

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 699.841

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-48-67>

Оригинальное эмпирическое исследование

Обеспечение прочности, жёсткости и устойчивости несущих конструкций многоэтажного здания сложной формы при сейсмических воздействиях

Х.Н. Мажиев¹ , К.Х. Мажиев¹ , Ю.В. Панасенко² , А.Х. Мажиева¹ ,
А.Х. Мажиев^{1,3} , А.Х. Мажиев³

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

² Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко АО «НИИЦ «Строительство», г. Москва, Российская Федерация

³ Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный, Российская Федерация

✉ seismofund@mail.ru



EDN: ARCPKU

Аннотация

Введение. С целью обеспечения сейсмостойкости и снижения сейсмических нагрузок выполнен пространственный расчет несущих конструкций многоэтажного здания сложной формы. В настоящей статье анализируются конструктивная система и расчетно-динамическая модель с учетом основных и особых сочетаний нагрузок.

Материалы и методы. Расчеты проводились аналитическим методом и методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе STARK ES.

Результаты исследования. Получены результаты динамического расчета при основных и особых сочетаниях нагрузок и соответствующих сочетаниях внутренних усилий в рассчитываемых конструкциях многоэтажного здания сложной формы. Всего было использовано 53 нагружения.

Обсуждение и заключение. Результаты расчета многоэтажного здания сложной формы показали, что обеспечивается требуемая прочность, жёсткость и устойчивость несущих конструкций при рассматриваемой расчетной ситуации.

Ключевые слова: здание, сейсмическое воздействие, расчет, нагрузка, конструктивная система, сейсмостойкость, расчетно-динамическая модель, прочность, жёсткость, устойчивость

Для цитирования. Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Панасенко Ю.В., Мажиева А.Х., Мажиев А.Х., Мажиев А.Х. Обеспечение прочности, жёсткости и устойчивости несущих конструкций многоэтажного здания сложной формы при сейсмических воздействиях. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2026;5(1):48–67. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-48-67>

Original Empirical Research

Ensuring the Strength, Rigidity and Stability of Load-Bearing Structures of a Multi-Story Building of Complex Shape under Seismic Impacts

Khasan N. Mazhiev¹ , Kazbek Kh. Mazhiev¹ , Yuri V. Panasenko² , Amina Kh. Mazhieva¹ ,
Aslan Kh. Mazhiev^{1,3} , Adam Kh. Mazhiev³

¹ Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russian Federation

² Central Research Institute of Building Structures named after V.A. Kucherenko JSC "Research Center of Construction", Moscow, Russian Federation

³ Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russian Federation

✉ seismofund@mail.ru

Abstract

Introduction. In order to ensure earthquake resistance and to reduce seismic loads, a spatial calculation of the load-bearing structures of a multi-storey building of complex shape was performed. This article analyzes the design system, computational and dynamic model taking the main and special combinations of loads into account.

Materials and Methods. The calculations were performed by means of the analytical method and the finite element method (FEM) in the STARK ES software package.

Research Results. The results of dynamic calculation are obtained for basic and special combinations of loads and corresponding combinations of internal forces in the calculated structures of a multi-storey building of complex shape. A total of 53 loadings were used.

Discussion and Conclusion. The results of the calculation of a multi-storey building of complex shape have shown that the required strength, rigidity and stability of load-bearing structures are ensured in the design situation in question.

Keywords: building, seismic impact, calculation, load, structural system, seismic resistance, calculation dynamic model, strength, rigidity, stability

For citation. Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Panasenkov YuV, Mazhieva AH, Mazhiev AH, Mazhiev AH Ensuring the Strength, Rigidity and Stability of Load-Bearing Structures of a Multi-Storey Building of Complex Shape under Seismic Influences. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2026;5(1):48–67. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-48-67>

Введение. Проектирование высотных зданий сопряжено со сложностью оценки напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций во время сейсмических воздействий.

С целью анализа надежности, прочности, жёсткости и устойчивости несущих строительных конструкций при основных и особых сочетаниях расчетных нагрузок был выполнен пространственный расчет многоэтажного здания сложной формы. Здание возводится на площадке, на которой возможны интенсивные сейсмические воздействия [1–6, 15].

Дана научно-техническая оценка соответствия проектных решений по обеспечению безопасности зданий требованиям нормативных документов Республики Азербайджан, на территории которой возводится здание.

Материалы и методы. Исследуемая конструктивная система представляет собой 29-этажное здание сложной формы высотой 150,70 м с 4-этажной конструкцией в стилобатной части и двумя подземными уровнями. Многоэтажное здание расположено на осушенных землях Каспийского моря на участке строительства размерами 160×80 м и связано с береговой линией через мост и туннель.

Здание запроектировано по схеме рамно-связевого каркаса. Основные несущие конструкции (колонны и балки перекрытий, ядра жесткости, плиты перекрытий и конструкции подвала) запроектированы из монолитного железобетона; стальные колонны и балки — для верха здания.

Система структурной устойчивости состоит из ядер жесткости, проходящих от фундаментной плиты до верхней части здания. В ядрах жесткости расположены восемь лифтов. Ядра также обеспечивают доступ к лестнице. Ядра состоят из стен, которые передают вертикальные и горизонтальные усилия на фундамент [1–6, 15]. Помимо стен, перекрытия поддерживаются вертикальными и наклонными колоннами. Основные ядра имеют размеры в плане 17,40×14,40 м образуют прямоугольную форму. Толщина наружных стен 800 мм, внутренних стен — 300 мм.

Фундамент здания представляет собой сплошную монолитную плиту, опирающуюся на свайное основание. Толщина плиты 2650 мм, 2900 мм под башнями и 750 мм, 1000 мм и 2350 мм для остальной части здания. Сваи диаметром 1,5 м под фундаментом башен и 2,0 м — под фундаментом стилобата/подвала.

Крыша стилобата состоит из стальной конструкции и ее облицовки — стеклянного фасада.

Два железобетонных ядра жесткости с каждой стороны здания на уровне 27 этажа соединены стальной каркасной конструкцией — мега-фермой длиной 90 м, образующей форму полумесяца. В месте соединения высота мега-фермы составляет 7,6 м, в центре — 20,45 м. Крыша над верхним уровнем представляет округлую форму. Соединительные балки в основном представляют собой стальные профили, заключенные в бетон. Соединение фермы с железобетонными ядрами обеспечивается стальными пластинами. Эти железобетонные ядра жесткости являются основными элементами, обеспечивающими устойчивость, прочность и жесткость здания. Элементы фермы были разработаны так, чтобы воспринимать вертикальные и горизонтальные нагрузки. Следует отметить, что главные стальные балки мега-фермы будут подвергаться значительным осевым усилиям из-за общей деформации здания и из-за горизонтальных и вертикальных нагрузок, действующих на здание [7–12].

Предполагается, что часть мега-фермы будет собрана на плите перекрытия стилобата и затем установлена в проектное положение. Схема подъема предполагает, что части мега-фермы и стены железобетонных ядер жесткости будут построены в первую очередь, образуя жестко связанный каркас. Эта консольная рама будет поддерживать подъемную платформу и гидравлические домкраты с целью монтажа средней секции фермы.

Предлагаемая последовательность строительства разделена на следующие этапы:

- Строительство подземной части и стилобата. Первый этап включает в себя устройство конструкций основания. Затем монтируются стены ядер жесткости, после — колонны подвала. После завершения возведения стилобата и крыши подвала предполагается монтаж основных конструкций стальной крыши.

- Возведение башен. Основные стены, колонны и плиты до уровня 27 этажа.
- Монтаж и подъем фермы. Предполагается, что часть стальной фермы будет собрана на уровне земли и затем установлена в проектное положение.

Верхняя часть здания. После завершения железобетонных ядер жесткости и элементов вокруг мега-фермы будет поднята в проектное положение и соединена с ядрами жесткости на уровне 27 этажа. После между уровнями 21–26 этажей будут установлены домкраты. Небольшие стальные части на уровне 18, 19 и 20 этажей будут возведены с помощью башенного крана. Остальные этажи фермы (28 и 29 этажи) могут быть возведены затем с помощью башенного крана.

Для оценки надежности принятых в проекте конструктивных решений был выполнен расчет пространственной модели здания на проектные нагрузки и воздействия. Расчет выполнен с использованием программного комплекса STARK ES [12–16].

В качестве расчетной модели использована пространственная оболочечно-стержневая модель, в которой несущие колонны, ригели и элементы ферм представлены стержневыми элементами общего вида, оболочка покрытия, плиты перекрытий и стены — элементами плоской оболочки (рис. 1).

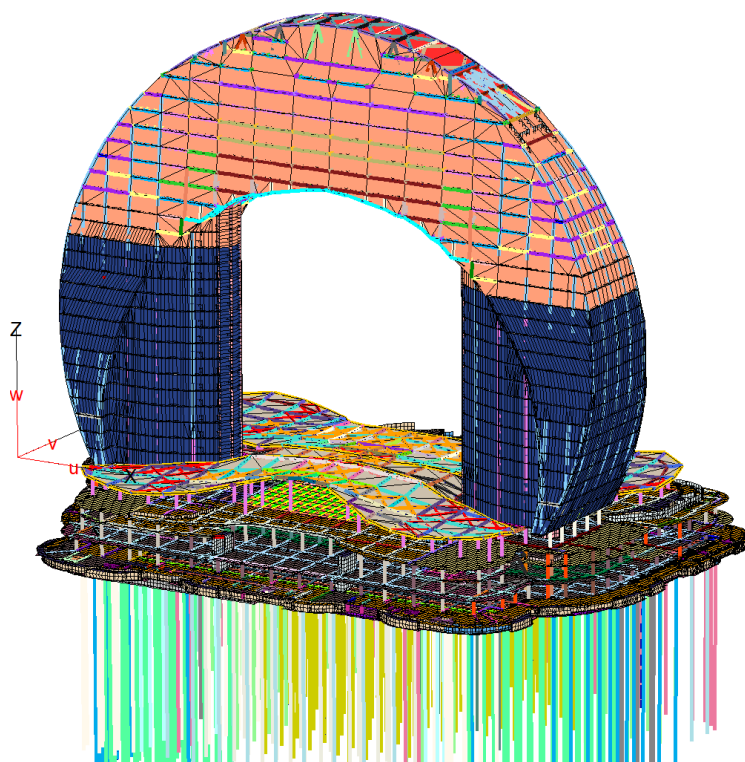


Рис. 1. Конечно-элементная модель многоэтажного здания сложной формы [15]

Уровень ответственности здания в соответствии с ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету» — повышенный. Значение коэффициента надёжности по ответственности в соответствии с ГОСТ 27751-88:

- при расчете усилий и напряжений (по первой группе предельных состояний) в строительных конструкциях, основании и фундаментах здания принято равным $\gamma_n = 1,1$;
- при определении перемещений (по второй группе предельных состояний) конструкций и деформаций основания принято равным $\gamma_n = 1,0$;
- при расчете на аварийные воздействия («прогрессирующее» разрушение) и сейсмические воздействия — равным $\gamma_n = 1,0$.

Равномерно распределенные временные нагрузки на плиты пола приняты в соответствии с назначением помещений. Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f и коэффициенты сочетаний нагрузок Ψ_i приняты в соответствии с требованиями AzDTN 2.1-1.

