This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

Research Article
ISSN 2304-6295
Received: October 19, 2023 Accepted: November 19, 2023 Published: December 6, 2023

The existing buildings with retaining structures

Saryan, Levon Levonovich[1*]

[1] Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation; adm@kgtu.kuban.ru
Correspondence:* email adm@kgtu.kuban.ru

Keywords:

Retaining wall; Negative effect; Existing structure; Slope stability; Foundation slab; Landslide control; Displacement; Influence of a deep excavation

Abstract:

The object of the research is the retaining wall behavior under conditions of complex topography and dense development of existing buildings. The influence of retaining wall construction on the stress-strain state of the existing structures is also investigated. This work aims to evaluate the impact of soil cutting and constructing a retaining wall adjacent to the existing building. This research is of great importance as there is a lack of knowledge of appropriate structural solutions for earth-retaining structures considering landslide protection measures and distance between structures. **Method**. Numerical calculations were performed in the Plaxis 3D software program for three-dimensional calculations of the deformation and stability of spatial construction objects and the soil base. The work was divided into three stages: 1) building construction, 2) arrangement of landslide control measures, and 3) excavation for new construction. At each stage, changes in the forces occurring in the foundation slab, columns, and perimeter beams were analyzed. A comparative analysis with the previous stage was carried out. **Results.** The impact of the newly erected retaining wall on the structures of the existing buildings was calculated. Changes in displacements of slab foundation, transverse, and longitudinal forces, as well as bending moment in building structures depending on the height and distance of adjacent structures, were determined. Recommendations for making optimal design decisions that help minimize the negative impact on the existing structures are given.

1 Introduction

Территория города Большого Сочи, Российской Федерации характеризуется сложным рельефом с резким перепадом высот при весьма плотной застройке. Ситуации, при которых освоение нового участка осуществляется вблизи существующего здания с подрезкой грунта и устройством противооползневых мероприятий встречаются в этом регионе повсеместно. Ввиду отсутствия информации о конструктивных решениях уже построенного дома достаточно сложно оценить негативное влияние, оказываемое строительством подпорной стены на конструкции существующего здания [1]. Нередко расстояние между подпорной стеной и зданием не превышает и 3-х метров, что может привести к возникновению опасных оползневых процессов [2], [3], повреждению существующего здания [4]-[6], а также значительному материальному ущербу [7]-[9].

В связи с отсутствием в настоящее время единой методики оценки запредельных усилий, возникающих в существующем здании, актуальным остается вопрос влияния строительства подпорной стены в зоне с высокой плотностью застройки [10], [11]. Согласно рекомендациям действующих норм для существующего здания ограничивается лишь предельное значение дополнительной осадки основания фундаментов [12]. Изученная оценка влияния на существующую застройку, [13]-[15] во многом направлена на определение дополнительных осадок. Однако, в конструкциях здания, находящихся в зоне влияния нового строительства, возникают дополнительные усилия, на которые оно не было изначально рассчитано, что подтверждается исследованиями [16]-[18]. В связи с этим возникает необходимость разработки

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

методики оценки влияния нового строительства [19] и дать рекомендации по принятию оптимальных проектных решений, способствующих минимизации негативного влияния вновь возводимых сооружений на существующее здание [20]-[22].

Цель исследования – оценить влияние, оказываемое подрезкой грунта и строительством подпорной стены, расположенной вблизи существующего здания.

Задачи исследования:

1. На основании результатов расчета изучить влияние, оказываемое подпорной стеной на напряженно-деформированное состояние конструкций существующего здания, в зависимости от высоты подпора грунта и расстоянию между зданием и удерживающим сооружением.
2. Обосновать необходимость дальнейшего исследования в области несущей способности и устойчивости здания, находящегося в зоне влияния вновь возводимых противооползневых сооружений.

