н. Мажиев¹  , К.Х. Мажиев² , А.Х. Мажиева¹ , С.Ю. Семенов³ ,
А.Х. Мажиев⁴ , А.Х. Мажиев⁵ 

¹ Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Российская Федерация

² Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, г. Грозный, Российская Федерация

³ Сочинский государственный университет, г. Сочи, Российская Федерация

⁴ Академия наук Чеченской Республики, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Российская Федерация

⁵ Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный, Российская Федерация

 seismofund@mail.ru

Аннотация

Введение. С целью обеспечения сейсмостойкости и снижения сейсмических нагрузок при проектировании жизнесберегающего многоэтажного здания принята система сейсмоизоляции в виде кинематических опор. В настоящей статье анализируются конструктивная система, расчетно-динамическая модель и результаты промежуточных натурных испытаний жизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции, возводимого в г. Грозный.

Материалы и методы. В ходе исследования были выполнены моделирование и расчет конструктивной системы здания с кинематической системой сейсмоизоляции. Для подтверждения работоспособности узлов системы сейсмоизоляции проведены натурные испытания.

Результаты исследования. Многоэтажное жизнесберегающее здание запроектировано по каркасной ствольно-стенной конструктивной схеме, где вертикальными несущими элементами являются ствольные элементы, колонны и связи между колоннами в виде диафрагм жесткости. Высотная часть здания запроектирована с применением кинематической системы сейсмоизоляции на сборных труботонных сейсмоизолирующих опорах. Приведены результаты расчета на основные и особые сочетания нагрузок и внутренних усилий в несущих конструкциях.

Обсуждение и заключение. Исследование показало, что применение разработанной конструктивной системы сейсмоизоляции с кинематическими опорами позволяет снизить сейсмические нагрузки и общий вес здания и одновременно повысить механическую надежность и безопасность. Проведенные промежуточные натурные испытания подтвердили работоспособность узлов сопряжений опор с монолитными железобетонными конструкциями здания, что дало возможность внедрения кинематических опор сейсмоизоляции в практику строительства.

Ключевые слова: жизнесберегающее здание, сейсмостойкое строительство, расчет, здание, конструктивная система, сейсмостойкость, расчетно-динамическая модель, сейсмоизоляция, кинематическая опора

Для цитирования. Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х., Семенов С.Ю., Мажиев А.Х., Мажиев А.Х. Конструктивная система и расчетно-динамическая модель жизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(3):71–82. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-71-82>

Structural System and Computational Dynamic Model of a Life-Saving Multi-Storey Building with a Kinematic Seismic Isolation System

Khasan N. Mazhiev¹ , Kazbek Kh. Mazhiev² , Amina Kh. Mazhieva¹ , Stanislav Yu. Semenov³ ,
Aslan Kh. Mazhiev⁴ , Adam Kh. Mazhiev⁵ 

¹ Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russian Federation

² Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Complex Institute of the Russian Academy of Sciences Named after Kh. Ibragimov, Grozny, Russian Federation

³ Sochi State University, Sochi, Russian Federation

⁴ Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russian Federation

⁵ Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russian Federation

✉ seismofund@mail.ru

Abstract

Introduction. In design of a life-saving multi-storey building, a seismic isolation system in the form of the kinematic supports is used to ensure the seismic resistance and reduce the seismic loads. The structural system, the computational dynamic model and the results of the intermediate in-situ tests of a life-saving multi-storey building with a kinematic seismic isolation system being built in Grozny have been analysed in the article.

Materials and Methods. The research included modeling and computation of the structural system of a building with a kinematic seismic isolation system. In-situ tests were carried out to confirm the working capacity of the seismic isolation system connections.

Results. A multi-storey life-saving building was designed according to a frame-core wall structure, where the vertical load-bearing elements were core walls, columns and connections between the columns in the form of the stiffening diaphragms. The high-rise part of a building was designed using a kinematic seismic isolation system consisting of the seismic isolating concrete-filled steel tubular supports. The results of the calculations of the main and specific load combinations and internal forces in the load-bearing structures have been presented.

Discussion and Conclusion. The research has shown that the use of the developed structural system of seismic isolation with kinematic supports makes it possible to reduce the seismic loads and the total weight of a building and at the same time to increase its mechanical reliability and safety. The conducted intermediate in-situ tests have confirmed the working capacity of the joints connecting the supports with the monolithic reinforced concrete structures of a building, which makes it possible to implement the kinematic seismic isolation supports into the construction industry practices.

Keywords: life-saving building, seismic-resistant construction, computation, building, structural system, seismic resistance, computational dynamic model, seismic isolation, kinematic support

For Citation. Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Mazhieva AKh, Semenov SYu, Mazhiev AKh, Mazhiev AKh. Structural System and Computational Dynamic Model of a Life-Saving Multi-Storey Building with a Kinematic Seismic Isolation System. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):71–82. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-71-82>

Введение. При строительстве многоэтажных зданий в районах высокой сейсмичности возникает задача обеспечения их сейсмостойкости. Эффективным является направление, связанное со снижением сейсмических нагрузок на здания и сооружения, путем применения сейсмоизоляции. При проектировании зданий с системами сейсмоизоляции возникают вопросы, требующие теоретического и экспериментального подтверждения.

С этой целью поставлена задача разработки и исследования конструктивной системы здания с кинематической системой сейсмоизоляции и расчетно-динамической модели.

Исследуемая конструктивная система представляет собой монолитное железобетонное здание в виде железобетонного каркаса с диафрагмами и ядром жесткости и встроенной системой сейсмозащиты — кинематической системой сейсмоизоляции, которая разработана для снижения динамической реакции здания на сейсмическое воздействие, на основе патента № 2477353 «Трубобетонная сейсмоизолирующая опора». Кинематическая система сейсмоизоляции обеспечила снижение расчетных горизонтальных сейсмических нагрузок на сейсмоизолированную часть здания до ускорений, не превышающих 80 см/с² [1–16].

Материалы и методы. Для построения физической и аналитической модели здания применялась программа «САПФИР-3D 2019», являющаяся частью расчетно-вычислительного комплекса «ЛИРА-САПР 2019» [12, 13, 15].

Расчеты проводились аналитическим методом и методом конечных элементов в программном комплексе «ЛИРА-САПР». С помощью экспериментальных методов исследований проводились промежуточные натурные испытания бизнесберегающего многоэтажного здания.

Многоэтажное здание запроектировано по каркасной ствольно-стеновой (рамно-связевой с диафрагмами и с ядрами жесткости) конструктивной схеме, где вертикальными несущими элементами являются ствольные элементы (шахты лифтов, лестничные клетки, лестнично-лифтовые узлы), колонны и связи между колоннами в виде диафрагм жесткости [1–4, 8]. Высотная часть здания запроектирована с применением кинематической системы сейсмоизоляции на сборных трубобетонных сейсмоизолирующих опорах на основе патента № 2477353 «Трубобетонная сейсмоизолирующая опора». Данные опоры расположены на – 2 этаже.