При расчете здания учтены следующие нагрузки и воздействия:

- вертикальные постоянные нагрузки от собственного веса несущих и ограждающих конструкций здания;
- длительные нагрузки от инженерного оборудования;
- температурные нагрузки;
- снеговая нагрузка;

- средняя и пульсационные составляющие ветровой нагрузки (тип местности А);
- сейсмическое воздействие для 8-балльного района.

Снеговой район — I. Расчетное значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности составляет $0,8 \text{ кПа}$. В расчетной модели приложение снеговой нагрузки выполнено равномерной нагрузкой по всей поверхности покрытия здания. Также учтены снеговые мешки.

Ветровой район — VI. Тип местности А. Нормативное значение ветрового давления $\omega_0 = 0,73 \text{ кН/м}^2$.

Сейсмичность площадки строительства принята равной 8 баллов (повторяемость 1000 лет). Класс грунта по сейсмическим свойствам — III. На рис. 2–3 приведены коэффициент динамичности и значения параметров для расчета на сейсмическое воздействие.

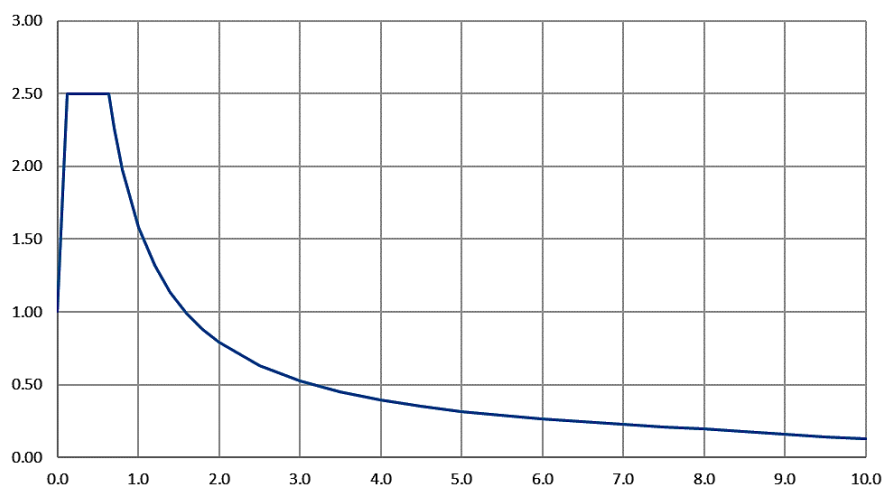


Рис. 2. Коэффициент динамичности $\beta(T)$

Характеристики сейсмического расчёта

Спектры

Количество спектров: 1
 Номер текущего спектра: 1
 Имя: La Vaku
☒ Задание по точкам
☐ Аналитическое задание
 Количество интервалов: 27

Периоды и ускорения

	Период [с]	Ускор. [м/с ²]
1	0	1
2	0.13	2.5
3	0.63	2.5
4	0.7	2.2619
5	0.8	1.07017

Центр вращения

X: 0 Y: 0 Z: 0 [Рассчитать]

Точности сейсмических нагрузок ...

Файлы характеристик

☐ Загрузка из проекта
☒ Загрузка стандартов [Чтение] [Запись]

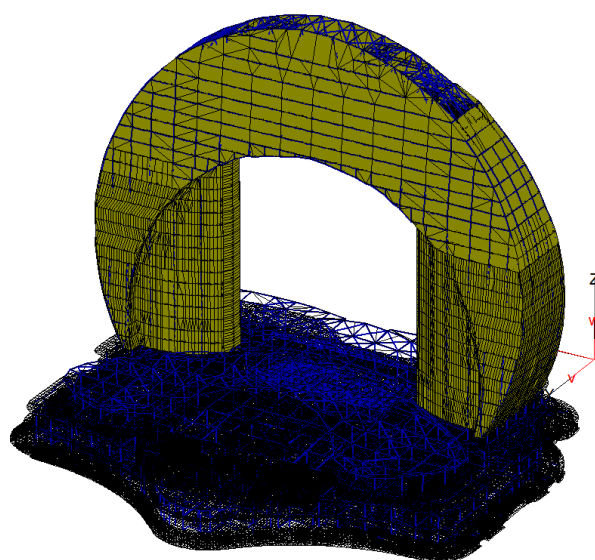
Воздействия

Количество воздействий: 1
 Номер тек. воздействия: 1
 Амплитуда: 1.35
 Количество исследуемых собственных значений: 23
 Номер спектра: 1
☒ Задать формы: 1-10,12,21
 Направление сейсм. воздействия:
☐ Задать углами
☒ Задать направляющими косинусами
 Направляющие косинусы воздействия: 1 0 0

График **Расчёт** **Отменить**

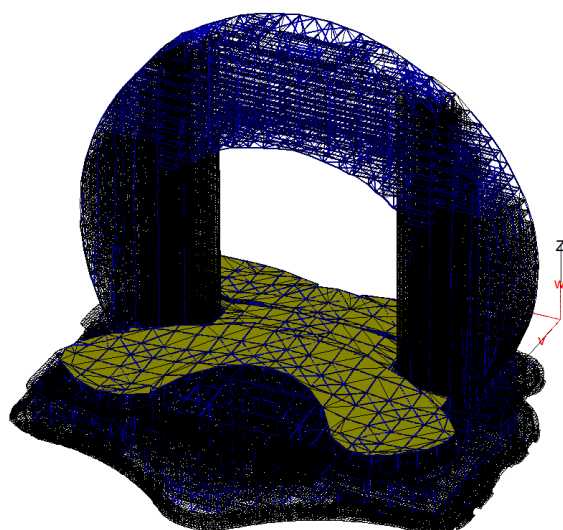
Рис. 3. Характеристики сейсмического расчёта

Нагрузки на расчетную схему были приняты в соответствии с AzDTN 2.1-1 и согласно исходным данным. Всего в расчетной модели многоэтажного здания сложной формы было использовано 53 загрузки для учета всех нагрузок. Схемы приложения некоторых нагрузок показаны на рис. 4–7.



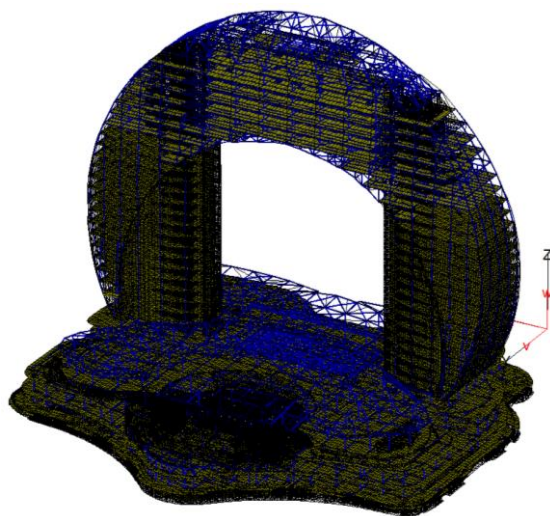
-1.300

Рис. 4. Схема приложения нагрузки от веса конструкций фасадов, kN/m^2 [15]



-0.650

Рис. 5. Схема приложения нагрузки от веса конструкций крыши стилобата, kN/m^2 [15]



-1.950

Рис. 6. Схема приложения нагрузки от веса перегородок, kN/m^2 [15]

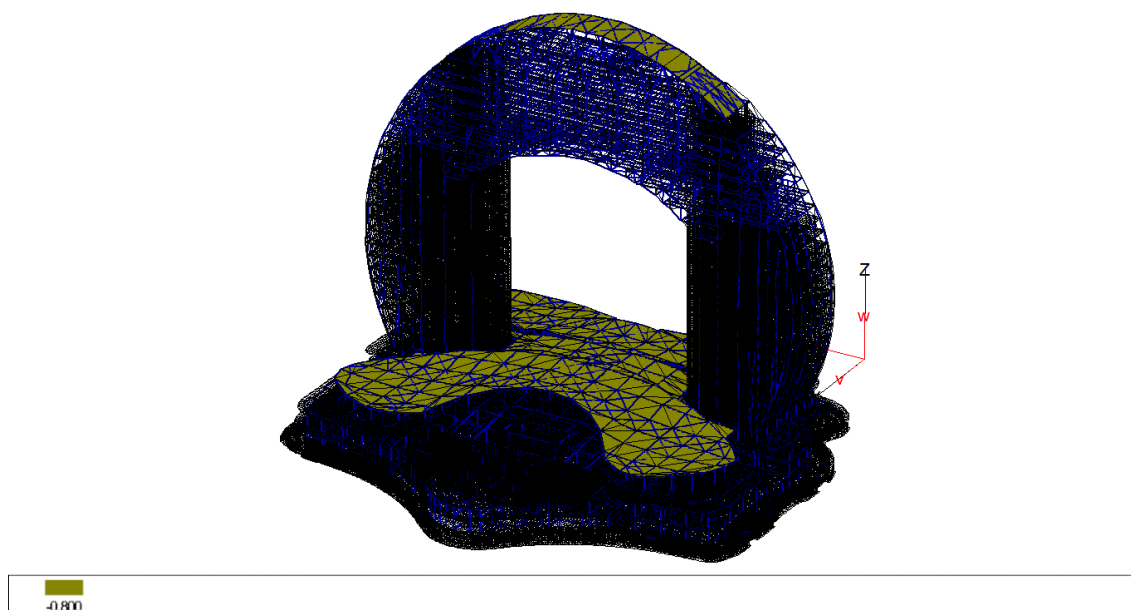


Рис. 7. Схема приложения снеговой нагрузки, кН/м^2 [15]

Результаты исследования. Осадка фундамента оценивалась для основных сочетаний полных значений нормативных нагрузок. Картина осадок фундамента представлена на рис. 8. Максимальная осадка составила 50,2 мм.

