

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 699.841

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-17-29>

Учет нормативных требований при расчете конструкций жизнесберегающих зданий на сейсмические воздействия



EDN: CDWJUJ

Х.Н. Мажиев¹ , К.Х. Мажиев² , Ю.В. Панасенко³ , А.Х. Мажиева⁴ ,
А.Х. Мажиев¹ , А.Х. Мажиев⁵ 

¹Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика

М.Д. Миллионщикова, Академия наук Чеченской Республики, Российская Федерация, г. Грозный

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

³Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко

АО «НИЦ «Строительство», Российская Федерация, г. Москва

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

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

✉ seismofund@mail.ru

Аннотация

Введение. Научная проблема состоит в обеспечении сейсмостойкости зданий посредством оптимизации конструктивных решений, выборе расчетных моделей и разработке методики, учитывающей нелинейность работы несущих конструкций при воздействии проектных и контрольных землетрясений. С целью учета нормативных требований при расчете конструкций жизнесберегающих зданий на сейсмические воздействия выполнены нелинейные расчеты конструкций при интенсивных сейсмических воздействиях.

Материалы и методы. Расчеты проводились аналитическим методом и методом конечных элементов в программных комплексах «STARK ES» и «ЛИРА-САПР».







Результаты исследования. Получены сравнительные результаты расчетов динамической модели рассматриваемого многоэтажного здания при горизонтальном поступательном динамическом воздействии, осуществленном с применением собственных форм в линейной постановке. Наряду с этим показаны результаты динамического расчета при основных и особых сочетаниях нагрузок и соответствующих сочетаниях внутренних усилий в рассматриваемых конструкциях многоэтажного здания с сейсмоизоляцией, возводимого в г. Грозный.

Обсуждение и заключение. Получены критерии, которые позволяют проводить отбор существенных и исключение малозначимых форм собственных колебаний при осуществлении сейсмического расчета конструкций с отдельными нелинейностями. Результаты расчета показали, что обеспечивается требуемая несущая способность многоэтажного здания при рассматриваемой расчетной ситуации.

Ключевые слова: сейсмозащита, сейсмоизоляция, сейсмическое воздействие, расчет, жизнесберегающие здания, нелинейность, колебания

Для цитирования. Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Панасенко Ю.В., Мажиева А.Х., Мажиев А.Х., Мажиев А.Х. Учет нормативных требований при расчете конструкций жизнесберегающих зданий на сейсмические воздействия. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(4):17–29. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-17-29>

Adhering to Regulatory Requirements in Calculation of Earthquake Resistance of the Structures of Life-Saving Buildings

Khasan N. Mazhiev¹ , Kazbek Kh. Mazhiev² , Yuri V. Panasenko³ , Amina Kh. Mazhieva⁴ ,
Aslan Kh. Mazhiev¹ , Adam Kh. Mazhiev⁵ 

¹Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russian Federation

²Grozny 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

³JSC Research Center of Construction, Central Research Institute of Building Constructions Named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russian Federation

⁴Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russian Federation

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

✉ seismofund@mail.ru

Abstract

Introduction. The scientific problem lies in ensuring earthquake resistance of the buildings by optimizing design solutions, selecting the computational models and developing a methodology, which takes into account the nonlinear behaviour of the load bearing structures under the action of design-earthquakes and reference-earthquakes. For adhering to regulatory requirements in calculation of earthquake resistance of the structures of life-saving buildings, the nonlinear calculations of structures' behaviour under intense seismic actions were made.

Materials and Methods. The calculations were made by the analytical method and the finite element method using the “STARK ES” and “LIRA-SAPR” software.

Results. The comparative computation results of the estimated multi-storey building dynamic model subject to the horizontal progressive dynamic action with the use of eigenforms in a linear formulation have been obtained. In addition, the results of dynamic calculation under the main and special combination of loads and corresponding combination of internal forces performed for the estimated structures of a multi-storey building with seismic isolation constructed in Grozny have been presented.

Discussion and Conclusion. The criteria for selecting the significant and excluding the insignificant forms of natural oscillations when performing the earthquake resistance calculations of structures with certain nonlinearities have been determined. The calculation results have demonstrated achievement of the required bearing capacity of a multi-storey building in the given calculation conditions.

Keywords: seismic protection, seismic isolation, seismic action, calculation, life-saving buildings, nonlinearity, oscillations

For Citation. Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Panasenko YuV, Mazhieva AKh, Mazhiev AKh, Mazhiev AKh. Adhering to Regulatory Requirements in Calculation of Earthquake Resistance of the Structures of Life-Saving Buildings. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(4):17–29. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-17-29>

Введение. В работе показываются способы реализации существующих положений СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» (актуализированная редакция СНиП II–7–81*) по проведению расчета сооружений, оборудованных различными сейсмоизолирующими и сейсмозащитными устройствами, при динамических воздействиях, которые в тексте свода правил недостаточно полно освещены, и поэтому могут быть различными. Представлены способы учета этих указаний, использованные при реализации различных методик в программных комплексах «ЛИРА-САПР» и «STARK ES».

Основные положения СП 14.13330.2018, касающиеся расчета конструкций многоэтажного здания при динамических воздействиях, дают возможность инженеру применить практически любую методику их выполнения. Нами предлагаются некоторые варианты методик, значительно сокращающих время на проектирование многоэтажных зданий [1–16].

Материалы и методы. С целью учета положения СП 14.13330.2018 о необходимости выполнения нелинейного динамического расчета конструкций при сейсмическом воздействии в расчетных комплексах «ЛИРА-САПР» и «STARK ES» с использованием предлагаемых методик реализованы нелинейные расчеты конструкций на воздействия проектного (ПЗ) и контрольного (КЗ) землетрясений.