Высотная часть здания имеет регулярную в плане и по высоте, начиная с 1-го этажа и выше, конструктивную систему, в которой вертикальные несущие элементы располагаются в плане по узлам сетки координационных осей и по высоте здания — один над другим от фундамента, т. е. соосны. На 2-ом этаже вертикальные несущие элементы (сборные трубобетонные сейсмоизолирующие опоры) не все расположены соосно с вышележащими вертикальными несущими элементами. В связи с этим, над –2-ым этажом запроектирована распределительная конструкция в виде толстой монолитной железобетонной переходной плиты с балками. Шаг несущих колонн составляет:

- вдоль цифровых осей: 3,70 м; 3,50 м; 5,80 м; 5,80 м; 3,50 м; 3,70 м;
- вдоль буквенных осей: 5,20 м; 3,15 м; 4,65 м; 4,65 м; 3,15 м; 5,20 м.

В основании здания проектом предусматривается устройство плитного фундамента из монолитного железобетона толщиной 1300 мм. Материал фундаментной плиты — бетон класса В40 по прочности на сжатие. Под фундаментными плитами предусмотрена бетонная подготовка из бетона класса В10 толщиной 100 мм.

В фундаментной плите предусмотрено устройство закладных деталей под сборные трубобетонные сейсмоизолирующие опоры.

Непосредственно под подошвой фундамента проектным решением предусмотрено устройство искусственного основания из гравийной массы с супесчано-суглинистым заполнителем (подушкой) толщиной 1,85 м. Это позволило улучшить соответствующие динамические характеристики основания и одновременно снизить сейсмическое воздействие на здание. Гравийно-песчаная смесь сортируется до фракции не более 50 мм. Оптимальное содержание в гравийно-песчаной смеси заполнителя (супесчано-суглинистого) с фракциями менее 2,0 мм — 35–40 %. Для расчёта и проектирования искусственного основания (подушки) была принята гравийно-песчаная смесь со следующими нормативными физико-механическими и прочностными характеристиками:

- угол внутреннего трения $\varphi = 40^\circ$;
- сцепление $c = 12$ кПа;
- удельный вес $\gamma = 2,02$ т/м³;
- модуль деформации $E = 70,0$ МПа;
- расчётное сопротивление $R = 500$ кПа.

При расчете деформации основания подушка рассматривалась как слой грунта под фундаментом.

Сейсмоопоры запроектированы сборными трубобетонными, диаметром $\varnothing 630$ мм. Материалы сейсмоопор — бетон класса В40 по прочности на сжатие; арматура стержневая горячекатаная периодического профиля класса А500С и гладкая А240 по ГОСТ 34028–2016; внешняя оболочка из прокатной трубы $\varnothing 630 \times 10$ мм по ГОСТ 10704–91; пластины по торцам по ГОСТ 19903–2015 из стали С285 (Ст3).

Плита перекрытия над сейсмоопорами над –2-ым этажом высотной части запроектирована из монолитного железобетона толщиной 400 и 900 мм с балками сечением $900 \times 900(h)$ и $700 \times 900(h)$ мм. Материал плиты перекрытия над сейсмоопорами — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Плиты перекрытия и покрытия подземной части (–2 и –1 этажи) запроектированы из монолитного железобетона толщиной 200 мм. Материал плит перекрытия и покрытия подземной части — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Подпорные стены запроектированы из монолитного железобетона. Толщина плитного фундамента 500 мм, стен — 500 мм, контрфорсов — 300 мм. Материал подпорных стен — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Стены шахт лифтов, лестничных клеток, диафрагмы надземной части запроектированы из монолитного железобетона толщиной 160, 200, 250, 300, 350 и 400 мм, колонны — сечением 400×400 , 500×500 , 600×600 , 700×700 , 800×800 мм. Материал вертикальных конструкций надземной части — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Стены парапетов запроектированы из монолитного железобетона толщиной 200 мм. Материал стен парапетов — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Плиты перекрытия и покрытия надземной части запроектированы из монолитного железобетона толщиной 180 и 200 мм. Материал плит перекрытия и покрытия надземной части — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Балки в составе плит перекрытий и покрытий запроектированы из монолитного железобетона сечением 400×600(h). Материал балок — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Лестничные площадки и марши запроектированы из монолитного железобетона толщиной 200 мм до отм. +8,900 (до типовых этажей) и 180 мм выше отм. +8,900 (на типовых этажах). Материал лестничных маршей и площадок — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Стыковка арматурных стержней $\varnothing \leq 18$ мм производится внахлестку без сварки и внахлестку без сварки, но с «лапками», стыковка арматурных стержней $\varnothing \geq 20$ мм производится сваркой встык и сваркой внахлест. При этом обеспечивается разбежка всех стыков. Арматурные стержни $\varnothing > 28$ мм не применяются.

Наружные стены представлены навесной фасадной системой с воздушным зазором (НФС) и фасадной теплоизоляционной композитной системой (ФТКС) с наружным штукатурным слоем [6]. Несущим материалом наружных стен являются ячеистобетонные блоки D600.

Наружные стены и внутренние перегородки являются ненесущими элементами, т. к. опираются на плиты перекрытия, располагаются в пределах одного этажа и имеют достаточный зазор до верхнего перекрытия [3, 7, 8].

Результаты исследования. Для целей исследования разработана расчетная динамическая модель и конструктивная система жизнеспасающего многоэтажного здания с кинематическими опорами сейсмоизоляции.

На рис. 1 приведены расчетная схема и разрез жизнеспасающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции. На рис. 2 показана физическая модель 1-го этажа (этаж с сейсмоизоляцией) [16].