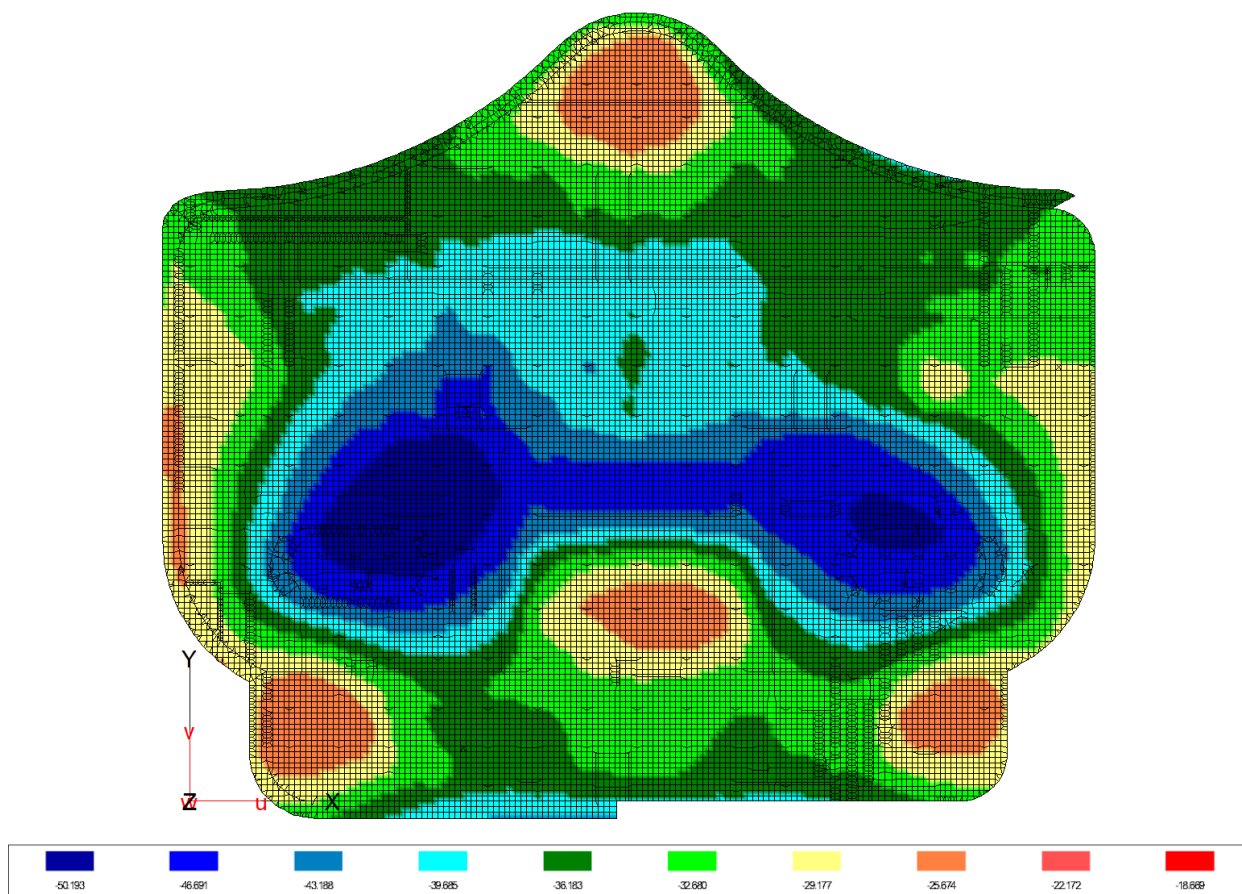


Рис. 8. Картина осадок фундамента, U_z [15]

Максимальное значение относительной разницы осадок от основных сочетаний нагрузок составляет $\Delta s/L = 0,00016$, что не превышает предельного значения, равного 0,005.

Горизонтальные отклонения верха здания оценивались для основных сочетаний полных значений нормативных нагрузок (рис. 9).

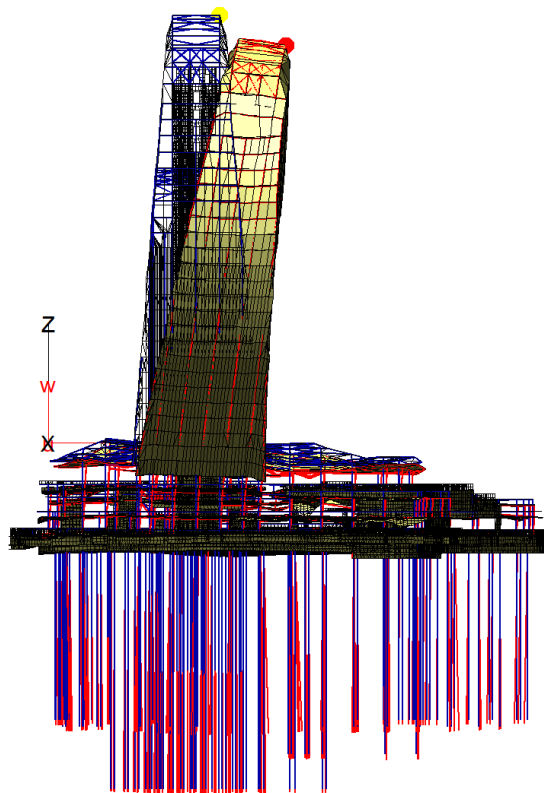


Рис. 9. Горизонтальные перемещения верха здания [15]

Максимальные горизонтальные перемещения верха здания от нормативных величин нагрузок составляют 163,4 мм, что не превышает предельно допустимое значение, равное 300 мм.

Результаты расчета первой формы потери устойчивости приведены на рис. 10.

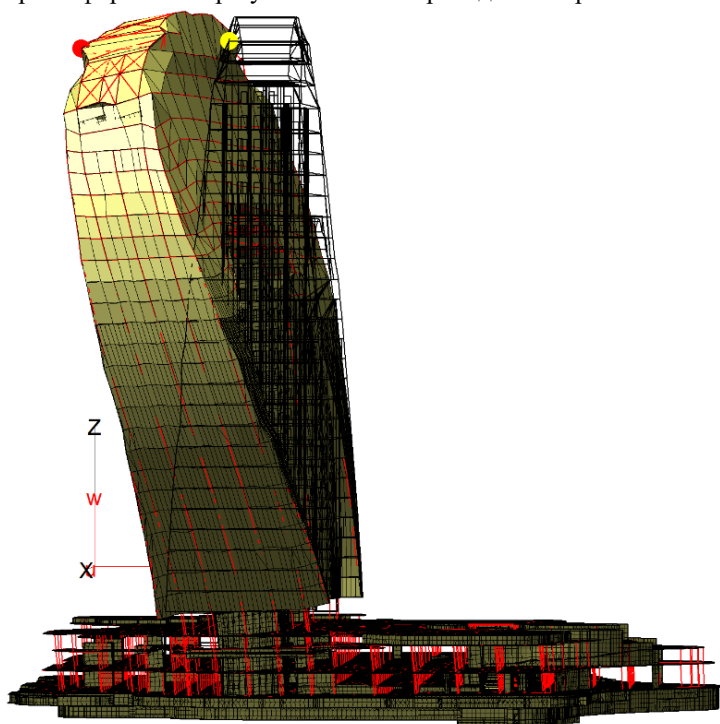


Рис. 10. Форма 1 потери устойчивости [15]

Наименьший критический параметр нагрузки (запас устойчивости) с учетом коэффициента надежности по ответственности равен 10,4. Общая устойчивость несущих конструкций здания обеспечена.

На рис. 11–13 показаны первые формы собственных колебаний многоэтажного здания сложной формы.

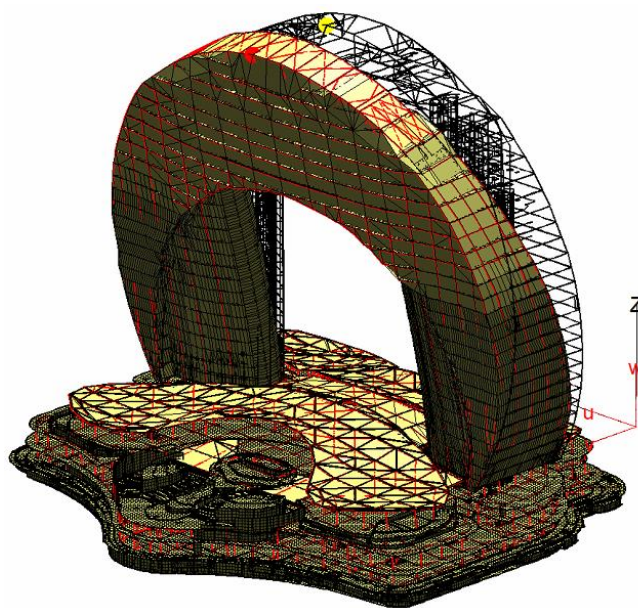


Рис. 11. Первая форма собственных колебаний, $f_1 = 0,340$ Гц [15]

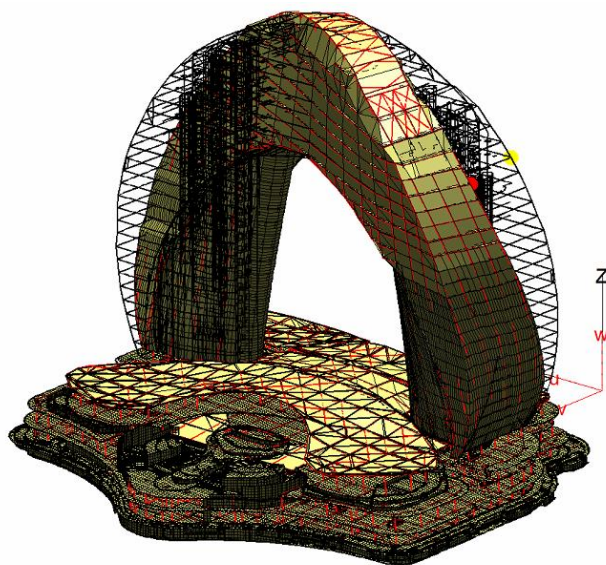


Рис. 12. Вторая форма собственных колебаний, $f_2 = 0,459$ Гц [15]

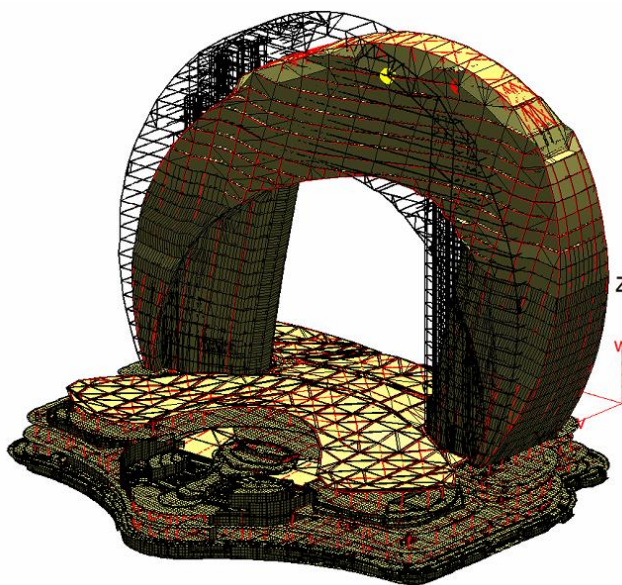


Рис. 13. Третья форма собственных колебаний, $f_3 = 0,484$ Гц [15]

Вертикальные прогибы плит перекрытий западной и восточной башни многоэтажного здания сложной формы на разных отметках показаны на рис. 14–17.