В качестве объекта исследования рассматривается 33-х этажное здание с двумя этажами, находящимися ниже планировочных отметок земли, которое имеет в плане квадратную форму, с размерами в осях — 26,0×26,0 м.

Высота 1-го этажа — 3,92 м. Высота 2-го этажа — 3,91 м. Высота 3-го и 4-го этажей — 4,5 м. Высота типовых этажей — 3,1 м. Высота последнего 33-го этажа — 3,7 м. высота технического этажа — 2,05 м.

Конструктив здания состоит из монолитных железобетонных колонн, балок, фундаментной плиты, плит перекрытий и покрытий, лестниц и сборных трубобетонных сейсмоизолирующих опор (на основе патента № 2477353 «Трубобетонная сейсмоизолирующая опора»).

Различные подходы к вопросу учета работы неупруго-деформированных сейсмоизолирующих конструкций при динамическом расчете приведены в работах [11, 12].

Для расчета физической и аналитической моделей зданий применялись расчетные комплексы «ЛИРА-САПР» и «STARK ES» [2, 14, 15]. Расчеты проводились аналитическим методом и методом конечных элементов.

Указание о необходимости проведения нелинейного расчета конструкций зданий и сооружений при динамическом воздействии землетрясений уровня «КЗ» (контрольное землетрясение) содержится в СП 14.13330.2018. Разновидностью таких расчетов служит расчет на реальные или генерированные акселерограммы [2]. В общем случае такой подход реализуется методом решения системы уравнений динамического равновесия, выражаемой в виде [2]:

$$M \cdot \ddot{Y}(t) + C \cdot \dot{Y}(t) + S(t) = P(t), \quad (1)$$

где M — матрица масс; C — матрица демпфирования; $\ddot{Y}(t)$, $\dot{Y}(t)$ — неизвестные векторы соответствующих ускорений и скоростей перемещения конструкций в пространстве во времени t ; $S(t)$ — вектор неупругих сил реакции отпора; $P(t)$ — вектор нагрузок, который соответствует выбранной модели динамического воздействия.

В системе уравнений динамического равновесия (1) с целью упрощения принято, что нелинейность влияет на жесткостные характеристики конструкции, но в то же время остаются постоянными матрица демпфирования и матрица масс [10].

Решение системы уравнений динамического равновесия (1) с применением численных методов интегрирования выражаем в виде:

$$M \cdot \Delta \ddot{Y}(t) + C \cdot \Delta \dot{Y}(t) + K_{\text{кас}}(t) \cdot \Delta Y(t) = \Delta P(t), \quad (2)$$

где $K_{\text{кас}}(t)$ — матрица касательной жесткости соответствующей конструкции в текущий промежуток времени t ; $\Delta P(t)$, $\Delta Y(t)$, $\Delta \dot{Y}(t)$, $\Delta \ddot{Y}(t)$ — соответствующие приращения для нагрузок на текущем шаге и перемещений, скоростей, ускорений в текущий промежуток времени t .

Значения перемещений, скоростей, сил отпора и ускорений в текущий промежуток времени t определяются путем интегрирования системы уравнений динамического равновесия (2) [2]:

$$Y(t) = Y(t - \Delta t) + \Delta Y(t), \quad S(t) = S(t - \Delta t) + K_{\text{кас}}(t) \cdot \Delta Y(t),$$

$$\ddot{Y}(t) = \ddot{Y}(t - \Delta t) + \Delta \ddot{Y}(t), \quad \dot{Y}(t) = \dot{Y}(t - \Delta t) + \Delta \dot{Y}(t).$$

В целях упрощения решения системы уравнений динамического равновесия (2) допускаем, что в решаемой системе присутствует незначительное количество элементов с существенной нелинейностью (например, выключающиеся связи или резинометаллические опоры), а для ее другой части можно в первом приближении допустить, что матрица начальной жесткости обратно пропорциональна матрице ее касательной жесткости. Это утверждение аналогично случаю использования в различных вариантах приближенного нелинейного статического метода оценки сейсмостойкости сооружений «pushover analysis» [2–3]. На основании этого матрицу $K_{\text{кас}}(t)$ можно представить в следующем виде:

$$K_{\text{кас}}(t) = K_{e,\text{кас}}(t) + \chi(t)(K - K_e), \quad (3)$$

где $K_{e,\text{кас}}(t)$ — матрица касательной жесткости учитываемых нелинейных элементов в текущий промежуток времени t ; K — матрица начальной жесткости рассматриваемой системы в целом (при $Y = 0$); K_e — матрица начальной жесткости учитываемых нелинейных элементов (при $Y = 0$); $\chi(t) \in [0, 1]$ — коэффициент пропорциональности.

После соответствующих подстановок (3) в (2) и перемещения членов, взаимосвязанных с нелинейными элементами, за знак равенства получим уравнение (4) [2]:

$$M \cdot \Delta \ddot{Y}(t) + C \cdot \Delta \dot{Y}(t) + \chi(t)K \cdot \Delta Y(t) = \Delta P(t) + [\chi(t)K_e - K_{e,\text{кас}}(t)] \cdot \Delta Y(t). \quad (4)$$

В принятых начальных условиях становится возможным учесть напряженно-деформированное состояние несущих конструкций при действии постоянных нагрузок, приложенных к моменту начала сейсмического воздействия.

Результаты исследования. На рис. 1 показаны результаты расчетов перемещения верха здания и поперечной силы в одной из колонн его каркаса. Представлены решения, полученные в линейно-упругой постановке, в нелинейной постановке с учетом упругопластической работы сейсмоизоляторов, установленных между фундаментом и конструкциями здания, и в нелинейной постановке с учетом упругопластической работы сейсмоизоляторов и конструкций. Эти результаты показывают, что учет сейсмоизоляции здания и неупругого деформирования его конструкций позволил получить существенно меньшие расчетные усилия в элементах каркаса здания без увеличения амплитуды перемещений верха здания (в других случаях учет пластичности сможет приводить как к снижению, так и к увеличению амплитуды перемещений) [2].