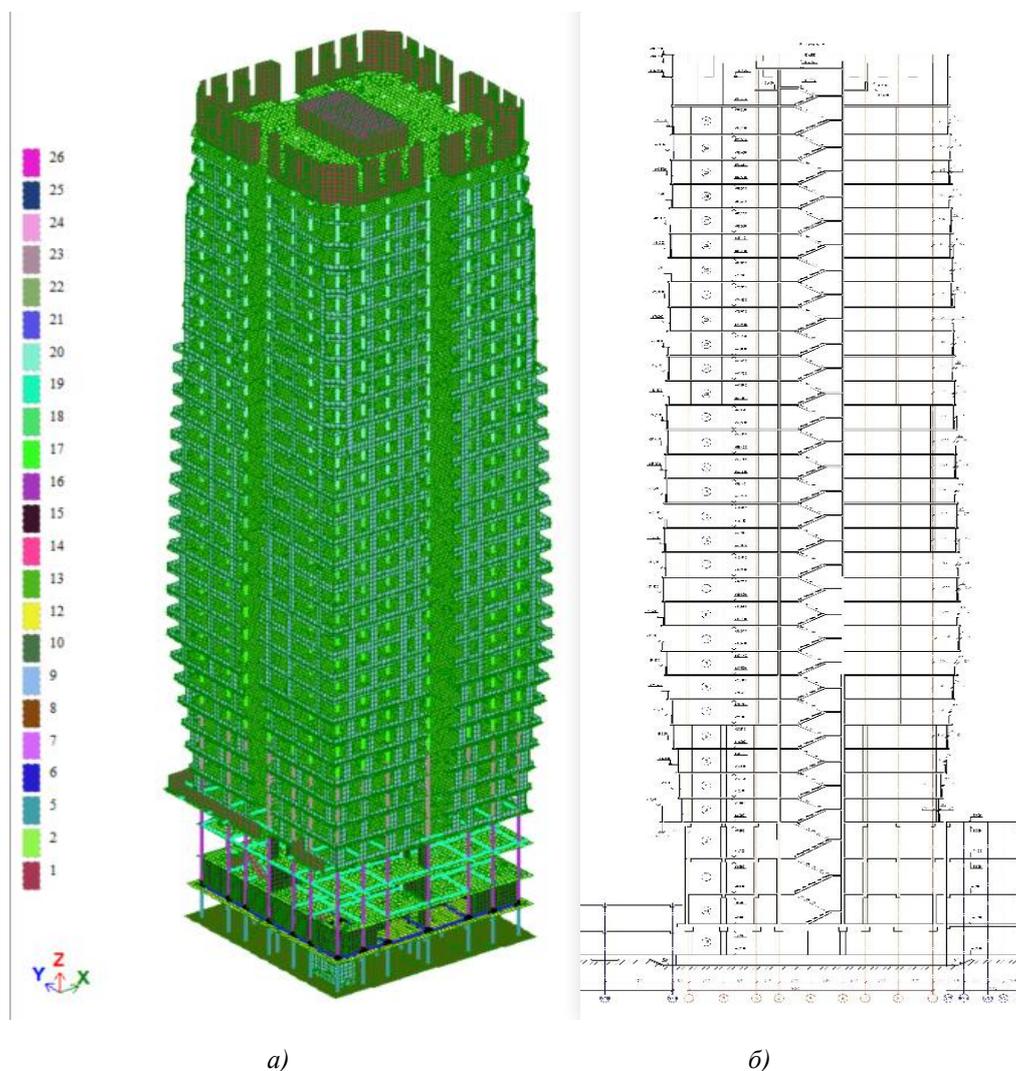


Рис. 1. Жизнеспасающее многоэтажное здание с кинематической системой сейсмоизоляции:

а — расчетная схема; б — разрез [16]

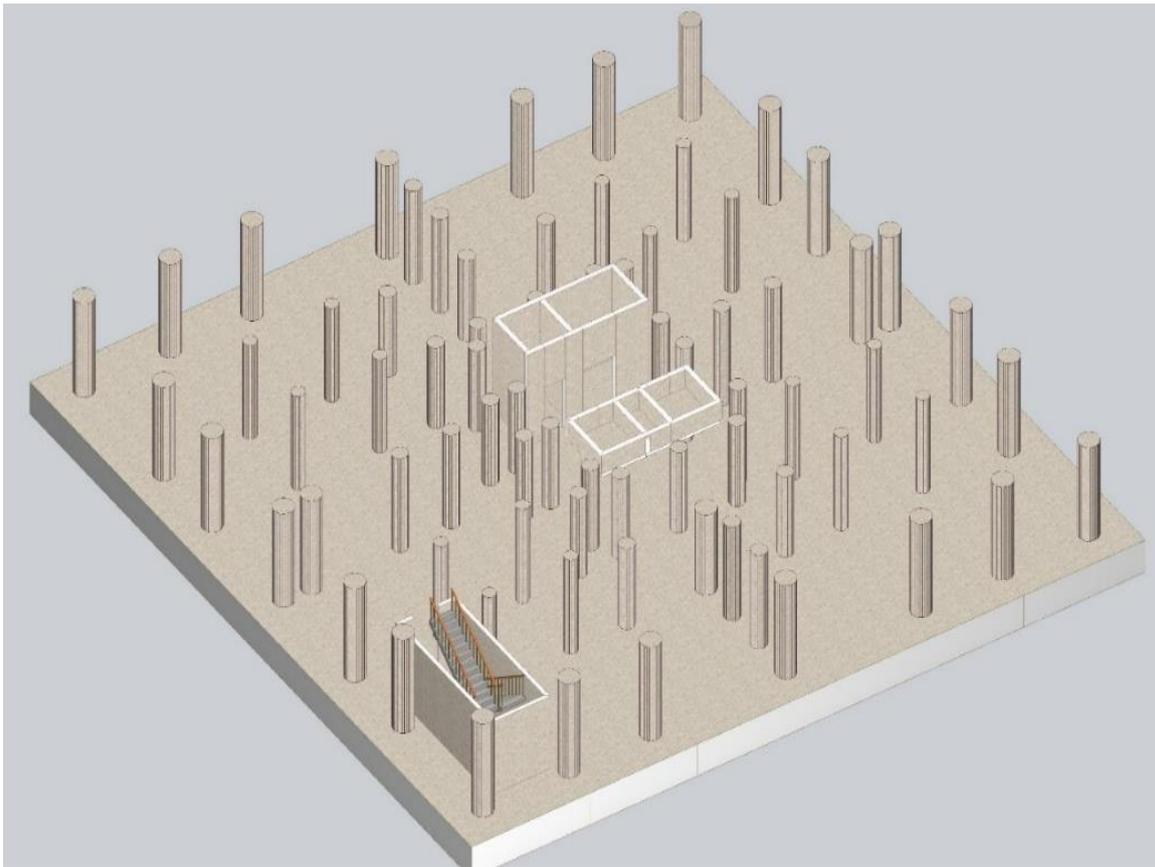


Рис. 2. Физическая модель первого этажа (этаж с сейсмоизоляцией) [16]

На рис. 3 показаны схема расстановки в плане и узел устройства сейсмоизолирующей опоры, нижней и верхней закладных деталей.