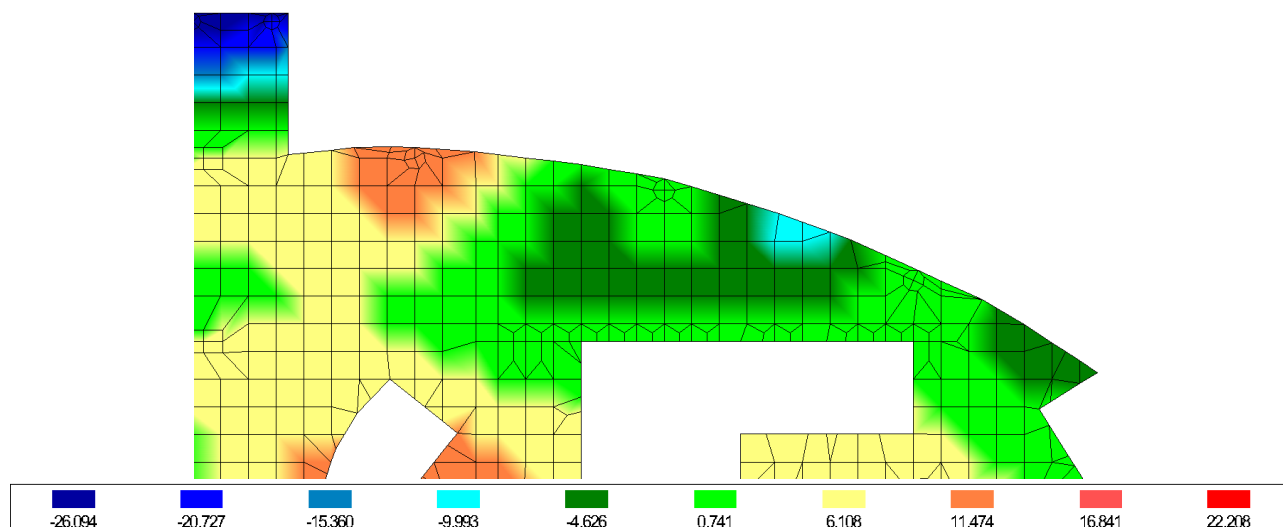


Рис. 14. Максимальные относительные вертикальные перемещения западной башни на отметке -6,7 м [15]

Максимальный вертикальный прогиб плиты перекрытия от постоянных и длительных нагрузок составил 11,47 мм при вылете консоли 4,9 м, что не превышает предельного значения, равного $l/200 = 49$ мм.

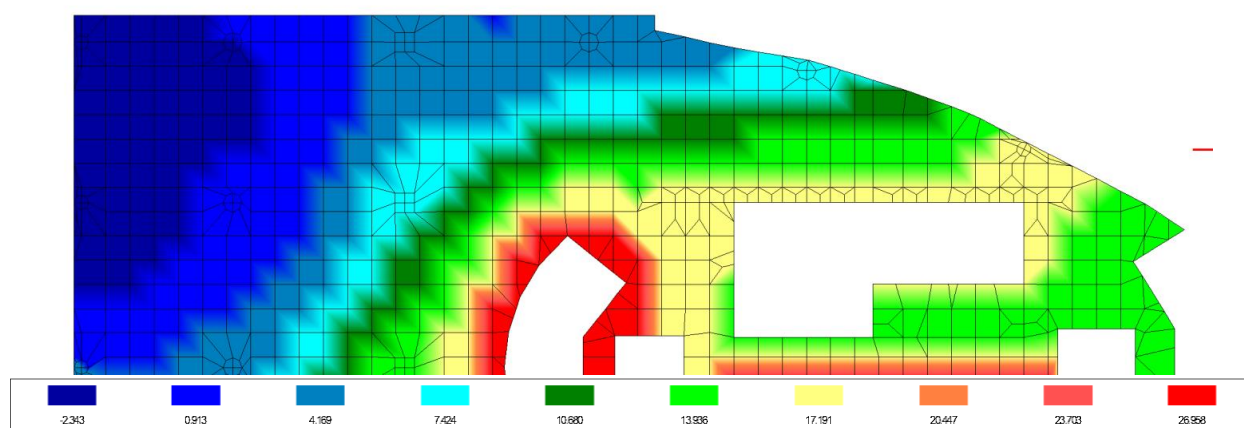


Рис. 15. Максимальные относительные вертикальные перемещения западной башни на отметке +42,8 м [15]

Максимальный вертикальный прогиб плиты перекрытия от постоянных и длительных нагрузок составил 1,30 мм при пролете 6,6 м, что не превышает предельное значение, равное $l/200 = 33$ мм.

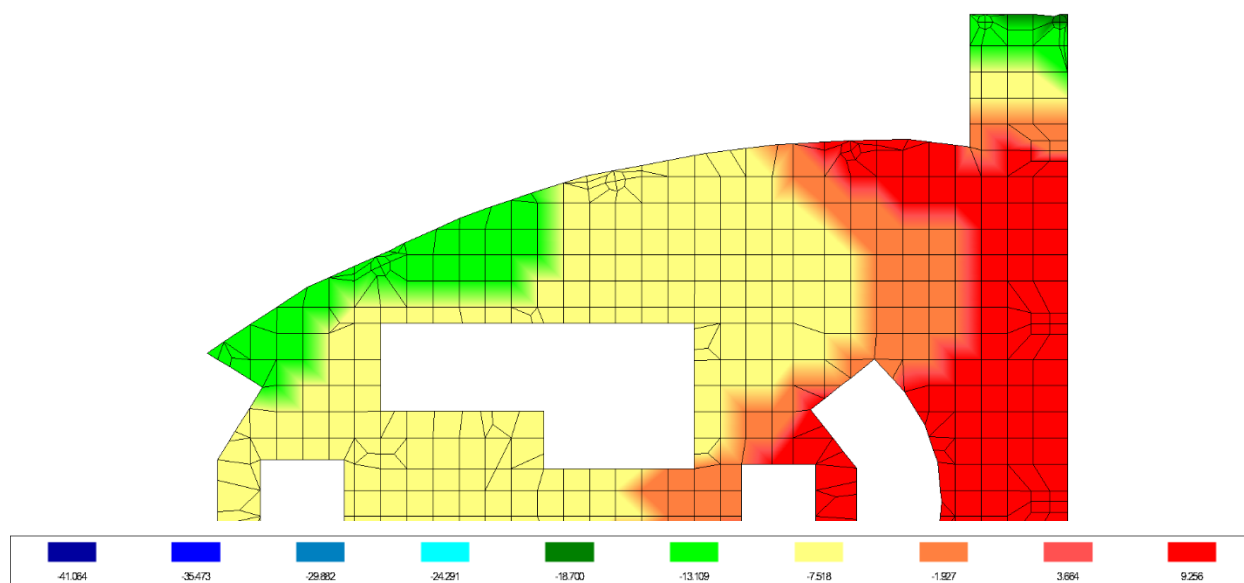


Рис. 16. Максимальные относительные вертикальные перемещения восточной башни на отметке -6,7 м [15]

Максимальный вертикальный прогиб плиты перекрытия от постоянных и длительных нагрузок составил 13,8 мм при вылете консоли 4,9 м, что не превышает предельного значения, равного $l/200 = 49$ мм.

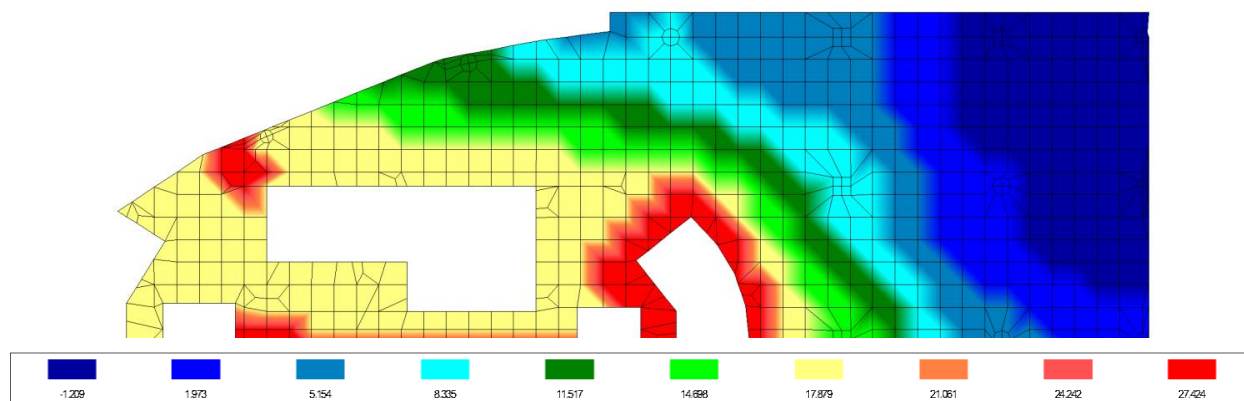


Рис. 17. Максимальные относительные вертикальные перемещения восточной башни на отметке +42,8 м [15]

Максимальный вертикальный прогиб плиты перекрытия от постоянных и длительных нагрузок составил 1,21 мм при пролете 6,6 м, что не превышает предельное значение, равное $l/200 = 33$ мм.

Расчет количества арматуры выполнен при основных и особых, включая сейсмические воздействия, сочетаниях нагрузок с учетом условий прочности и трещиностойкости. Характеристики материалов железобетонных конструкций приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики материалов конструкций

Конструкция	Класс бетона	Класс продольной арматуры	Класс поперечной арматуры	Толщина защитного слоя			
				SO, мм	SU, мм	RO, мм	RU, мм
Фундамент, 750 мм	B45	A500C	A500C	60	90	160	200
Плиты перекрытий	B45	A500C	A500C	35	45	35	45
Стены	B70	A500C	A500C	35	45	35	45
Колонны	B70	A500C	A500C	50	50	50	50

На рис. 18–29 приведены результаты подбора необходимого армирования при особом сочетании нагрузок для некоторых конструкций — части фундаментной плиты многоэтажного здания сложной формы толщиной 750 мм, плит перекрытий западной и восточной башен на отм. +42,80 м.

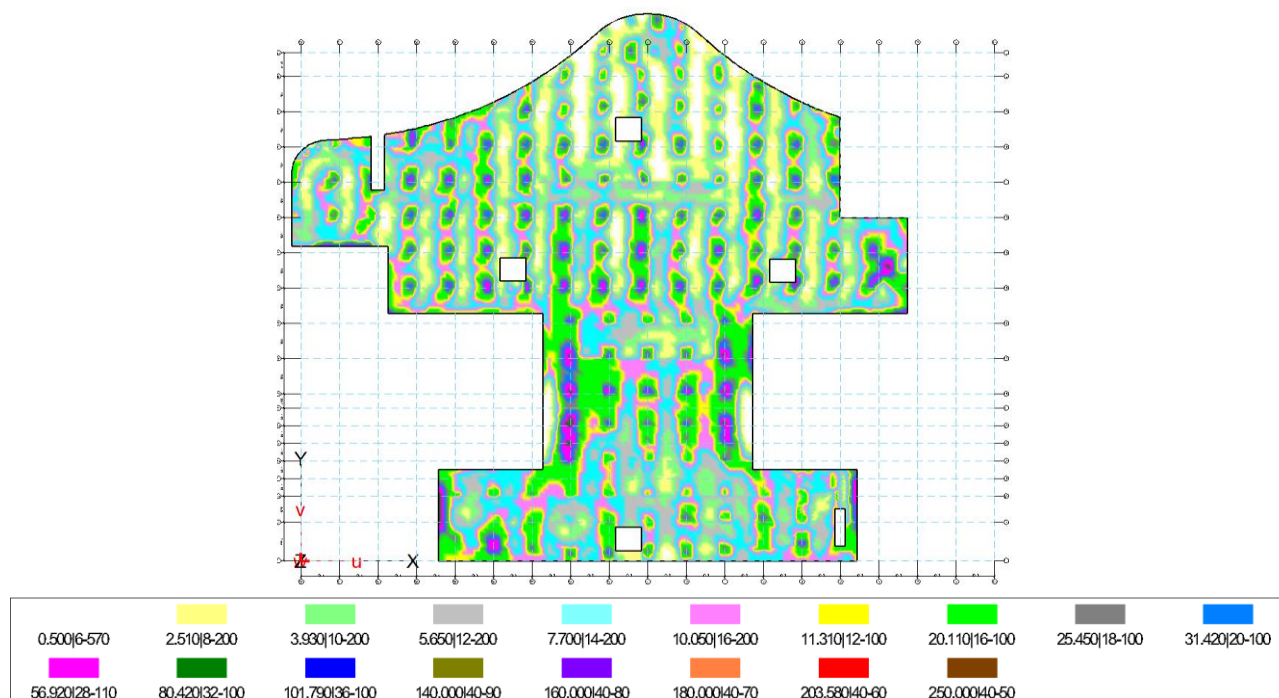


Рис. 18. Армирование фундаментной плиты. Верхняя продольная арматура в направлении оси R, см²/м [15]