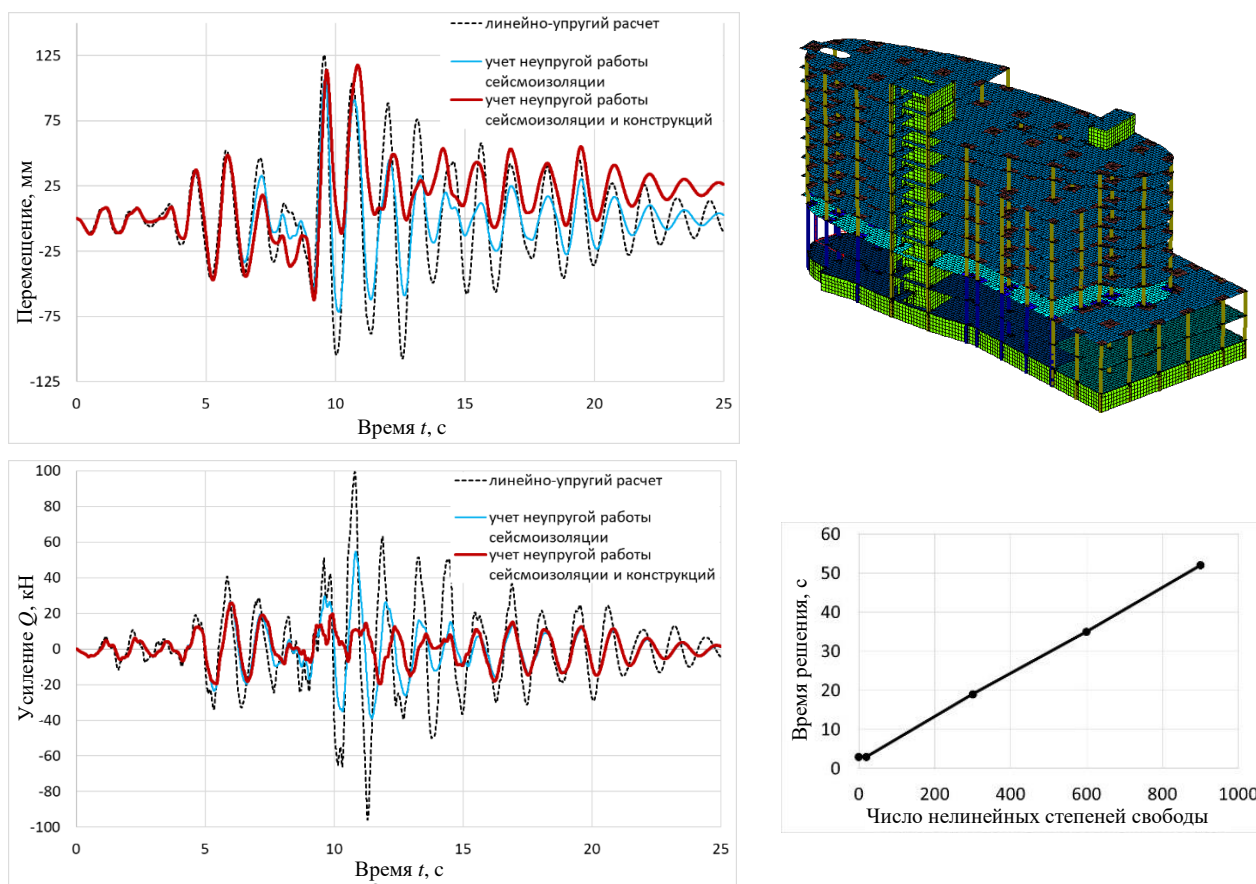


Рис. 1. Результаты линейного и упругопластического расчетов каркаса здания и его конечно-элементная расчетная модель [2]

При расчете систем с локальными нелинейностями недостаточно использование лишь форм колебаний со значимой общей эффективной модальной массой. Например, для расчета плоской рамы с упругопластическими сейсмоизолирующими опорными элементами (рис. 2) при поступательном сейсмическом воздействии вдоль рамы потребовалось учесть 68-ю и 69-ю формы собственных колебаний рамы, связанные с деформацией нелинейных опорных элементов. Эти формы имеют нулевой вклад в сумму эффективных модальных масс и на линейное решение никак не влияют (таблица 1). Напротив, при нелинейном расчете эти формы имеют большое значение при определении усилий в элементах рамы [2].

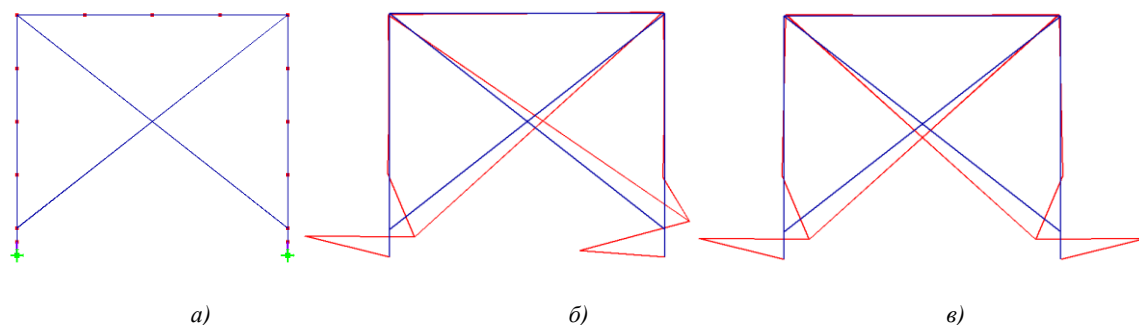


Рис. 2. Сейсмоизолированная рама: а — общий вид конечно-элементной модели рамы; б — форма собственных колебаний №68; в — форма собственных колебаний № 69