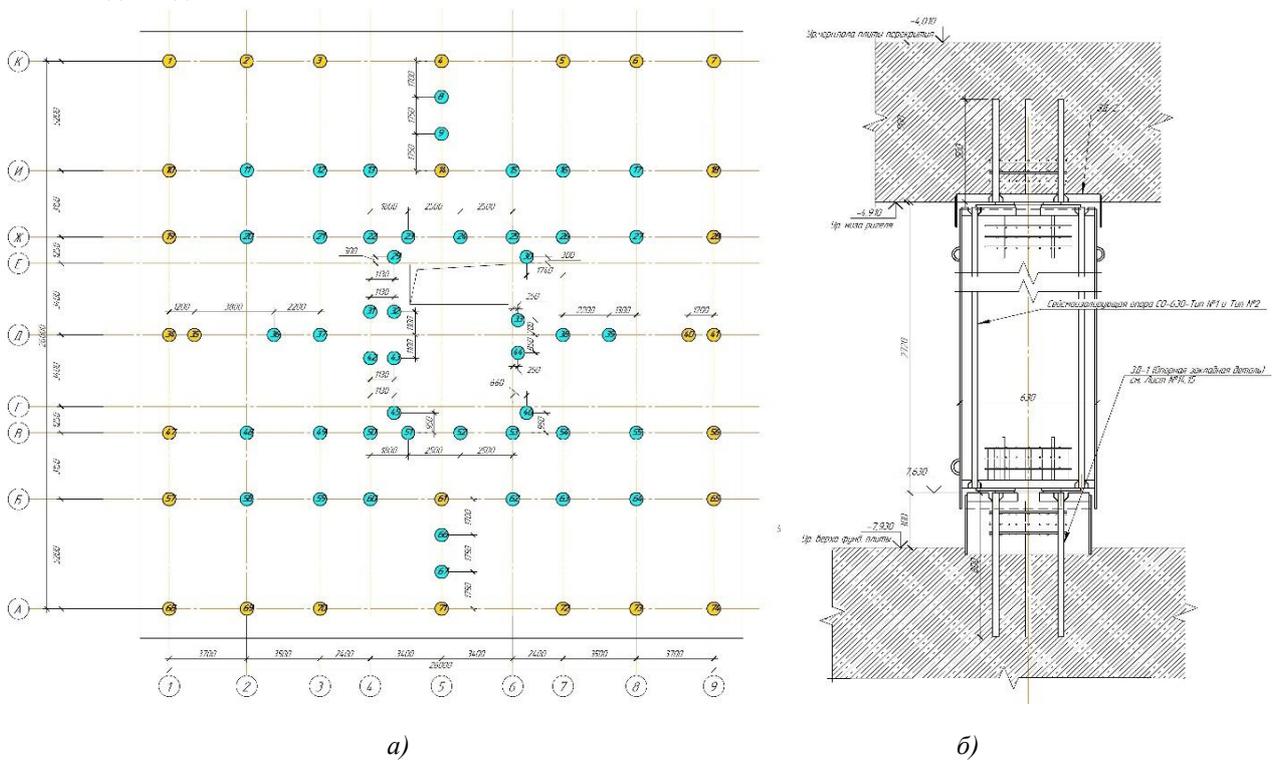


Рис. 3. Кинематическая сейсмоизолирующая опора:
а — схема расстановки; б — вертикальный разрез [16]

Полученные для нагружения № 8 частоты собственных колебаний бизнесберегающего многоэтажного здания приведены в таблице 1.

Таблица 1

Частоты собственных колебаний для загрузки № 8 [16]

№ загрузки	№ формы	Собст. значения	Частоты		Период, с	Коэф. распред.	Мод. масса, %	Сумма мод. масс, %
			Круг. частота, рад/с	Частота, Гц				
8	1	3,831	0,261	0,042	24,068	0,103	0,000	0,000
8	2	2,278	0,439	0,070	14,311	0,187	0,000	0,000
8	3	1,240	0,807	0,128	7,791	-0,143	0,000	0,000
8	4	0,477	2,095	0,333	2,999	-1,541	55,331	55,331
8	5	0,360	2,781	0,443	2,259	0,425	4,123	59,454
8	6	0,275	3,636	0,579	1,728	0,007	0,001	59,455
8	7	0,126	7,967	1,268	0,789	1,092	19,399	78,854
8	8	0,099	10,095	1,607	0,622	0,324	1,617	80,471
8	9	0,096	10,446	1,663	0,601	-0,002	0,000	80,471
8	10	0,063	15,806	2,516	0,398	1,591	8,870	89,341
8	11	0,055	18,147	2,888	0,346	0,037	0,001	89,342
8	12	0,052	19,388	3,086	0,324	1,246	0,200	89,542
8	13	0,050	19,899	3,167	0,316	-0,051	0,000	89,543
8	14	0,050	20,172	3,210	0,311	1,571	0,212	89,755
8	15	0,049	20,458	3,256	0,307	0,130	0,002	89,756
8	16	0,048	20,812	3,312	0,302	-1,042	0,174	89,931
8	17	0,047	21,089	3,356	0,298	-0,086	0,001	89,931
8	18	0,047	21,236	3,380	0,296	-1,393	0,175	90,106
8	19	0,046	21,539	3,428	0,292	0,044	0,000	90,107
8	20	0,046	21,598	3,437	0,291	-0,013	0,000	90,107
8	21	0,046	21,845	3,477	0,288	-0,964	0,001	90,107
8	22	0,044	22,848	3,636	0,275	0,005	0,000	90,107
8	23	0,043	23,493	3,739	0,267	0,929	0,398	90,505
8	24	0,042	24,095	3,835	0,261	0,217	0,016	90,521
8	25	0,041	24,171	3,847	0,260	-0,018	0,000	90,521
8	26	0,038	25,976	4,134	0,242	-0,754	1,802	92,323
8	27	0,037	26,791	4,264	0,235	0,051	0,006	92,329
8	28	0,031	32,280	5,137	0,195	-0,128	0,058	92,387
8	29	0,030	33,040	5,258	0,190	0,011	0,000	92,388
8	30	0,029	34,136	5,433	0,184	-0,053	0,001	92,389
8	31	0,029	34,166	5,438	0,184	-0,021	0,000	92,389
8	32	0,029	34,506	5,492	0,182	-0,584	0,001	92,389
8	33	0,029	34,811	5,540	0,180	-0,255	0,003	92,393
8	34	0,028	35,190	5,601	0,179	0,403	0,006	92,399
8	35	0,028	35,250	5,610	0,178	-0,107	0,001	92,399
8	36	0,028	35,676	5,678	0,176	0,003	0,000	92,399
8	37	0,027	36,568	5,820	0,172	0,028	0,000	92,400
8	38	0,027	36,782	5,854	0,171	0,050	0,001	92,401
8	39	0,027	37,018	5,892	0,170	0,004	0,000	92,401
8	40	0,026	38,189	6,078	0,165	0,397	0,409	92,810
8	41	0,024	41,604	6,621	0,151	-0,041	0,000	92,811
8	42	0,024	41,873	6,664	0,150	-0,007	0,000	92,811
8	43	0,024	42,289	6,730	0,149	-0,072	0,000	92,811
8	44	0,024	42,445	6,755	0,148	-0,028	0,000	92,811
8	45	0,023	42,912	6,830	0,146	-0,022	0,000	92,811
8	46	0,023	43,500	6,923	0,144	0,041	0,000	92,812
8	47	0,022	44,658	7,108	0,141	-0,022	0,000	92,812
8	48	0,022	44,809	7,132	0,140	0,152	0,009	92,821
8	49	0,022	46,120	7,340	0,136	-0,067	0,000	92,821
8	50	0,022	46,229	7,358	0,136	-0,030	0,000	92,821
8	51	0,021	48,501	7,719	0,130	-0,011	0,000	92,822

Формы колебаний здания, полученные расчетным путем, приведены на рис. 4 [16].

Результаты вычисленных перемещений (деформаций) здания представлены в виде цветовых диаграмм изополей перемещений узловых точек расчетной модели здания. Представлены диаграммы перемещений по осям X, Y и Z — для сейсмических нагрузок. Величина перемещений узлов соответствует цвету на цветовой шкале диаграммы (рис. 5) [16].