При устройстве противооползневых мероприятий вблизи существующей застройки помимо увеличения осадки фундамента [23]-[25], необходимо учитывать запредельные усилия, возникающие в конструкциях существующего здания [26]. Для оценки количественного влияния были произведены расчеты различных вариантов подпорной стены. Численный расчет производился на основании изученных методик [27], [28] в программном комплексе Plaxis 3D (https://www.bentley.com/software/plaxis-3d/). Модель грунта была выбрана в соответствии с результатами расчета различных моделей [29], а также рекомендаций [30], учитывающих реализованные модели грунта в программном комплексе Plaxis 3D. Работа была поделена на три этапа. На каждом этапе были определены дополнительные осадки, возникающие в существующем здании, а также произведена оценка изменений усилий, возникающих в конструкциях существующего здания.

2 Materials and Methods

Расчет производился в программном комплексе Plaxis 3D, предназначенном для трехмерных расчетов деформации и устойчивости пространственных строительных объектов совместно с грунтовым основанием. Для наглядности полученных результатов в программном комплексе решалась осесимметричная задача.

Ход расчета был поделен на 3 основных этапа:

1. Строительство здания. На данном этапе была определена максимальная осадка фундаментной плиты, а также усилия, возникающие в фундаментной плите, колоннах и балках по периметру.
2. Устройство противооползневых мероприятий. На данном этапе была определена дополнительная осадка в фундаментной плите от устройства буронабивных свай, а также проанализированы изменения усилий, возникающих в фундаментной плите, колоннах и балках по периметру. Проведен сравнительный анализ с предыдущим этапом.
3. Выемка котлована для нового строительства. На данном этапе была определена дополнительная осадка в фундаментной плите от выемки грунта котлована, а также проанализированы изменения усилий, возникающих в фундаментной плите, колоннах и балках по периметру. Проведен сравнительный анализ с предыдущим этапом.

Конструктивная схема здания представляет собой рамный каркас, опирающийся на фундаментную плиту по естественному основанию. Вертикальные нагрузки от перекрытий воспринимаются и передаются на основание системой из несущих ж/б ригелей, колонн. Шаг несущих элементов, опирающихся на фундаментную плиту в продольном и поперечном направлениях, составляет 5.0 м. Совместная работа плит перекрытий, ригелей, колонн обеспечивают пространственную жесткость здания. Класс бетона принят B25. Монолитная железобетонная фундаментная плита выполнена толщиной 500 мм. Колонны каркаса выполнены монолитные железобетонные сечением 400x400 мм. Плиты перекрытий выполнены толщиной 200 мм из монолитного железобетона. Балки каркаса (ригель по периметру) – монолитные железобетонные сечением 400x400 (h) с учетом толщины плиты перекрытия. Здание в плане представляет собой простую форму размерами 10x10 м.

Подпорная стена представляет собой буронабивные сваи, поверх которых выполняется монолитный ж/б ростверк. После выемки котлована по сваям устраивается облицовочная

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

монолитная ж/б стена. Буронабивные сваи Ø820 мм (бетон В25) с жесткой заделкой свай в ростверк. Длина свай – 10.0 м.

Произвольный участок грунтового массива размерами 15х30 м. При задании параметров грунтов была выбрана модель линейно деформированного полупространства Мора-Кулона.

В качестве грунта использовались суглинок тяжелый твердый с отметкой низа подошвы -7.0 м, модулем деформации E=23Мпа, удельным сцеплением c=0.010МПа, углом внутреннего трения φ=8˚, а также глина легкая твердая с отметкой низа подошвы -20.0 м, модулем деформации E=11.8 МПа, удельным сцеплением c=0.030Мпа, углом внутреннего трения φ=19˚.

На рис. 1 представлена расчётная схема, выполненная в программном комплексе Plaxis 3D, высота подпора грунта принята 1.0 м, 3.0 м, 5.0 м. Расстояние от здания до подпорной стены – 1.0 м, 3.0 м, 6.0 м, 9.0 м.