Таблица 1

Результаты расчета рамы [2]

Число учтённых собственных форм	μ_k	Линейное решение			Нелинейное решение		
		Перемещение, мм	Продольная сила в диагональной связи, кН	Поперечная сила в опоре, кН	Перемещение, мм	Продольная сила в диагональной связи, кН	Поперечная сила в опоре, кН
69 (точное решение)	1,0000	30,0	152,6	176,4	27,8	115,3	107,5
68	1,0000	30,0	152,6	176,4	27,8	115,3	168,3
67	1,0000	30,0	152,6	176,4	27,8	115,3	245,0
19	1,0000	30,0	152,6	176,4	27,9	115,4	262,7
9	0,9999	30,0	152,6	176,4	28,1	116,0	262,3
5	0,9968	30,0	152,6	176,4	28,3	119,4	235,2
3	0,9860	30,0	152,6	176,4	29,0	132,3	194,1
1	0,9550	30,0	153,0	176,0	29,6	150,9	173,5

Ниже приводятся результаты расчета на основные и особые сочетания нагрузок и усилий жизнесберегающего многоэтажного здания с сейсмоизоляцией, возводимого в г. Грозный, которое 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/с^2 [12–16].

Приняты симметричные конструктивные и объемно-планировочные решения с равномерным распределением нагрузок на перекрытия, масс и жесткостей конструкций в плане и по высоте. При этом более 80 % поэтажной жесткости на каждом из этажей здания, кроме верхнего этажа, обеспечивают колонны, стены, ядро жесткости.



Рис. 3. Аналитическая модель жизнесберегающего многоэтажного здания

Пространственная жесткость и общая устойчивость системы обеспечивается за счет совместной работы колонн, балок, стен с горизонтальными плитами, жестких узлов сопряжения монолитных железобетонных конструкций, а также шарнирных соединений сейсмоизолирующих опор с фундаментной плитой и плитой перекрытия второго этажа.

Сечения элементов конструкций и их соединения приняты с учетом результатов расчетов.

Создается возможность развития в элементах допустимых неупругих деформаций.

A 3D isometric rendering of a building's structural frame. The structure consists of a central core with multiple internal columns and beams, surrounded by a perimeter frame. The columns are represented by vertical rectangular blocks, and the beams are horizontal lines connecting them. The entire structure is set against a light gray background.

Частоты собственных колебаний многоэтажного здания приведены в таблицах 2–3.

Проект: конструирование Вариант 1: СТП 63.13330.2012.2018, СТП 15.13330.2012.2018
 Расчет по РСН/Диагностика на САПР/ФЭП/СТП 20.13330.2016 (РФ) (по умолчанию) (СТП 63.13330.2012.2018)
 Единицы измерения: см/тн
 Шаг, Диапазон: - мм

12.7
 σ200418
 10.1
 σ200416
 7.69
 σ200414
 5.66
 σ200412
 3.93
 σ200410
 2.52
 σ20048
 1.41
 σ20046
 0

Y
 X
 Z

Отс: - 38.600
 Площадь полной модели: 40.1 тн по оси X в нижней точке (балка-стелла - поперечный); максимум в элементе 12911

22

Таблица 2

Частоты собственных колебаний для загрузки № 7 [16]

№ загрузки	№ формы	Собст. значения	Частоты		Период, с	Коэф. распредел.	Мод. масса, %	Сумма мод. масс, %
			Круг. частота, рад/с	Частота, Гц				
7	1	3,831	0,261	0,042	24,068	0,000	0,000	0,000
7	2	2,278	0,439	0,070	14,311	0,000	0,000	0,000
7	3	1,240	0,807	0,128	7,791	-0,003	0,000	0,000
7	4	0,477	2,095	0,333	2,999	-1,595	59,283	59,283
7	5	0,360	2,781	0,443	2,259	-0,001	0,000	59,283
7	6	0,275	3,636	0,579	1,728	0,005	0,001	59,284
7	7	0,126	7,967	1,268	0,789	1,130	20,768	80,052
7	8	0,099	10,095	1,607	0,622	-0,001	0,000	80,052
7	9	0,096	10,446	1,663	0,601	0,008	0,001	80,053
7	10	0,063	15,806	2,516	0,398	1,648	9,511	89,564
7	11	0,055	18,147	2,888	0,346	0,012	0,000	89,564
7	12	0,052	19,388	3,086	0,324	0,027	0,000	89,564
7	13	0,050	19,899	3,167	0,316	0,062	0,000	89,564
7	14	0,050	20,172	3,210	0,311	1,669	0,240	89,804
7	15	0,049	20,458	3,256	0,307	0,156	0,002	89,806
7	16	0,048	20,812	3,312	0,302	-0,012	0,000	89,806
7	17	0,047	21,089	3,356	0,298	0,011	0,000	89,806
7	18	0,047	21,236	3,380	0,296	-1,418	0,181	89,987
7	19	0,046	21,539	3,428	0,292	-0,111	0,001	89,988
7	20	0,046	21,598	3,437	0,291	-0,023	0,000	89,988
7	21	0,046	21,845	3,477	0,288	-1,177	0,001	89,990
7	22	0,044	22,848	3,636	0,275	0,007	0,000	89,990
7	23	0,043	23,493	3,739	0,267	0,962	0,427	90,416
7	24	0,042	24,095	3,835	0,261	0,167	0,009	90,425
7	25	0,041	24,171	3,847	0,260	0,115	0,005	90,430
7	26	0,038	25,976	4,134	0,242	-0,780	1,932	92,362
7	27	0,037	26,791	4,264	0,235	0,048	0,005	92,367
7	28	0,031	32,280	5,137	0,195	-0,001	0,000	92,367
7	29	0,030	33,040	5,258	0,190	0,006	0,000	92,367
7	30	0,029	34,136	5,433	0,184	-0,047	0,001	92,368
7	31	0,029	34,166	5,438	0,184	-0,010	0,000	92,368
7	32	0,029	34,506	5,492	0,182	-0,286	0,000	92,368
7	33	0,029	34,811	5,540	0,180	-0,204	0,002	92,370
7	34	0,028	35,190	5,601	0,179	0,395	0,006	92,376
7	35	0,028	35,250	5,610	0,178	-0,195	0,002	92,378
7	36	0,028	35,676	5,678	0,176	-0,013	0,000	92,378
7	37	0,027	36,568	5,820	0,172	0,045	0,001	92,379
7	38	0,027	36,782	5,854	0,171	0,028	0,000	92,380
7	39	0,027	37,018	5,892	0,170	-0,001	0,000	92,380
7	40	0,026	38,189	6,078	0,165	0,411	0,440	92,819
7	41	0,024	41,604	6,621	0,151	-0,041	0,000	92,819
7	42	0,024	41,873	6,664	0,150	-0,008	0,000	92,820
7	43	0,024	42,289	6,730	0,149	-0,060	0,000	92,820
7	44	0,024	42,445	6,755	0,148	-0,007	0,000	92,820
7	45	0,023	42,912	6,830	0,146	-0,009	0,000	92,820
7	46	0,023	43,500	6,923	0,144	0,012	0,000	92,820
7	47	0,022	44,658	7,108	0,141	0,027	0,000	92,820
7	48	0,022	44,809	7,132	0,140	0,012	0,000	92,820
7	49	0,022	46,120	7,340	0,136	-0,077	0,001	92,821
7	50	0,022	46,229	7,358	0,136	-0,022	0,000	92,821
7	51	0,021	48,501	7,719	0,130	-0,004	0,000	92,821