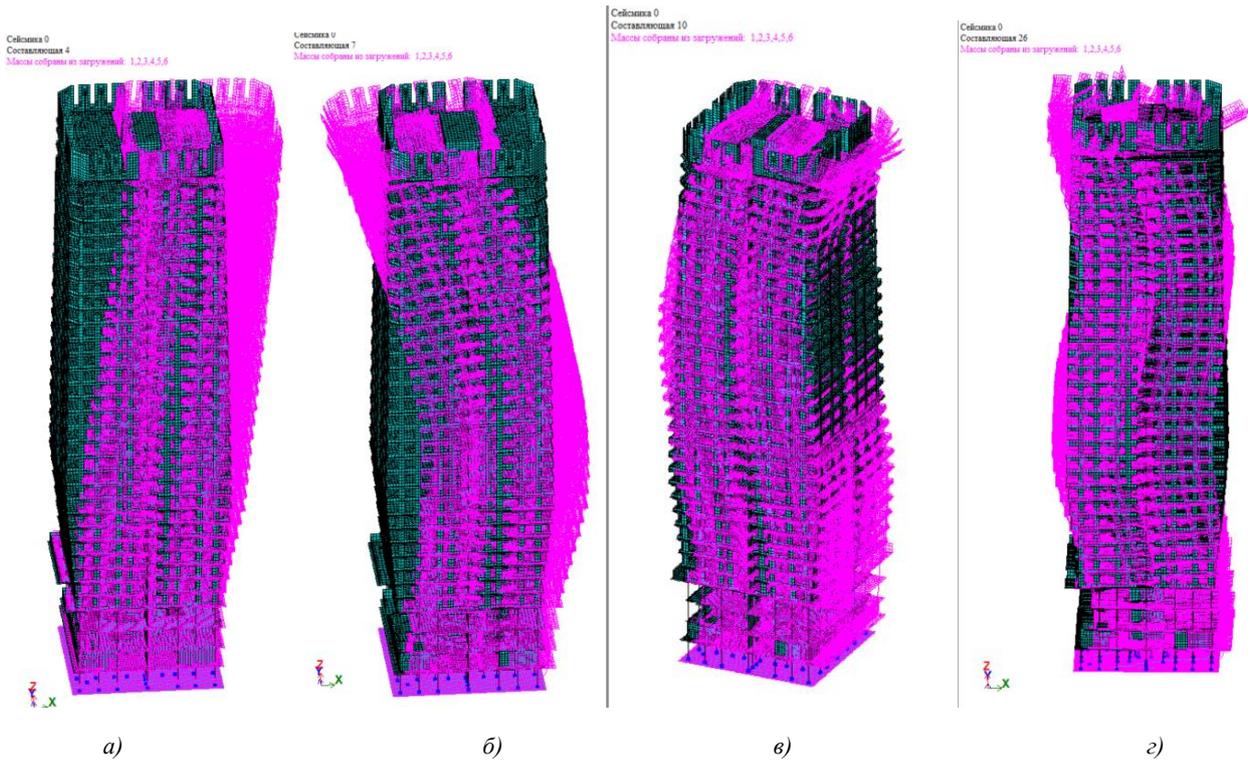


Рис. 4. Формы колебаний (поступательно-изгибная) сейсмоизолированной части многоэтажного здания: а — первая форма; б — вторая форма; в — третья форма; г — четвертая форма [16]

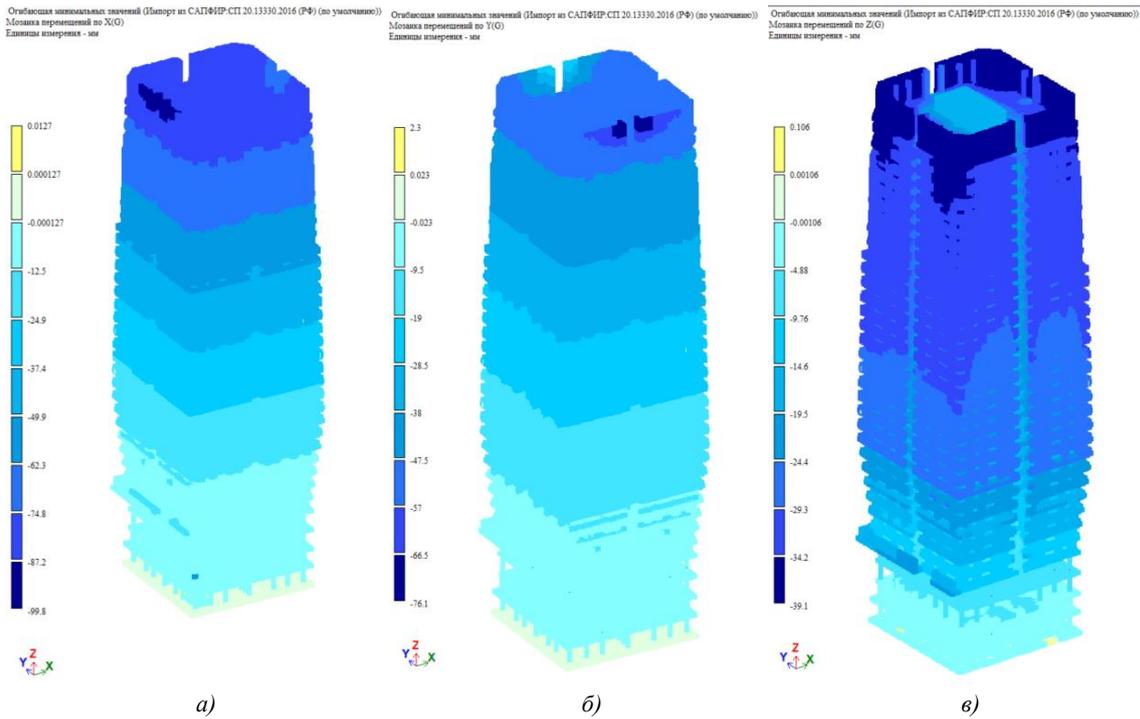


Рис. 5. Максимальные перемещения сейсмоизолированной части многоэтажного здания при наиболее невыгодном расчетном сочетании нагрузок: а — по оси X; б — по оси Y; в — по оси Z [16]

Подбор армирования во всех несущих железобетонных конструкциях фундамента проводился по расчетным сочетаниям усилий (PCY) в конструирующей системе ЛИР-АРМ по нормам СП 63.13330.2016.

Результаты расчета армирования фундаментной плиты, плит перекрытий, стен, лестниц здания представлены в виде цветowych диаграмм теоретических значений армирования элементов.

Требуемые для каждого элемента значения количества арматуры, см², на один погонный метр соответствует градациям цветовой шкалы соответствующей диаграммы.

При этом для каждого конструктивного элемента получены четыре диаграммы — армирование по двум взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям (по оси X и Y) для нижней и для верхней граней.

Подбор арматуры в сечениях колонн и ригелей выполняется на косое внецентренное нагружение с кручением.

Расчет продольной арматуры с приоритетным расположением стержней в угловых зонах сечения выполнялся по предельным состояниям первой и второй группы (прочность и трещиностойкость).

Расчет поперечной арматуры осуществлялся исходя из величин перерезывающей силы по направлениям Y и Z на единицу длины. Результат подбора поперечной арматуры — значения площадей арматуры по направлениям Y и Z .

Для подобранной арматуры по условиям трещиностойкости определялись ширины продолжительного и кратковременного раскрытия трещин. Ширина раскрытия трещин определялась по направлениям Y и Z .

Результат подбора армирования для фундаментной плиты показан на рис. 6–7 [16].