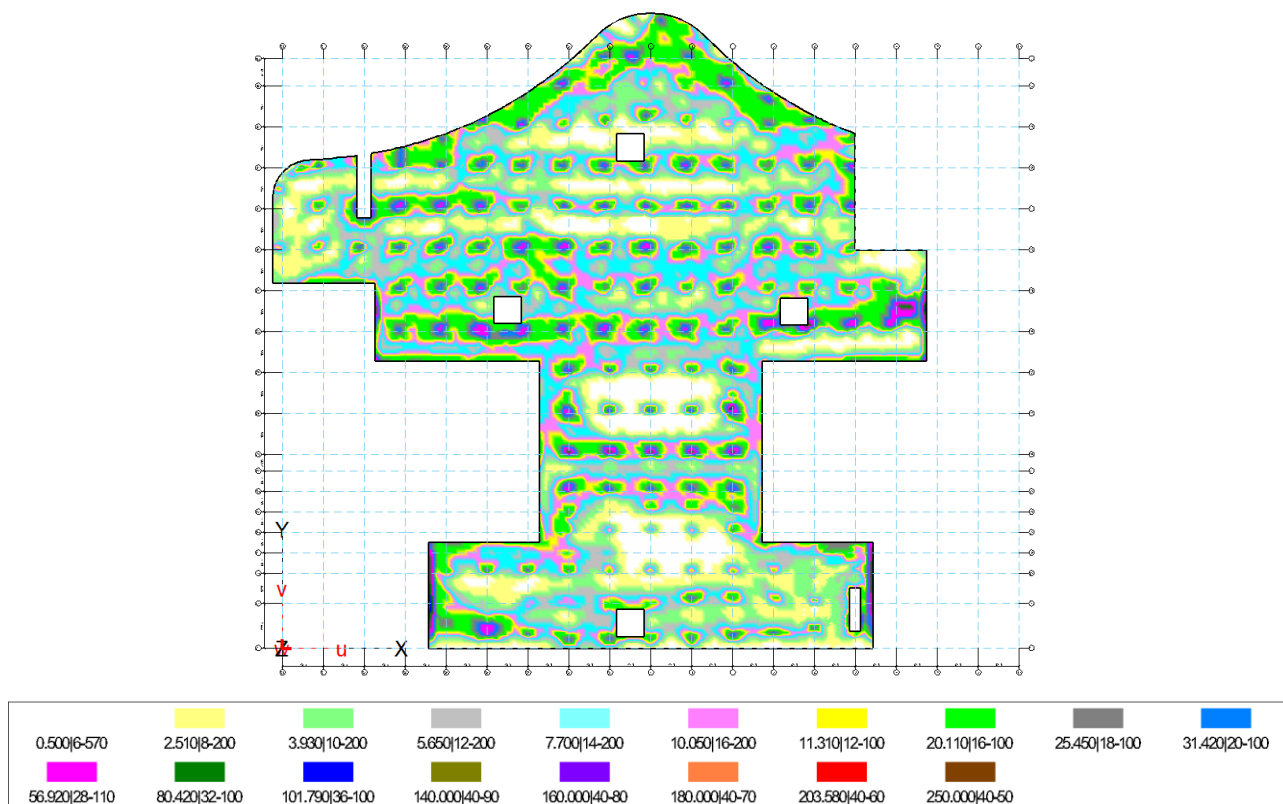


Рис. 19. Армирование фундаментной плиты. Верхняя продольная арматура в направлении оси S, см²/м [15]

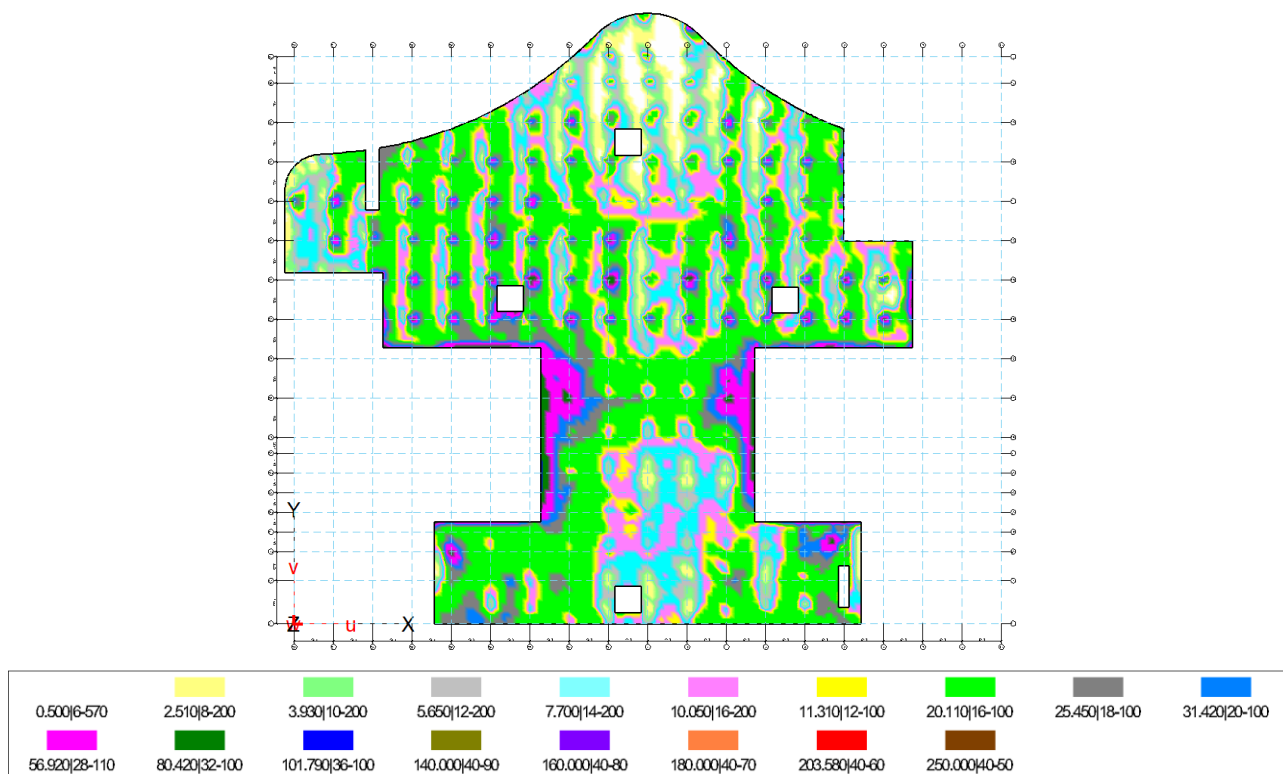


Рис. 20. Армирование фундаментной плиты. Нижняя продольная арматура в направлении оси R, см²/м [15]

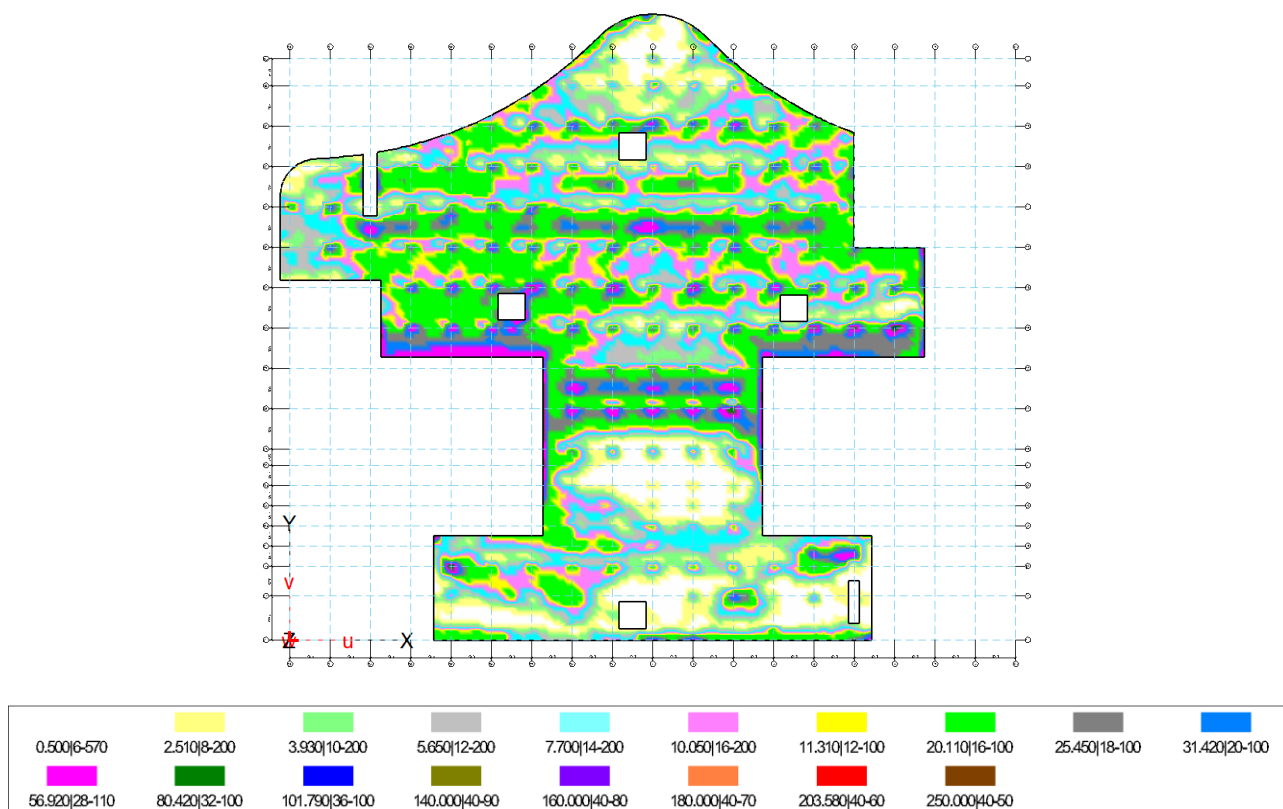


Рис. 21. Армирование фундаментной плиты. Нижняя продольная арматура в направлении оси S, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]