Таблица 3

Частоты собственных колебаний для нагружения № 9 [16]

№ загружения	№ формы	Собст. значения	Частоты		Период, с	Коэф. распред.	Мод. масса, %	Сумма мод. масс, %
			Круг. частота, рад/с	Частота, Гц				
9	1	3,831	0,261	0,042	24,068	0,199	0,000	0,000
9	2	2,278	0,439	0,070	14,311	0,362	0,000	0,000
9	3	1,240	0,807	0,128	7,791	–0,273	0,000	0,000
9	4	0,477	2,095	0,333	2,999	–1,382	44,494	44,495
9	5	0,360	2,781	0,443	2,259	0,823	15,434	59,928
9	6	0,275	3,636	0,579	1,728	0,009	0,002	59,931
9	7	0,126	7,967	1,268	0,789	0,979	15,615	75,545
9	8	0,099	10,095	1,607	0,622	0,627	6,060	81,606
9	9	0,096	10,446	1,663	0,601	–0,012	0,003	81,609
9	10	0,063	15,806	2,516	0,398	1,426	7,127	88,736
9	11	0,055	18,147	2,888	0,346	0,060	0,003	88,738
9	12	0,052	19,388	3,086	0,324	2,381	0,730	89,468
9	13	0,050	19,899	3,167	0,316	–0,159	0,002	89,471
9	14	0,050	20,172	3,210	0,311	1,366	0,160	89,631
9	15	0,049	20,458	3,256	0,307	0,095	0,001	89,632
9	16	0,048	20,812	3,312	0,302	–2,000	0,643	90,275
9	17	0,047	21,089	3,356	0,298	–0,178	0,003	90,278
9	18	0,047	21,236	3,380	0,296	–1,273	0,146	90,424
9	19	0,046	21,539	3,428	0,292	0,197	0,003	90,426
9	20	0,046	21,598	3,437	0,291	–0,003	0,000	90,426
9	21	0,046	21,845	3,477	0,288	–0,686	0,000	90,427
9	22	0,044	22,848	3,636	0,275	0,003	0,000	90,427
9	23	0,043	23,493	3,739	0,267	0,832	0,320	90,747
9	24	0,042	24,095	3,835	0,261	0,253	0,021	90,768
9	25	0,041	24,171	3,847	0,260	–0,149	0,008	90,775
9	26	0,038	25,976	4,134	0,242	–0,676	1,448	92,224
9	27	0,037	26,791	4,264	0,235	0,050	0,006	92,230
9	28	0,031	32,280	5,137	0,195	–0,247	0,215	92,444
9	29	0,030	33,040	5,258	0,190	0,016	0,001	92,445
9	30	0,029	34,136	5,433	0,184	–0,056	0,001	92,446
9	31	0,029	34,166	5,438	0,184	–0,031	0,000	92,446
9	32	0,029	34,506	5,492	0,182	–0,843	0,001	92,448
9	33	0,029	34,811	5,540	0,180	–0,289	0,004	92,452
9	34	0,028	35,190	5,601	0,179	0,383	0,005	92,457
9	35	0,028	35,250	5,610	0,178	–0,012	0,000	92,457
9	36	0,028	35,676	5,678	0,176	0,019	0,000	92,458
9	37	0,027	36,568	5,820	0,172	0,008	0,000	92,458
9	38	0,027	36,782	5,854	0,171	0,067	0,002	92,460
9	39	0,027	37,018	5,892	0,170	0,009	0,000	92,460
9	40	0,026	38,189	6,078	0,165	0,355	0,329	92,789
9	41	0,024	41,604	6,621	0,151	–0,038	0,000	92,789
9	42	0,024	41,873	6,664	0,150	–0,006	0,000	92,789
9	43	0,024	42,289	6,730	0,149	–0,079	0,000	92,789
9	44	0,024	42,445	6,755	0,148	–0,048	0,000	92,789
9	45	0,023	42,912	6,830	0,146	–0,034	0,000	92,790
9	46	0,023	43,500	6,923	0,144	0,067	0,001	92,791
9	47	0,022	44,658	7,108	0,141	–0,069	0,002	92,793
9	48	0,022	44,809	7,132	0,140	0,283	0,031	92,824
9	49	0,022	46,120	7,340	0,136	–0,054	0,000	92,825
9	50	0,022	46,229	7,358	0,136	–0,035	0,000	92,825
9	51	0,021	43,501	7,719	0,130	–0,017	0,000	92,825