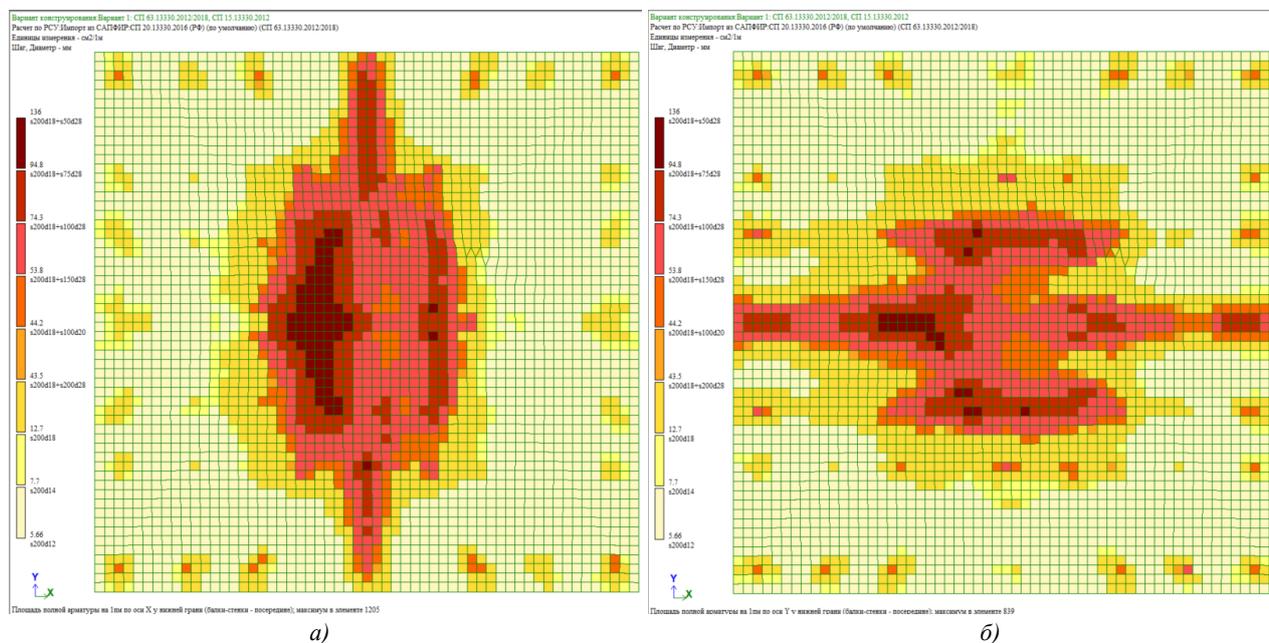


Рис. 6. Армирование фундаментной плиты в нижней зоне многоэтажного здания: a — по оси X ; b — по оси Y [16]

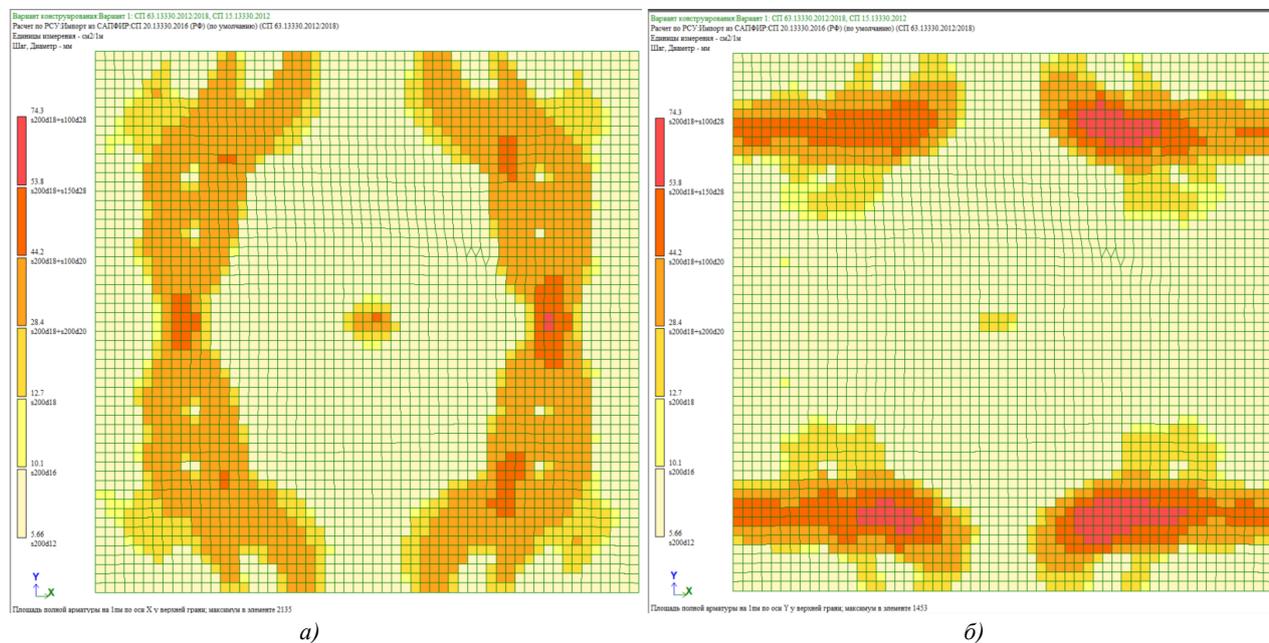
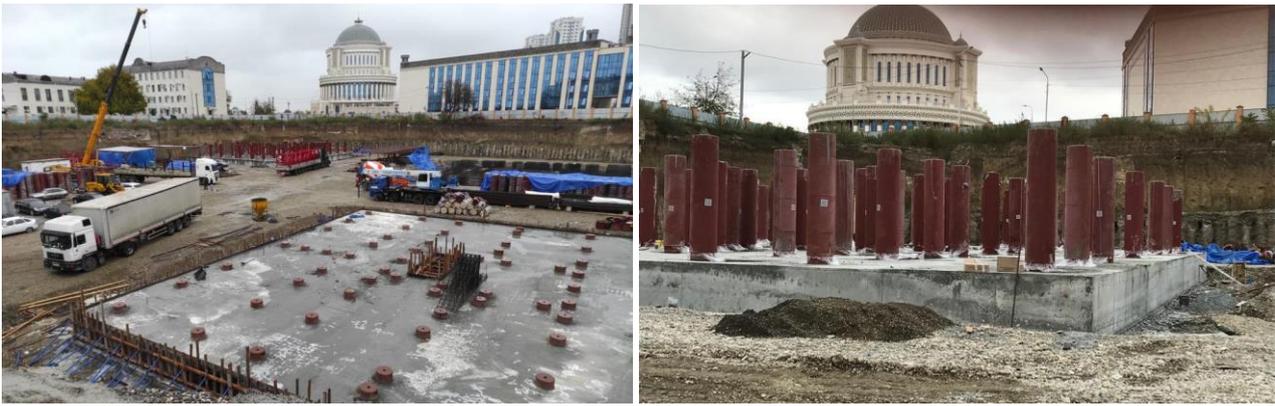


Рис. 7. Армирование фундаментной плиты в верхней зоне многоэтажного здания: a — по оси X ; b — по оси Y [16]

Железобетонная фундаментная плита многоэтажного здания с кинематическими сейсмоизолирующими опорами приведена на рис. 8.



а) б)

Рис. 8. Железобетонная фундаментная плита многоэтажного здания с кинематическими сейсмоизолирующими опорами: а — расположение нижних опорных частей; б — опоры в проектном положении

Анализ результатов расчета бизнесберегающего многоэтажного здания со встроенной системой сейсмозащиты — кинематической системой сейсмоизоляции, возводимого на территории с высокой сейсмической активностью, показал, что принятая система сейсмоизоляции позволила снизить сейсмические нагрузки на здание и существенно уменьшить сечения несущих элементов здания при сейсмических воздействиях.