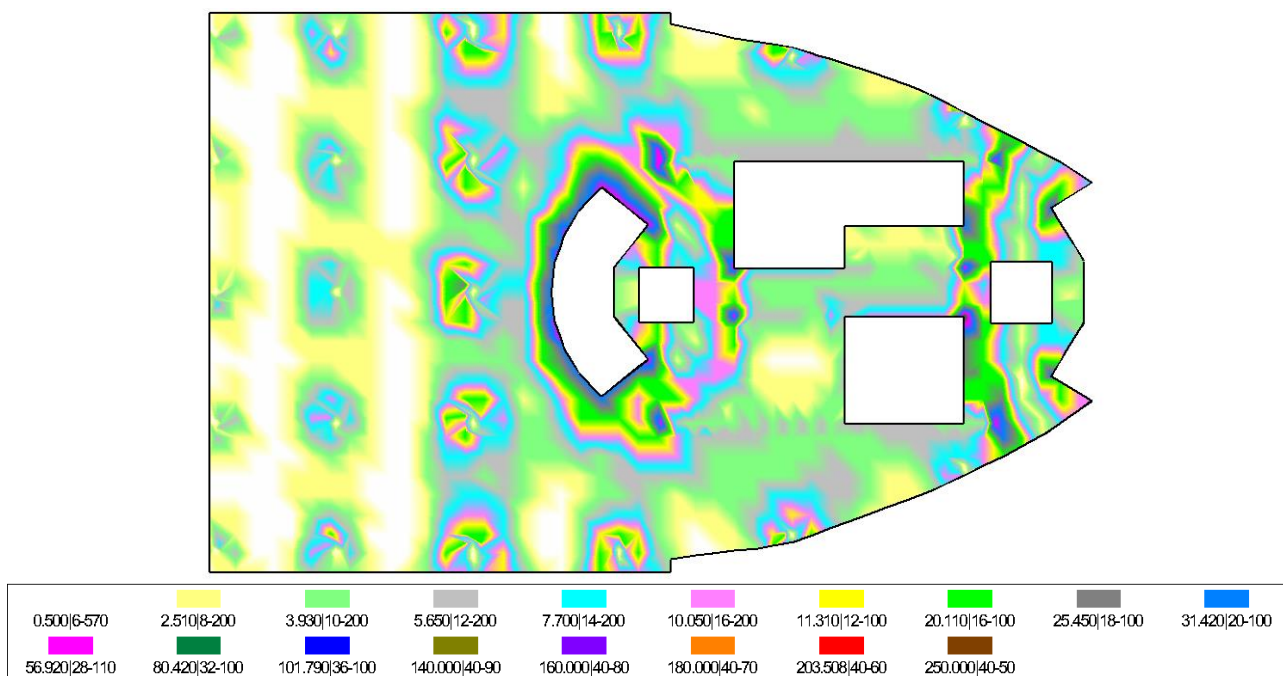
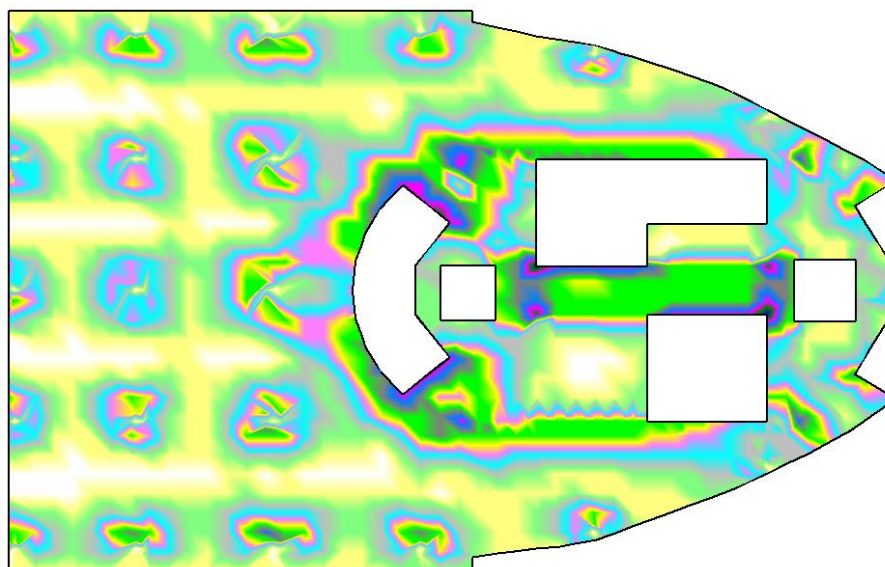
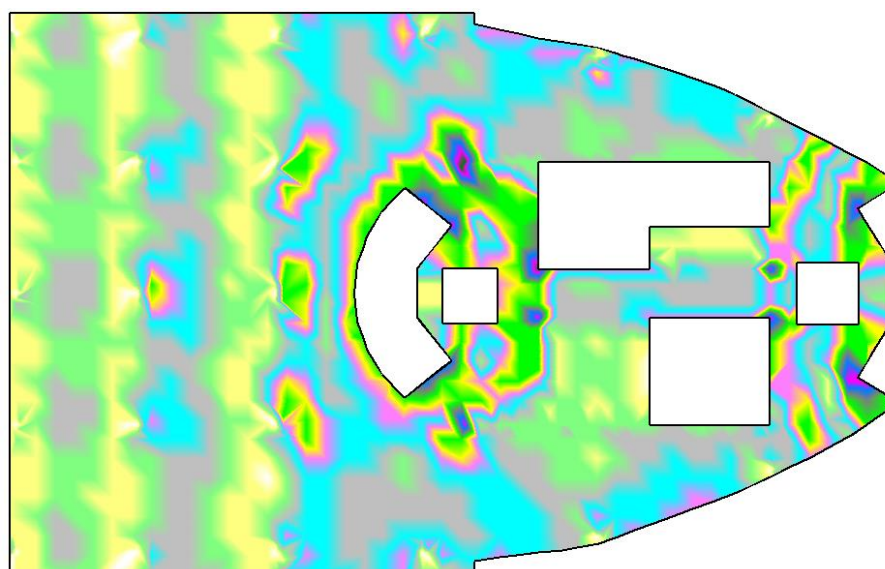


Рис. 22. Армирование плиты перекрытия западной башни на отм. +42,80 м. Верхняя продольная арматура в направлении оси R, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]



0.500 6-570	2.510 8-200	3.930 10-200	5.650 12-200	7.700 14-200	10.050 16-200	11.310 12-100	20.110 16-100	25.450 18-100	31.420 20-100
56.920 28-110	80.420 32-100	101.790 36-100	140.000 40-90	160.000 40-80	180.000 40-70	203.508 40-60	250.000 40-50		

Рис. 23. Армирование плиты перекрытия западной башни на отм. +42,80 м. Верхняя продольная арматура в направлении оси S, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]



0.500 6-570	2.510 8-200	3.930 10-200	5.650 12-200	7.700 14-200	10.050 16-200	11.310 12-100	20.110 16-100	25.450 18-100	31.420 20-100
56.920 28-110	80.420 32-100	101.790 36-100	140.000 40-90	160.000 40-80	180.000 40-70	203.508 40-60	250.000 40-50		

Рис. 24. Армирование плиты перекрытия западной башни на отм. +42,80 м. Нижняя продольная арматура в направлении оси R, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]

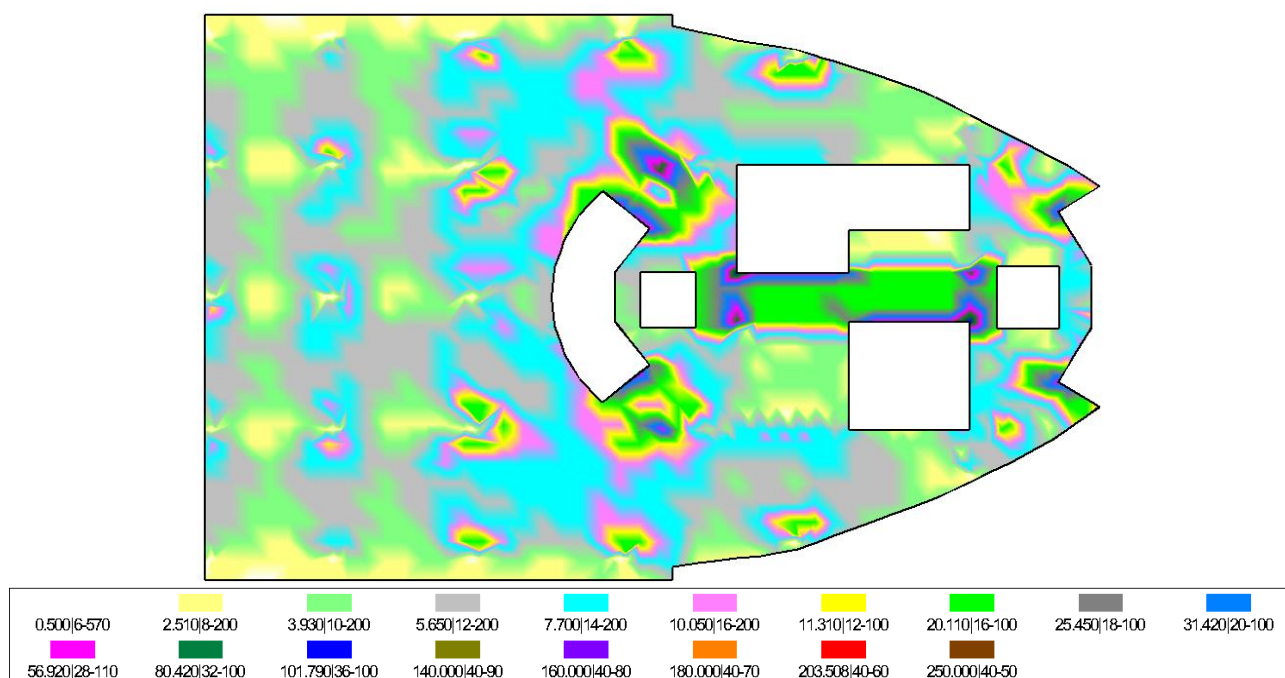


Рис. 25. Армирование плиты перекрытия западной башни на отм. +42,80 м. Нижняя продольная арматура в направлении оси S, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]