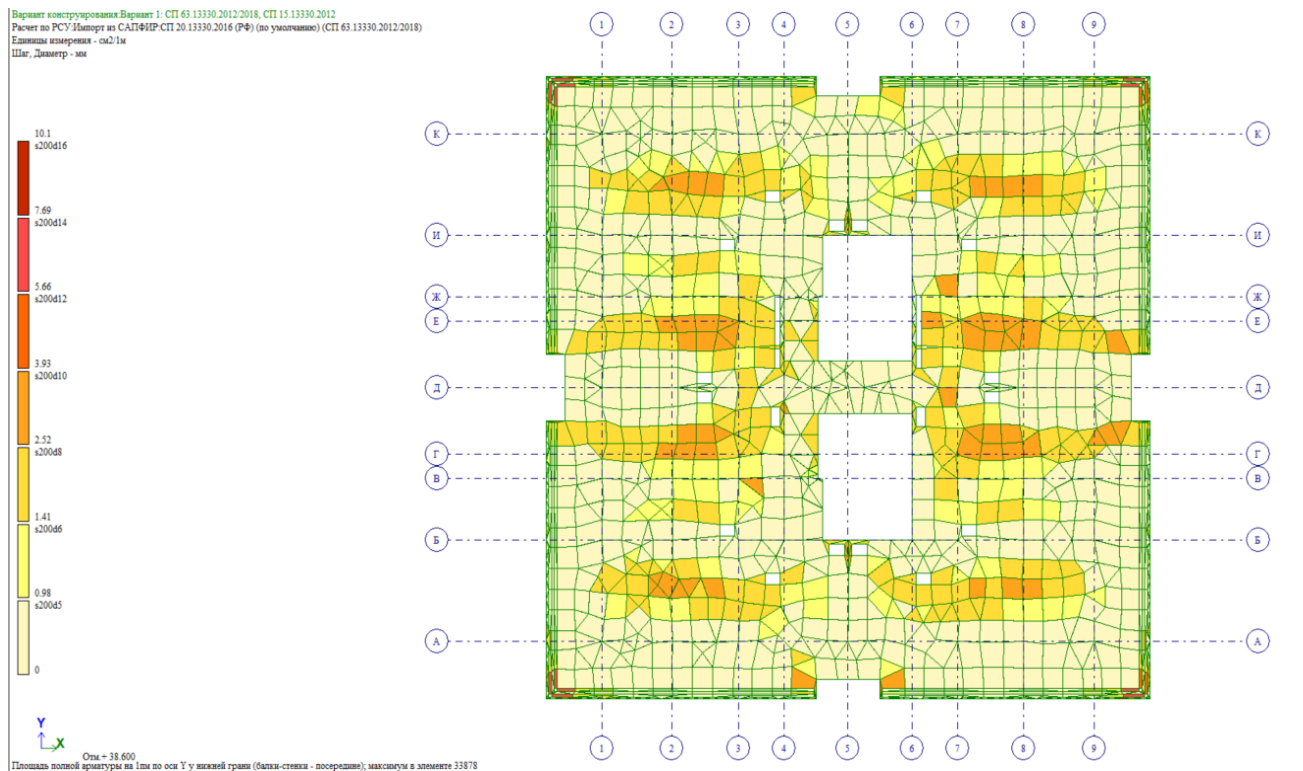


Рис. 6. Армирование плиты перекрытия типового этажа в нижней зоне по оси Y [16]