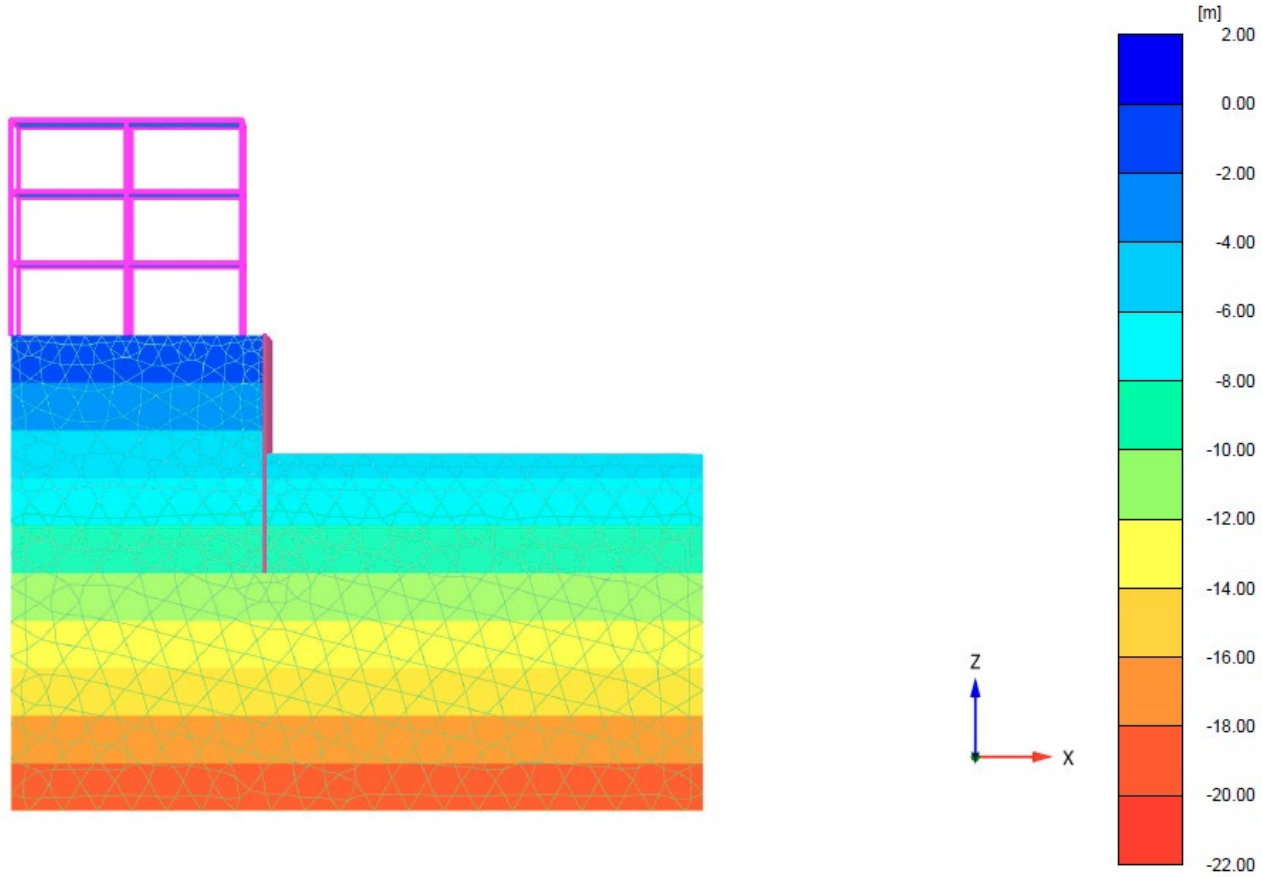


Рис. 1 – Расчетная схема
Fig. 1 – Design model

3 Results and Discussion

На первом этапе (строительство здания) эксперимента были определены перемещения фундаментной плиты от заданных нагрузок по оси Z. Вычислены усилия, возникающие в фундаментной плите, колоннах и балках.