Расчет на действие особого сочетания нагрузок, включая сейсмическую (9 баллов), показал, что выбранная конструктивная схема обеспечивает достаточную жесткость сейсмоизолированной части здания, прочность, несущую способность, общую устойчивость здания и его элементов.

Встроенное в конструктивную схему здания устройство сейсмической защиты — кинематическая система сейсмоизоляции, обеспечивает снижение горизонтальных сейсмических нагрузок на сейсмоизолированную часть здания. При этом достигается снижение ускорений сейсмоизолированной части здания до 80 см/с^2 .

Комплекс промежуточных натурных испытаний при свободных колебаниях бизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции, вызванных сбросом горизонтальной нагрузки, показал работоспособность узлов сопряжений опор: в нижней части кинематических стоек с фундаментной плитой, а в верхней части — с монолитной железобетонной переходной плитой сейсмоизолированной части здания.

Обсуждение и заключение. Проведенное исследование расчетной динамической модели конструктивной системы бизнесберегающего многоэтажного здания с кинематическими опорами сейсмоизоляции показало, что данная система позволяет снизить сейсмические нагрузки и общий вес здания и одновременно повысить механическую надежность и безопасность. Натурные испытания подтвердили работоспособность принятой системы сейсмоизоляции и узлов сопряжений опор с монолитными железобетонными конструкциями здания. При должном уровне научно-технического сопровождения это дает возможность внедрения кинематических опор сейсмоизоляции в практику проектирования и строительства объектов капитального строительства в сейсмических районах.

Список литературы / References

1. Айзенберг Я.М., Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Смирнов В.И., Трекин Н.Н. *Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом для сейсмических районов*. М.: ОАО «ЦПП»; 2011. 322 с.
Ayzenberg YaM, Kodysh EN, Nikitin IK, Smirnov VI, Trekin NN. *Design of Multi-Storey Buildings with a Reinforced Concrete Frame for Seismic Areas*. Moscow: JSC “CPP” Publ.; 2011. 322 p. (In Russ.)
2. Айзенберг Я.М., Деглина М.М., Мажиев Х.Н. *Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты*. М.: Наука; 1983. 142 с.
Aizenberg YM, Deglina MM, Mazhiev KhN. *Seismic Insulation and Adaptive Seismic Protection Systems*. Moscow: Nauka (Science) Publ.; 1983. 142 p. (In Russ.)
3. Абаканов Т., Кусаинов А.А., Теплых А.В., Бондарев Д.Е. *Сейсмология и сейсмостойкость сооружений*. М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательство АСВ; 2024. 624 с. URL: <https://iasv.ru/sejsmologiya-i-sejsmostojkost-sooruzhenij.html> (дата обращения 11.07.2024).
Abakanov T, Kusainov AA, Teplykh AV, Bondarev DE. *Seismology and Seismic Resistance of Structures*. Moscow: SKAD SOFT, ASV Publ.; 2024. 624 p. (In Russ.) URL: <https://iasv.ru/sejsmologiya-i-sejsmostojkost-sooruzhenij.html> (accessed: 11.07.2024).

4. Маилян Л.Р., Зубрицкий М.А., Ушаков О.Ю., Сабитов Л.С. Расчет высотных сооружений при сейсмическом воздействии уровня «контрольное землетрясение» нелинейным статическим методом на примере Адыгейской ВЭС. *Строительные материалы и изделия*. 2020;3(1):14–20.

Mailyan LR, Zubritsky MA, Ushakov OYu, Sabitov LS. Calculation of High-Rise Buildings under Seismic Effect of “Controlling Earthquake” Level by Nonlinear Static Method on the Example of Adyge Wind Power Plant. *Construction Materials and Products*. 2020;3(1):14–20.

5. Маилян Д.Р., Мурадян В.А. К методике расчета железобетонных внецентренно сжатых колонн. *Инженерный вестник Дона*. 2012;4–2(23):182. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333> (дата обращения 01.07.2024).

Mailyan DR, Muradian VA. The Method of Calculating Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Columns. *Engineering Journal of Don*. 2012;4–2(23):182. (In Russ.) URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333> (accessed: 01.07.2024).

6. Муселемов Х.М., Маилян Д.Р., Муселемов Д.У. Напряжённо-деформированное состояние трехслойной трубчатой конструкции при воздействии равномерно распределенной импульсной нагрузки. *Инженерный вестник Дона*. 2023;11(107):386–400. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8786> (дата обращения 11.07.2024).

Muselemov HM, Mailyan DR, Muselemov DU. Stress-Strain State of a Three-Layer Tubular Structure under the Influence of a Uniformly Distributed Pulse Load. *Engineering Journal of Don*. 2023;11(107):386–400. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8786> (accessed: 11.07.2024).

7. Мажиев Х.Н., Батаев Д.К.-С., Газиев М.А., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х. *Материалы и конструкции для строительства и восстановления зданий и сооружений в сейсмических районах*. Грозный: КНИИ им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук; 2014. 652 с.

Mazhiev KhN, Bataev DK-S, Gaziev MA, Mazhiev KKh, Mazhieva AKh. *Materials and Structures for Construction and Restoration of Buildings and Structures in Seismic Areas*. Grozny: Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2014. 652 p. (In Russ.)

8. Пшеничкина В.А., Дроздов В.В., Чаускин А.Ю. *Сейсмическая надежность зданий повышенной этажности*. Волгоград: Изд-во ВолГТУ; 2022. 180 с.

Pshenichkina VA, Drozdov VV, Chauskin AYU. *Seismic Reliability of High-Rise Buildings*. Volgograd: Volgograd STU Publ.; 2022. 180 p. (In Russ.)

9. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Щербань Е.М. Расчет и проектирование строительных конструкций с учетом вариатропии структуры, сечений и дифференциации конструктивных характеристик материалов. *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2021;2(62):27–48. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.62.2.002>

Mailyan LR, Stelmakh SA, Shcherban EM. Calculation and Design of Building Structures Given the Variatropy of the Structure, Sections and Differentiation of Constructive Characteristics of the Materials. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021;2(62):27–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.62.2.002>

10. Маилян Л.Р., Зубрицкий М.А., Ушаков О.Ю., Сабитов Л.С., Бамбулевич М.Д. Оценка сейсмостойкости существующих фундаментов паротурбинных установок при сейсмических воздействиях. *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2020;4(47):79–83. <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.47.4.013>

Mailyan LR, Zubritskiy MA, Ushakov OYu, Sabitov LS, Bambulevich MD. Seismic Resistance Estimation of Existing Turbogenerator Foundation Structures under Ductility Level Earthquake Impact by Nonlinear Static Method. *Akademicheskij Vestnik Uralniiproekt RAASN (Academic Bulletin of UralNIIProekt of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS))*. 2020;4(47):79–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.47.4.013>

11. Маилян Л.Р., Языев С.Б., Сабитов Л.С., Коноплёв Ю.Г., Радайкин О.В. Напряжённо-деформированное состояние системы «комбинированная башня — железобетонный фундамент — грунт основания» высотных сооружений. *Строительные материалы и изделия*. 2019;2(6):29–37. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2019-2-6-29-37>

Mailyan LR, Yazyev SB, Sabitov LS, Konoplev YuG, Radaykin OV. Stress-Strain State of the System “Combined Tower-Reinforced Concrete Foundation-Foundation Soil” of High-Rise Structures. *Construction Materials and Products*. 2019;2(6):29–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2019-2-6-29-37>

12. Назаров Ю.П. *Расчетные модели сейсмических воздействий*. М.: Наука; 2012. 414 с.