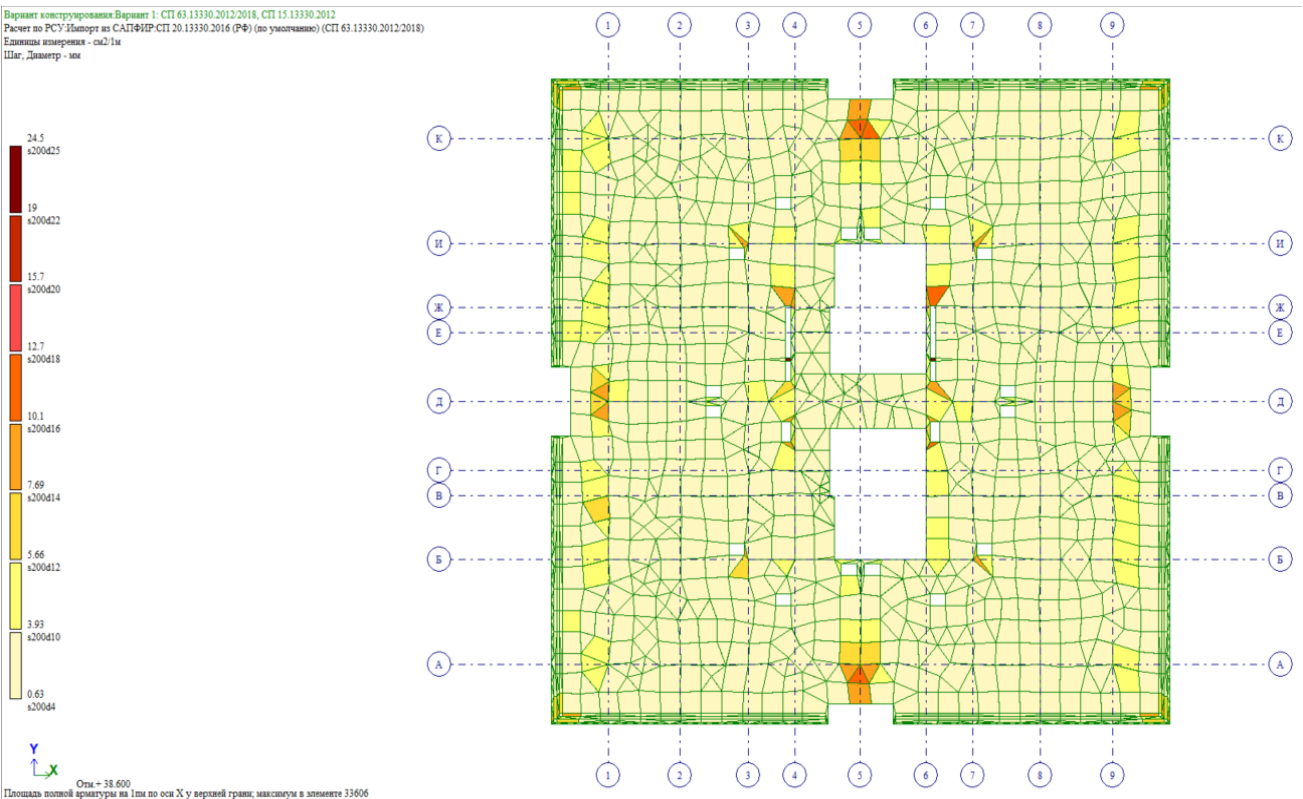


Рис. 7. Армирование плиты перекрытия типового этажа в верхней зоне по оси X [16]

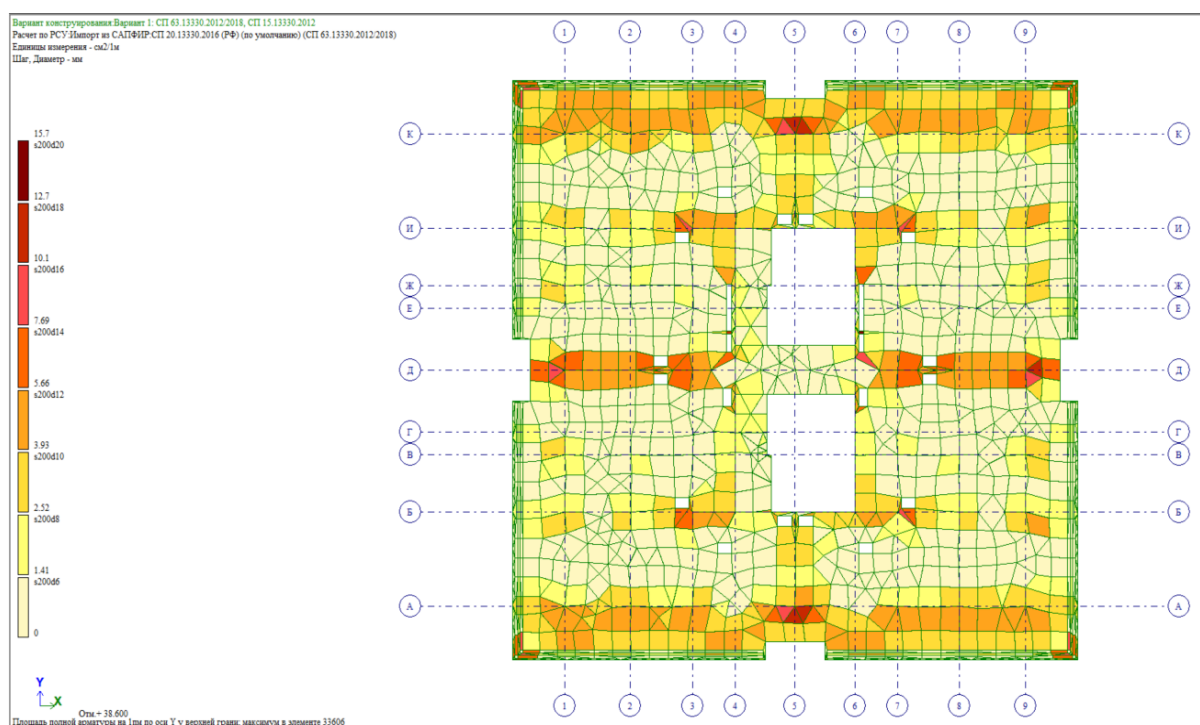


Рис. 8. Армирование плиты перекрытия типового этажа в верхней зоне по оси Y [16]

Обсуждение и заключение. На основании проведенных расчетов здания можно сделать следующее заключение:

1. Учет нормативных требований при расчете конструкций жизнесберегающих зданий на сейсмические воздействия позволил получить существенно меньшие расчетные усилия в элементах каркаса здания без увеличения амплитуды перемещений верха здания (в других случаях учет пластичности сможет приводить как к снижению, так и к увеличению амплитуды перемещений).
2. Расчет на основное сочетание нагрузок показал достаточную жесткость конструкций здания.
3. Расчет на действие особого сочетания нагрузок, включая сейсмическую (9 баллов), показал, что выбранная конструктивная схема обеспечивает достаточную жесткость, прочность и устойчивость здания и его элементов.