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

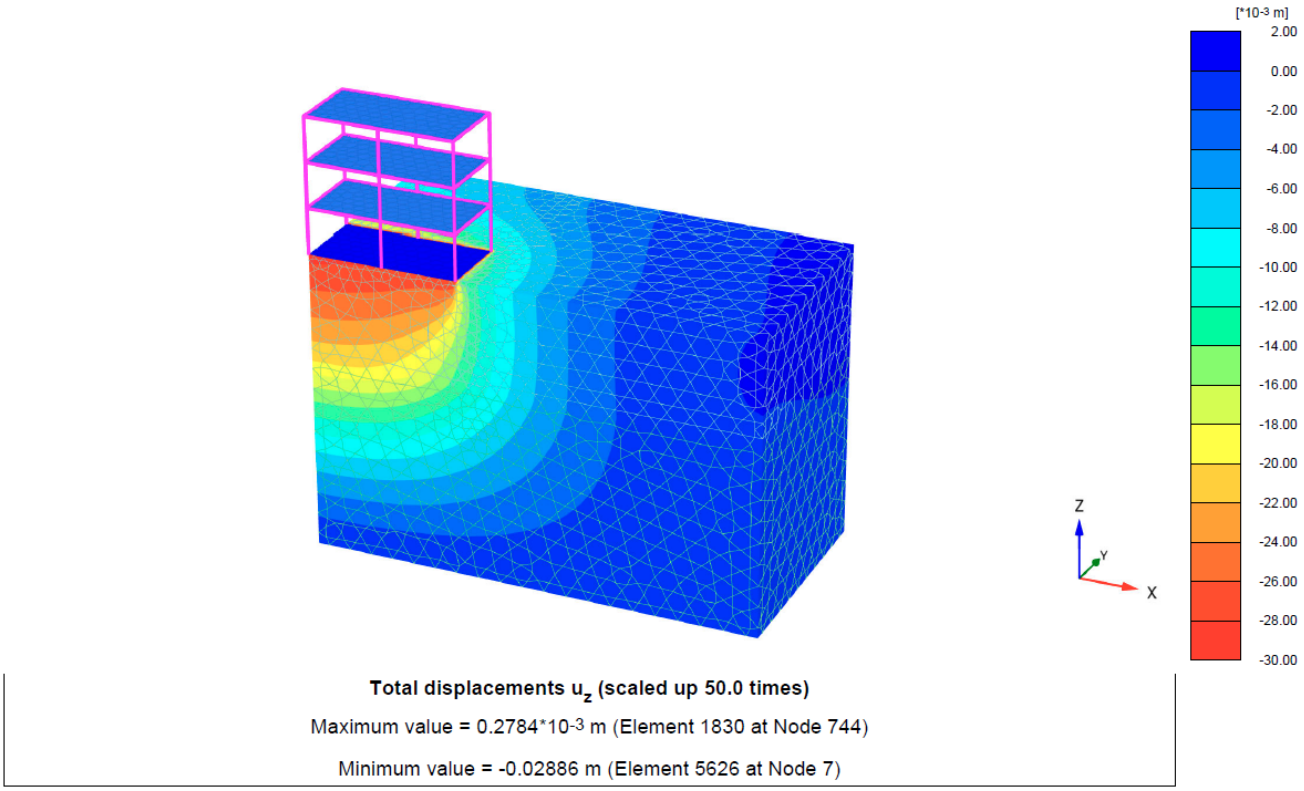


Рис. 2 – Максимальные перемещения расчетной модели (стадия строительство) по оси Z
Fig. 2 – Total displacements of design model (construction phase) Z-direction

Максимальная осада фундаментной плиты составила u_z=-0.02886 м. Ниже приведены изополя вычисленных нормальных усилий (N), сдвигающих усилий (Q) и изгибающих моментов (M).