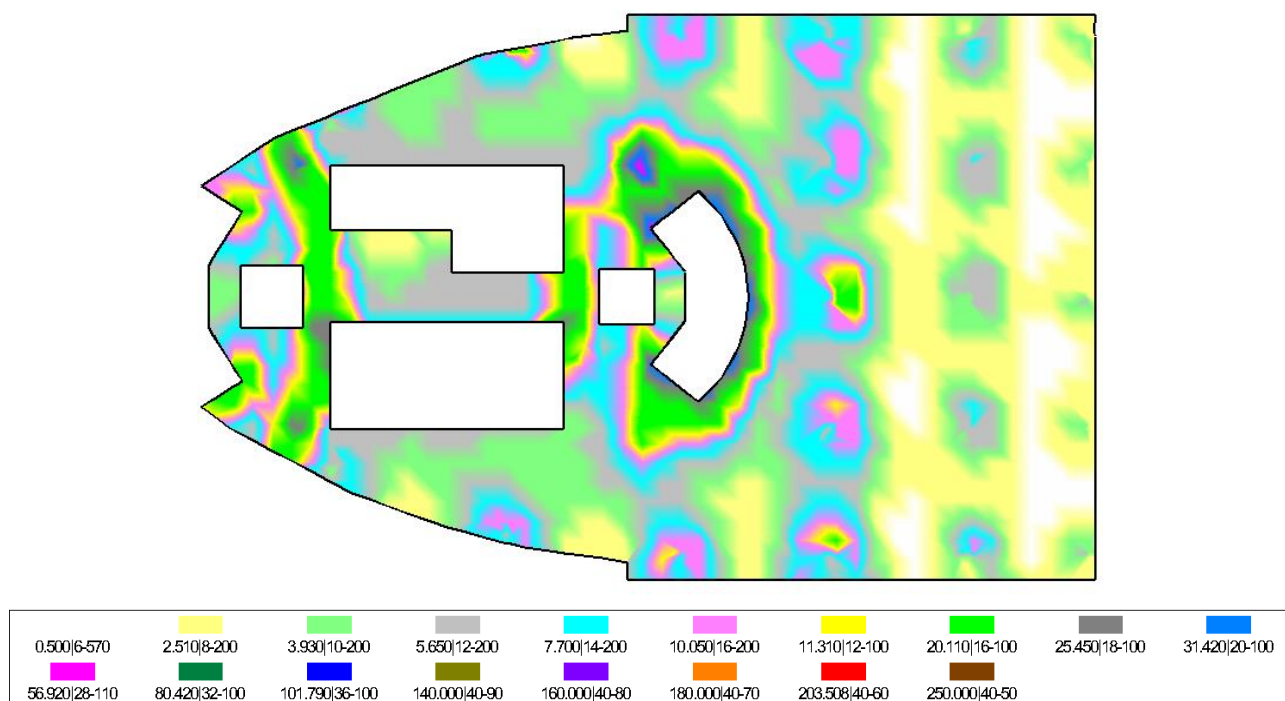


Рис. 26. Армирование плиты перекрытия восточной башни на отм. +42,80 м. Верхняя продольная арматура в направлении оси R, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]

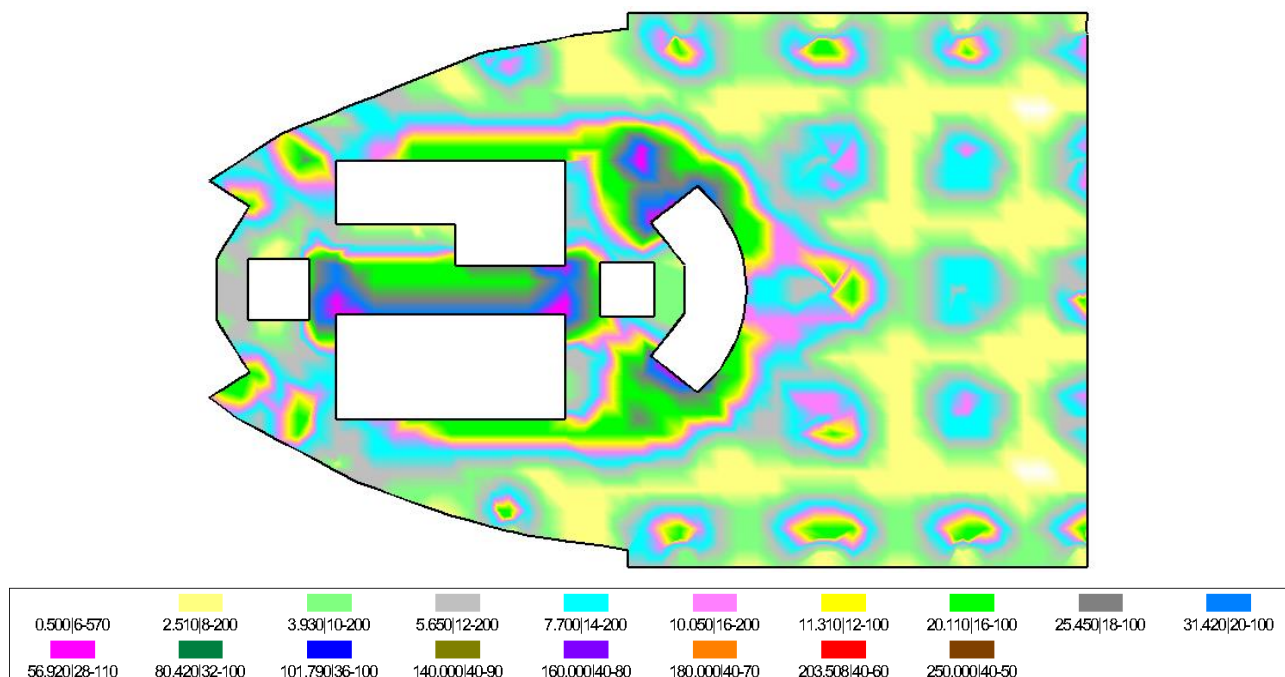


Рис. 27. Армирование плиты перекрытия восточной башни на отм. +42,80 м. Верхняя продольная арматура в направлении оси S, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]

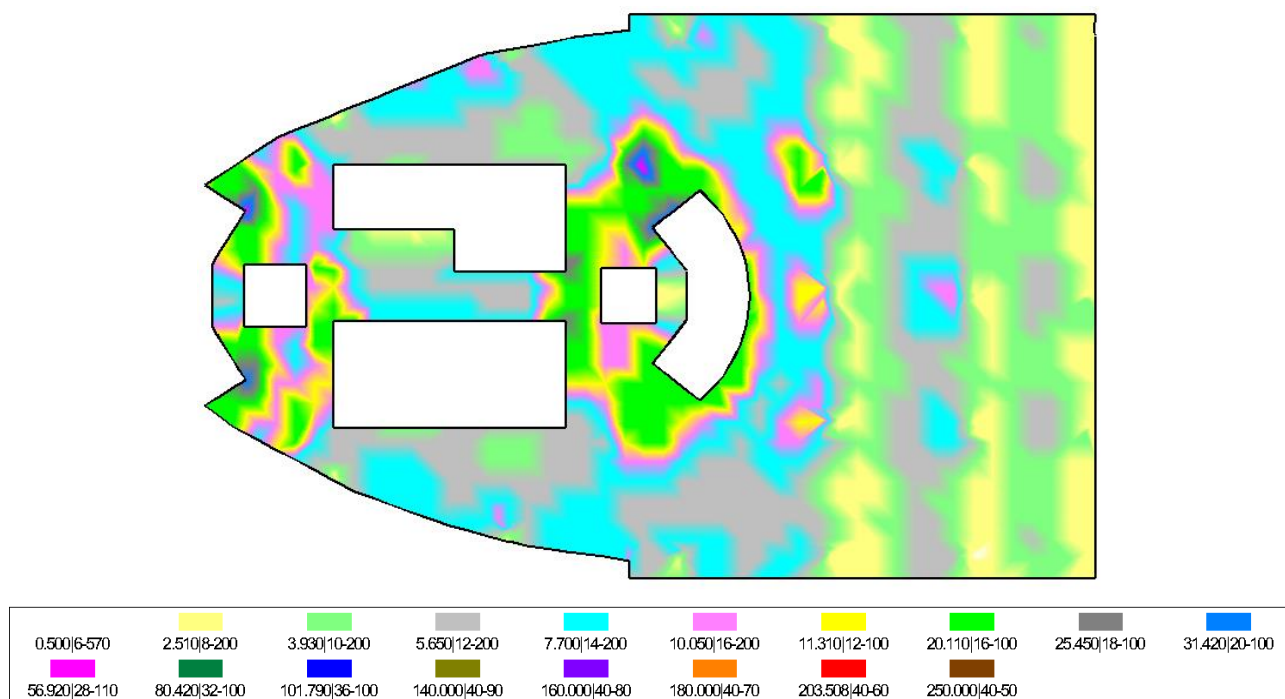


Рис. 28. Армирование плиты перекрытия восточной башни на отм. +42,80 м. Нижняя продольная арматура в направлении оси R, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]

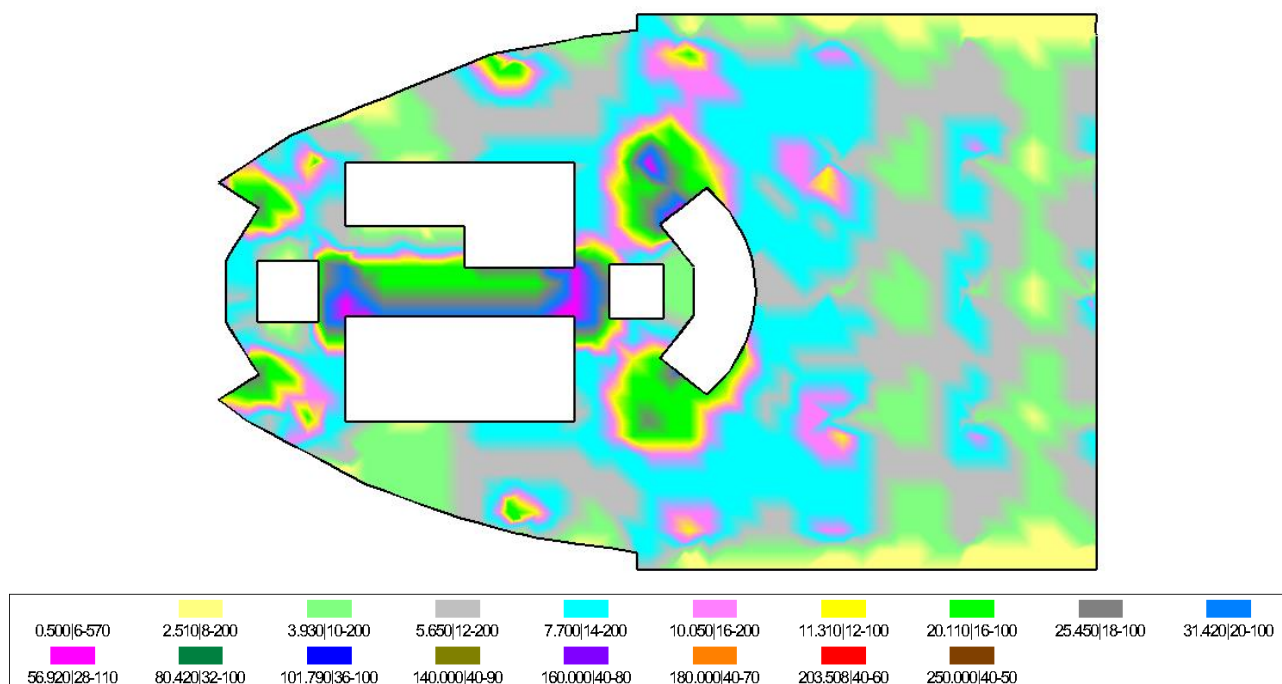


Рис. 29. Армирование плиты перекрытия восточной башни на отм. +42,80 м. Нижняя продольная арматура в направлении оси S, $\text{см}^2/\text{м}$ [15]

В рамках расчетов несущих конструкций многоэтажного здания сложной формы были выполнены следующие работы:

1. Анализ проектной документации, материалов исследований. пространственной расчетной схемы с учетом конструкций свайного фундамента.
2. Сбор нагрузок на конструкции с учетом требований норм Республики Азербайджан, рекомендаций по назначению снеговых и ветровых нагрузок.
3. Расчеты напряженно-деформированного состояния и собственных колебаний пространственных расчетных схем МКЭ, включая верификационные (проверочные) расчеты, в том числе на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмического воздействия.
4. Проверка общей жесткости несущей системы здания, осадок фундамента, вертикальных прогибов плит при основных сочетаниях нагрузок и воздействий.
5. Расчет основных элементов несущих конструкций по предельным состояниям.