Список литературы / References

1. Айзенберг Я.М., Деглина М.М., Мажиев Х.Н. и др. *Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты*. М.: Наука; 1983. 142 с.
Ayzenberg YaM, Deglina MM, Mazhiev KhN, et al. *Seismic Isolation and Adaptive Seismic Protection Systems*. Moscow: Nauka Publ.; 1983. 142 p. (In Russ.)
2. Симбиркин В.Н., Панасенко Ю.В. Учет указаний СП 14.13330.2018 при реализации расчета сооружений на сейсмические воздействия в программном комплексе STARK ES. *Вестник НИЦ Строительство*. 2019;2(21):103–113. URL: <https://vestnik.cstroy.ru/jour/article/view/26> (дата обращения: 02.09.2024).
Simbirkin VN, Panasenکو YuV. Implementation of Seismic Structural Analysis in STARK ES Software According to the Building Code SP 14.13330.2018. *Bulletin of the Scientific Research Center of Construction*. 2019;(2(21)):103–113. (In Russ.) URL: <https://vestnik.cstroy.ru/jour/article/view/26> (accessed: 02.09.2024).
3. Themelis S. *Pushover Analysis for Seismic Assessment and Design of Structures*. Heriot-Watt University, School of the Built Environment; 2008. 287 p. URL: https://www.ros.hw.ac.uk/bitstream/handle/10399/2170/ThemelisS_1008_sbe.pdf?sequence=1 (accessed: 02.09.2024).
4. Wilson EL. *Static & Dynamic Analysis of Structures: a Physical Approach with Emphasis on Earthquake Engineering*. Computers and Structures Publ.; 2004. 394 p.
5. 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, Zubritskiy 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 Adyghe Wind Power Plant. *Construction Materials and Products*. 2020;3(1):14–20. (In Russ.)
6. 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: 02.09.2024).

Mailyan DR, Muradyan 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: 02.09.2024).

7. Муселемов Х.М., Маилин 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 02.09.2024).

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. (In Russ.) URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8786> (accessed: 02.09.2024).

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

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

9. Маилин Л.Р., Стельмах С.А., Щербань Е.М. Расчет и проектирование строительных конструкций с учетом вариативности 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, Stel'makh SA, Shcherban' EM. Calculation and Design of Building Structures Considering the Variation of the Structure, Sections and Differentiation of the Construction Characteristics of Materials. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021;2(62):27–48. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.62.2.002>

10. Маилин 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*. 2020;(4(47)):79–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.47.4.013>

11. Маилин 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>

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

12. Абаканов Т., Кусаинов А.А., Теплых А.В., Бондарев Д.Е. *Сейсмология и сейсмостойкость сооружений*. М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательство АСБ; 2024. 624 с. URL: <https://iasv.ru/sejsmologiya-i-sejsmostojkost-sooruzhenij.html> (дата обращения: 02.09.2024).

Abakanov T, Kusainov AA, Teplykh AV, Bondarev DE. *Seismology and Seismic Stability of Structures*. Moscow: SKAD SOFT Publ., ASV Publ.; 2024. 624 p. (In Russ.) URL: <https://iasv.ru/sejsmologiya-i-sejsmostojkost-sooruzhenij.html> (accessed: 02.09.2024).

13. 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: Complex Institute of the Russian Academy of Sciences Named after Kh. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences; 2014. 652 p. (In Russ.)

14. Симбиркин В.Н., Панасенко Ю.В. Упрощенный нелинейный динамический расчет сооружений при сейсмических воздействиях. *Строительная механика и расчет сооружений*. 2017;(5(274)):5:32–36. URL: <https://elibrary.ru/zigpcd> (дата обращения: 02.09.2024).

Simbirkin VN, Panasenکو YuV. Simplified Nonlinear Dynamic Calculation of Structures under Seismic Impacts. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2017;(5(274)):32–36. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/zigpcd> (accessed: 02.09.2024).

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 чтений «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: 02.09.2024).

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; 2021. P. 17–31. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47478153> (accessed: 02.09.2024).

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, Чеченская Республика, 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, Чеченская Республика, 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, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. В. Алиева, 21а), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Юрий Вячеславович Панасенко, руководитель группы экспертных расчетов лаборатории автоматизации исследований и проектирования сооружений Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» (109428, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6), [ORCID](#), panyuriy@eurosoft.ru

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

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

Мажиев Адам Хасанович, научный сотрудник отдела физико-математических и технических наук Центра проблем материаловедения Академии наук Чеченской Республики (364043, Российская Федерация, Чеченская Республика, 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;

Ю.В. Панасенко: разработка подхода к вопросу учета работы неупруго-деформированных сейсмоизолирующих конструкций при динамическом расчете, решение системы уравнений динамического равновесия, линейный и упругопластический расчет каркаса здания;

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

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

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 (100, Kh.A. Isaev Ave., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation); Senior Research Associate 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

Yuri V. Panasenko, Head of the Expert Calculation Group of the Laboratory of Automation of Research and Design of Structures, Central Research Institute of Building Structures Named after V.A. Kucherenko, JSC Research Center of Construction (6, 2-ya Institutskaya Str., Moscow, 109428, Russian Federation), [ORCID](#), panyuriy@eurosoft.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

Aslan Kh. Mazhiev, Research Associate of the Physics, Mathematics and Engineering Sciences Department of the Material Engineering Research 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, Research Associate of the Physics, Mathematics and Engineering Sciences Department of the Material Engineering Research 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.

YuV Panasenko: developing approaches to estimating behaviour of the inelastically deformed seismic isolation structures in dynamic calculations, solving the system of equations of the dynamic equilibrium, linear and elastic-plastic calculation of the building frame.

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

AKh Mazhiev: participation in the development of the structural system of a life-saving building, conducting the calculations, implementing the main stages of the research, processing and analysing obtained results, formulating the conclusions.

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

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 20.10.2024

Поступила после рецензирования / Revised 15.11.2024

Принята к публикации / Accepted 29.11.2024