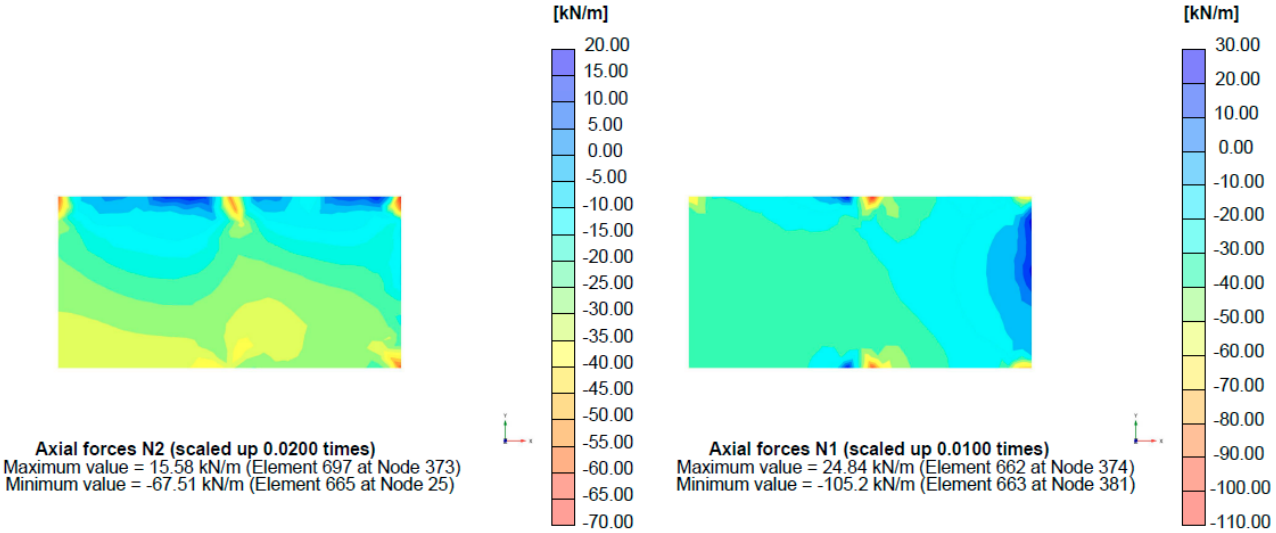


Рис. 3 – Нормальные усилия N_2 и N_1
Fig. 3 – Normal force N_2 and N_1

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

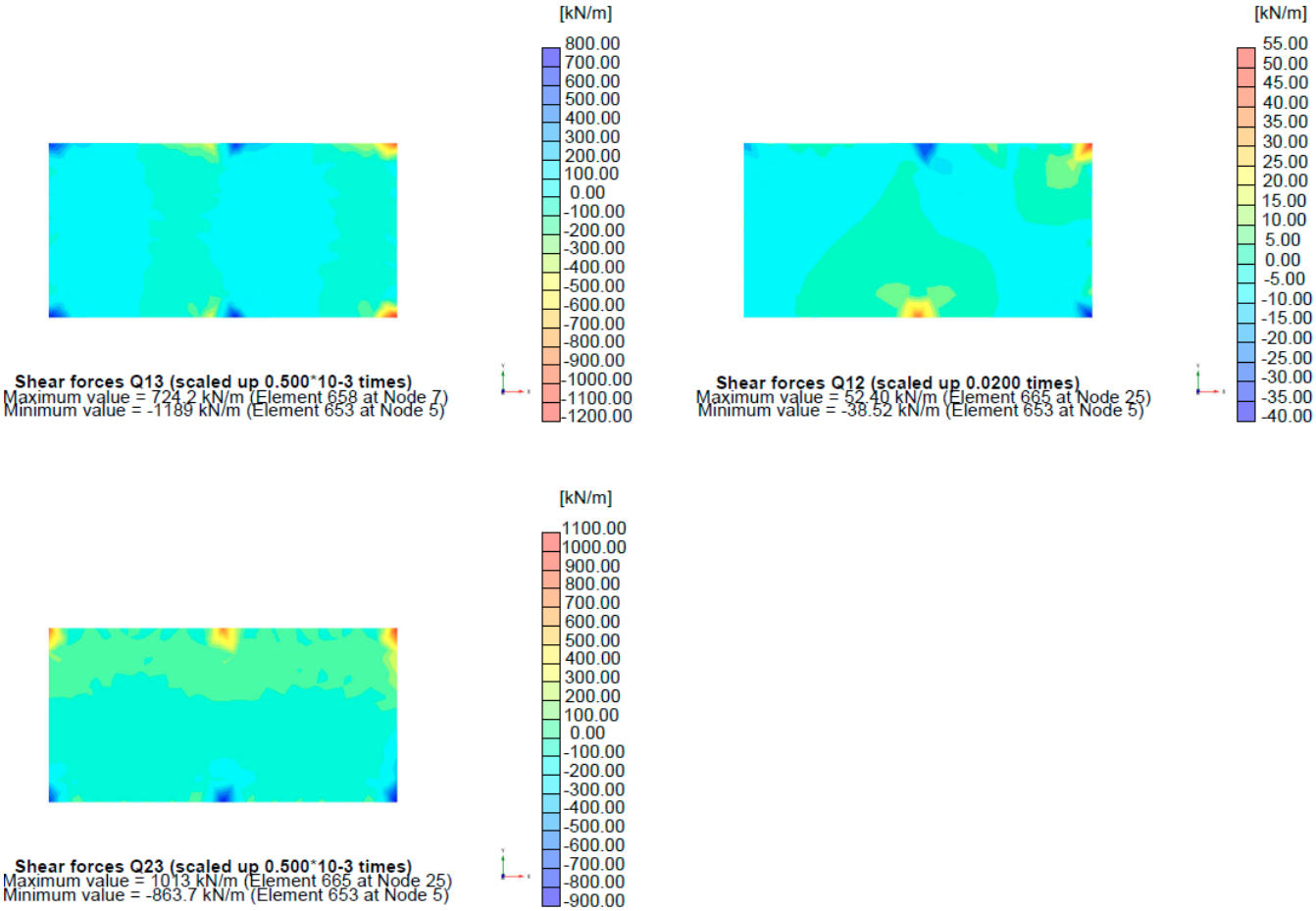


Рис. 4 – Сдвигающие усилия Q_{12}, Q_{23}, Q_{13}