Обсуждение и заключение. Анализ результатов пространственного расчёта несущих конструкций 29-этажного здания сложной формы с рамно-связевым каркасом, ядрами жёсткости и уникальной мега-фермой подтвердил работоспособность принятых проектных решений в условиях сейсмического воздействия интенсивностью 8 баллов. Расчёты проводились методом конечных элементов в ПК STARK ES с учётом 53 загрузений, включая особые сочетания нагрузок.

Теоретическая значимость исследования заключается в комплексной оценке напряжённо-деформированного состояния комбинированной конструктивной системы, объединяющей монолитные железобетонные ядра жёсткости и стальную мега-ферму длиной 90 м. Полученные результаты подтверждают эффективность использования пространственных конечно-элементных моделей для прогнозирования динамических характеристик зданий сложной геометрической формы. Результаты модального анализа (первые три частоты собственных колебаний: 0,340 Гц, 0,459 Гц и 0,484 Гц) могут служить реперными точками для верификации аналогичных расчётных моделей и уточнения нормативных подходов к определению динамических параметров высотных зданий на слабых грунтах прибрежных территорий.

Практическая значимость работы определяется возможностью непосредственного применения полученных результатов при проектировании многофункциональных комплексов в сейсмоопасных районах, в том числе на осушенных землях Каспийского моря. Ключевые выводы, важные для инженерной практики:

- Максимальная осадка фундамента (50,2 мм) и относительная разность осадок (0,00016) не превышают нормативных пределов, что подтверждает надёжность свайного основания и жёсткость фундаментной плиты.
- Горизонтальные перемещения верха здания (163,4 мм) значительно ниже допускаемых 300 мм, что гарантирует комфортность эксплуатации и сохранность фасадных систем.

- Прогнбы плит перекрытий (от 1,2 до 13,8 мм) соответствуют требованиям второй группы предельных состояний.
- Критический параметр устойчивости (10,4) свидетельствует о высоком запасе общей устойчивости системы.
- Подбранное армирование (рис. 18–29) достаточно для выполнения требований AzDTN 2.3-1, AzDTN 2.16-1 и обеспечивает несущую способность и трещиностойкость железобетонных плит перекрытий, стен ядер жесткости при основном и особом сочетаниях нагрузок, включая сейсмическую.
- Прочность металлических балок удовлетворяет требованиям AzDTN 2.18-1.
- Усилия в сваях не превышают допустимые значения.

Предложенные конструктивные решения — ядра жёсткости, объединённые на уровне 27-го этажа стальной мега-фермой, — могут быть рекомендованы для высотных зданий сложной формы как эффективный способ восприятия горизонтальных сейсмических нагрузок и обеспечения пространственной жёсткости.

Таким образом, принятые в проекте многоэтажного здания сложной формы конструктивные решения обеспечивают надежность, прочность, жёсткость и устойчивость несущих строительных конструкций при основных и особых сочетаниях расчетных нагрузок и воздействий, а полученные результаты могут служить основой для оптимизации проектирования подобных уникальных сооружений.

Список литературы / References

1. 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/items/3f1bb983-8b51-46b4-aa5c-90669fb1b514> (дата обращения: 04.12.2025).
2. Wilson EL. *Static & Dynamic Analysis of Structures: a Physical Approach with Em-Phasis on Earthquake Engineering*. Computers and Structures; 2004. 394 p.
3. Маилан 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. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-14-20>
- Mailan LR, Zubritsky MA, Ushakov OYu, Sabitov LS Calculation of High-Rise Structures under Seismic Effect of the “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.) <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-14-20>
4. Маилан Д.Р., Мурадян В.А. К методике расчета железобетонных внецентренно сжатых колонн. *Инженерный вестник Дона*. 2012;4(2):182. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333> (дата обращения: 04.12.2025).
- Mailan 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: 04.12.2025)
5. Муселемов Х.М., Маилан 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: 04.12.2025).
- Muselemov HM, Mailan 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: 04.12.2025)
6. Пшеничкина В.А., Дроздов В.В., Чаускин А.Ю. *Сейсмическая надежность зданий повышенной этажности*. Волгоград: ВолгГТУ; 2022. 180 с.
- Pshenichkina VA, Drozdov VV, Chauskina AY *Seismic Reliability of High-Rise Buildings*. Volgograd: Publishing house of Volgograd State Technical University; 2022. 180 p. (In Russ.)
7. Маилан 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>
- Mailan LR, Stel'makh SA, Shcherban' EM Calculation and Design of Building Structures Taking into Account the Variotropy of the Structure, Sections and Differentiation of Constructive Characteristics of the Materials. *Scientific Journal of Construction and Architecture*. 2021; 2 (62): 27–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.62.2.002>
8. Маилан 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>
- Mailan LR, Zubritsky MA, Ushakov OYu, Sabitov LS, Bambulevich MD Seismic Resistance Estimation of Existing Turbogenerator Foundation Structures under Ductility Level Earthquake Impact by Nonlinear Static Method. *Academic Bulletin of UralNIIProekt RAASN*. 2020; 4 (47): 79–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.47.4.013>

9. Маилиян Л.Р., Языев С.Б., Сабитов Л.С., Коноплёв Ю.Г., Радайкин О.В. Напряженно-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>

10. Абаканов Т., Кусайнов А.А., Теплых А.В., Бондарев Д.Е. *Сейсмология и сейсмостойкость сооружений*. М.: СКАД СОФТ, АСВ; 2024. 624 с. URL: <https://iasv.ru/seismologiya-i-sejmostojkost-sooruzhenij.html> (дата обращения: 04.12.2025).

Abakanov T, Kusainov AA, Teplykh AV, Bondarev DE *Seismology and Seismic Resistance of Structures*. Moscow: SKAD SOFT Publishing House, ASV Publishing House; 2024. 624 p. (In Russ.) URL: <https://iasv.ru/seismologiya-i-sejmostojkost-sooruzhenij.html> (accessed: 04.12.2025)

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

12. 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>

Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Panasenکو 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. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-17-29>

13. 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>

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

14. Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Панасенко Ю.В., Мажиева А.Х., Мажиев А.Х., Мажиев А.Х. Оценка надежности конструктивных решений при реконструкции объекта культурного наследия с учетом сейсмических воздействий. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2025;4(2):21–37. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-21-37>

Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Panasenکو YuV, Mazhieva AKh, Mazhiev AKh, Mazhiev AKh Evaluation of the Reliability of Design Solutions during the Reconstruction of a Cultural Heritage Site Taking into Account Seismic Impacts. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4(2):21–37. (In Russ.) <http://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-21-37>

15. Научно-техническое заключение по теме: «Выполнение проверочных расчетов и выдача заключения об обеспечении прочности, жёсткости и устойчивости несущих конструкций по проекту Crescent Development Baku в соответствии со строительными нормами Республики Азербайджан». Москва: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; 2020. 142 с.

Scientific and Technical Conclusion on the Topic: "Performing Verification Calculations and Issuing an Opinion on Ensuring the Strength, Rigidity and Stability of Load-Bearing Structures for the Crescent Development Baku Project in Accordance with the Building Regulations of the Republic of Azerbaijan". Moscow: Central Research Institute of Building Structures named after V.A. Kucherenko, JSC "Research Center "Construction"; 2020. 142 p. (In Russ.)

16. Рекомендации по учёту волнового характера сейсмического воздействия и защите от аварийных ситуаций. Москва: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; 2024.

Recommendations for Taking into Account the Wave Nature of Seismic Impact and Protection against Emergency Situations. Moscow, V.A. Kucherenko Central Research Institute of Structures, 2024. (In Russ.)

Об авторах:

Мажиев Хасан Нажоевич, 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

Мажиев Казбек Хасанович, кандидат технических наук, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых, 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), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

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

Мажиева Амина Хасановна, 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

Мажиев Аслан Хасанович, научный сотрудник отдела физико-математических и технических наук Центра проблем материаловедения Академии наук Чеченской Республики (364043, РФ, 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 расчетно-динамической модели здания, проведение расчетов, реализация основных этапов исследования, обработка и анализ полученных результатов, формулирование выводов.

А.Х. Мажиев: участие в проведении 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 проведении 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.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Building Structures of Millionshchikov Grozny State Oil Technological University (100 Kh.A. Isaev Ave., Grozny, Chechen Republic, 364051, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Kazbek Kh. Mazhiev, Cand.Sci. (Eng.), Winner of the Prize of the Government of the Russian Federation in Science and Technology for Young Scientists, Scientific Director of the Scientific and Technical Center "Safety of Buildings and Structures under Natural and Man-Made Impacts", Associate Professor of the Department of Building Structures of Millionshchikov Grozny State Oil Technological University (100 Kh.A. Isaev Ave., Grozny, Chechen Republic, 364051, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Yuri V. Panasenko, Head of the Expert Calculations Group at the Laboratory for Automation of Research and Design of Structures at the Central Research Institute of Building Structures named after V.A. Kucherenko, JSC "Research Center of Construction" (6 2nd Institutskaya Str., Moscow, 109428, Russian Federation), [ORCID](#), panyuriy@eurosoft.ru

Amina Kh. Mazhieva, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Building Structures of Million-shchikov Grozny State Oil Technical University (100 Kh.A. Isaev Ave., Grozny, Chechen Republic, 364051, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Aslan Kh. Mazhiev, Researcher at the Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences of the Center for Materials Science Problems of the Academy of Sciences of the Chechen Republic (19a Vahi Aliev Str., Grozny, Chechen Republic, 364043, Russian Federation); Senior Lecturer at the Department of Building Structures of Million-shchikov Grozny State Oil Technological University (100 Kh.A. Isaev Ave., Grozny, Chechen Republic, 364051, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Adam Kh. Mazhiev, Researcher at the Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences of the Center for Materials Science Problems of the Academy of Sciences of the Chechen Republic (19a Vahi Aliev Str., Grozny, Chechen Republic, 364043, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Claimed contributorship:

KhN Mazhiev: scientific supervision, formation of the main concept, aims of the study and its general planning, participation in the implementation of the study, analysis of its results, revision and development of the conclusions, correction of the manuscript.

KKh Mazhiev: participation in the implementation of the study, analysis of the results, correction of the manuscript, formulation of the conclusions.

AKh Mazhieva: participation in the implementation of the study, in the development of a computational and dynamic model of the building, analysis of the results, formulation of the conclusions.

YuV Panasenko: development of a computational and dynamic model of the building, calculations, implementation of the main stages of the study, processing and analysis of the results, formulation of the conclusions.

AKh Mazhiev: participation in calculations, implementation of the main stages of the research, processing and analysis of the results, formulation of the conclusions, preparation of the illustrations, original manuscript and general design of the manuscript.

AKh Mazhiev: participation in calculations, implementation of the main stages of the study, processing and analysis of the results, formulation of the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 15.12.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 29.12.2025

Принята к публикации / Accepted 12.01.2026