Nazarov YuP. *Computational Models of Seismic Impacts*. Moscow: Nauka; 2012. 414 p. (In Russ.)

13. Клаф Р., Пензиен Дж. *Динамика сооружений*. М.: Стройиздат; 1979. 320 с.

Clough R, Penzien J. *Dynamics of Structures*. Moscow: Stroyizdat; 1979. 320 p. (In Russ.)

14. Themelis S. *Pushover Analysis for Seismic Assessment and Design of Structures*. Heriot-Watt University: School of the Built Environment; 2008. URL: https://www.ros.hw.ac.uk/bitstream/handle/10399/2170/ThemelisS_1008_sbe.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed: 10.07.2024).

15. Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х., Шестаков И.И., Кадаев И.Х., Мажиев А.Х. и др. Опыт строительства зданий с системами сейсмоизоляции в Чеченской Республике. В: *Материалы Международных академических*

чений «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения». Курск: Курский государственный университет; 2021. С. 17–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47478153> (дата обращения 10.07.2024).

Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Mazhieva AKh, Shestakov II, Kadaev IKh, Mazhiev AKh, et al. Experience in Constructing Buildings with Seismic Isolation Systems in the Chechen Republic. In: *Proceedings of the International Academic Readings "Safety of the Russian Construction Stock. Problems and Solutions"*. Kursk: Kursk State University Publ.; 2021. P. 17–31. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47478153> (accessed 11.09.2024).

16. *Расчетно-пояснительная записка по результатам расчета на основные и особые сочетания нагрузок и усилий по объекту: «Высотный жилой комплекс со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и 2-х уровневый подземным паркингом по адресу: Чеченская Республика, г. Грозный, Ленинский район, ул. Шейха-Али Мутаева, 2 «а». Блок-секция I.* Сочи: ООО «СочиЭкспертПроект»; 2021. 172 с.

Calculation and Explanatory Note Based on the Results of Calculations for the Main and Special Combinations of Loads and forces Referring to the Facility: "High-Rise Residential Complex with Built-in and Attached Public Spaces and a Two-Level Underground Parking at the Address: 2a, Sheikh-Ali Mitayev Str., Grozny, Chechen Republic. Block Section I. Sochi: SochiExpertProect, LLC; 2021. 172 p. (In Russ.)

Об авторах:

Хасан Нажоевич Мажиев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Казбек Хасанович Мажиев, кандидат технических наук, научный руководитель научно-технического центра «Безопасность зданий и сооружений при природных и техногенных воздействиях», доцент кафедры строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100); старший научный сотрудник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук (364051, Российская Федерация, г. Грозный, ул. В. Алиева, 21а), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Амина Хасановна Мажиева, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Станислав Юрьевич Семенов, доцент кафедры строительства и сервиса Сочинского государственного университета (354003, РФ, Краснодарский край, г. Сочи, Центральный район, ул. Пластунская, 94), [ORCID](#), smu5sochi@mail.ru

Аслан Хасанович Мажиев, научный сотрудник отдела физико-математических и технических наук Центра проблем материаловедения Академии наук Чеченской Республики (364043, Российская Федерация, г. Грозный, ул. В. Алиева, 19а); старший преподаватель кафедры строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Адам Хасанович Мажиев, научный сотрудник отдела физико-математических и технических наук Центра проблем материаловедения Академии наук Чеченской Республики (364043, Российская Федерация, г. Грозный, ул. В. Алиева, 19а), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Х.Н. Мажиев: научное руководство, формирование основной концепции, цели, задач исследования и его общее планирование, участие в реализации исследования, анализ его результатов, доработка и развитие выводов, корректировка рукописи.

К.Х. Мажиев: участие в реализации исследования, анализ полученных результатов, корректировка рукописи, формулирование выводов.

А.Х. Мажиева: участие в реализации исследования, в разработке расчетно-динамической модели здания, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

С.Ю. Семенов: реализация основных этапов исследования, проведение натурных испытаний и анализ полученных результатов.

А.Х. Мажиев: участие в разработке конструктивной системы, проведение расчетов, реализация основных этапов исследования, обработка и анализ полученных результатов, формулирование выводов.

А.Х. Мажиев: проведение расчетов, реализация основных этапов исследования, обработка и анализ полученных результатов, формулирование выводов, подготовка иллюстраций, первоначального текста и общее оформление рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Khasan N. Mazhiev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov (100, Kh.A. Isaev Ave., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Kazbek Kh. Mazhiev, Cand.Sci. (Engineering), Scientific Director of the Scientific and Technical Center “Safety of Buildings and Structures under Natural and Anthropogenic Impacts”, Associate Professor of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov Senior Researcher of the Complex Institute of the Russian Academy of Sciences Named after Kh. Ibragimov (21a, V. Aliev Str., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Amina Kh. Mazhieva, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov (100, Kh.A. Isaev Ave., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Stanislav Yu. Semenov, Associate Professor of the Construction and Service Department, Sochi State University (94, Plastunskaya Str., Central District, Sochi, 354003, Krasnodar Region, Russian Federation), [ORCID](#), smu5sochi@mail.ru

Aslan Kh. Mazhiev, Researcher of the Physics, Mathematics and Engineering Sciences of the Material Engineering Problems Center, Academy of Sciences of the Chechen Republic (19a, V. Aliev Str., Grozny, 364043, Chechen Republic, Russian Federation); Senior Lecturer of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov (100, Kh.A. Isaev Ave., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Adam Kh. Mazhiev, Researcher of the Physics, Mathematics and Engineering Sciences of the Material Engineering Problems Center, Academy of Sciences of the Chechen Republic (19a, V. Aliev Str., Grozny, 364043, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Claimed Contributorship:

KhN Mazhiev: scientific supervision, formulating the main concept, aim, objectives of the research and its general planning, participation in the implementation of the research, analysis of the research results, refining and evolving the conclusions, correcting the manuscript.

KKh Mazhiev: participation in the implementation of the research, analysis of the obtained results, correcting the manuscript, formulating the conclusions.

AKh Mazhieva: participation in the implementation of the research, in the development of the computational dynamic model of a building, analysis of the obtained results, formulating the conclusions.

SYu Semenov: implementation of the main stages of the research, conducting the in-situ tests and analysis of the obtained results.

AKh Mazhiev: participation in the development of the structural system, conducting the calculations, implementation of the main stages of the research, processing and analysis of the obtained results, formulating the conclusions.

AKh Mazhiev: conducting the calculations, implementation of the main stages of the research, processing and analysis of the obtained results, formulating the conclusions, preparing the illustrations and the original text, general layout of the manuscript.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 20.07.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 15.08.2024

Принята к публикации / Accepted 29.08.2024