Fig. 4 – Shear forces Q_{12}, Q_{23}, Q_{13}

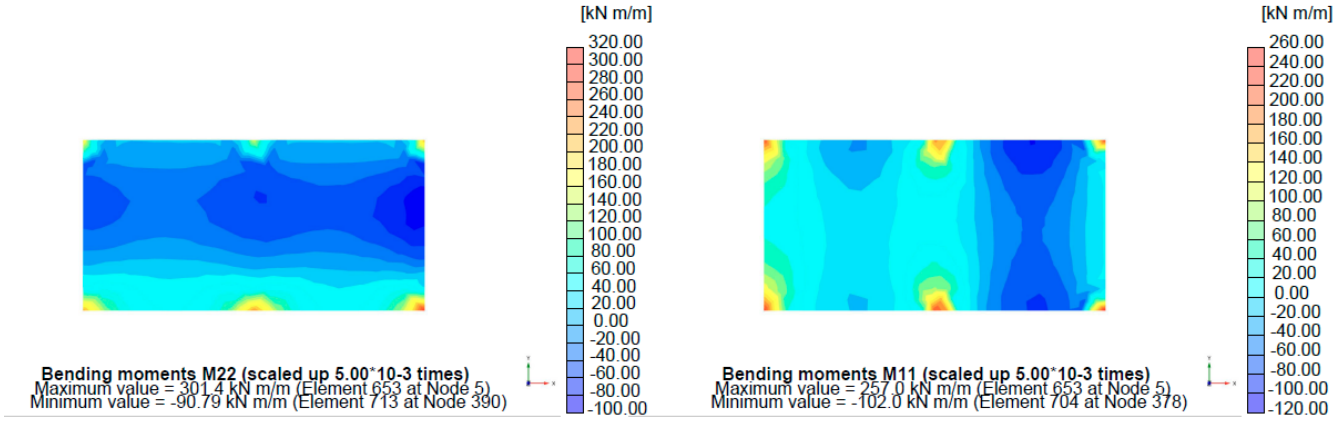


Рис. 5 – Изгибающий момент M_{11}, M_{22}
Fig. 5 – Bending moment M_{11}, M_{22}

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

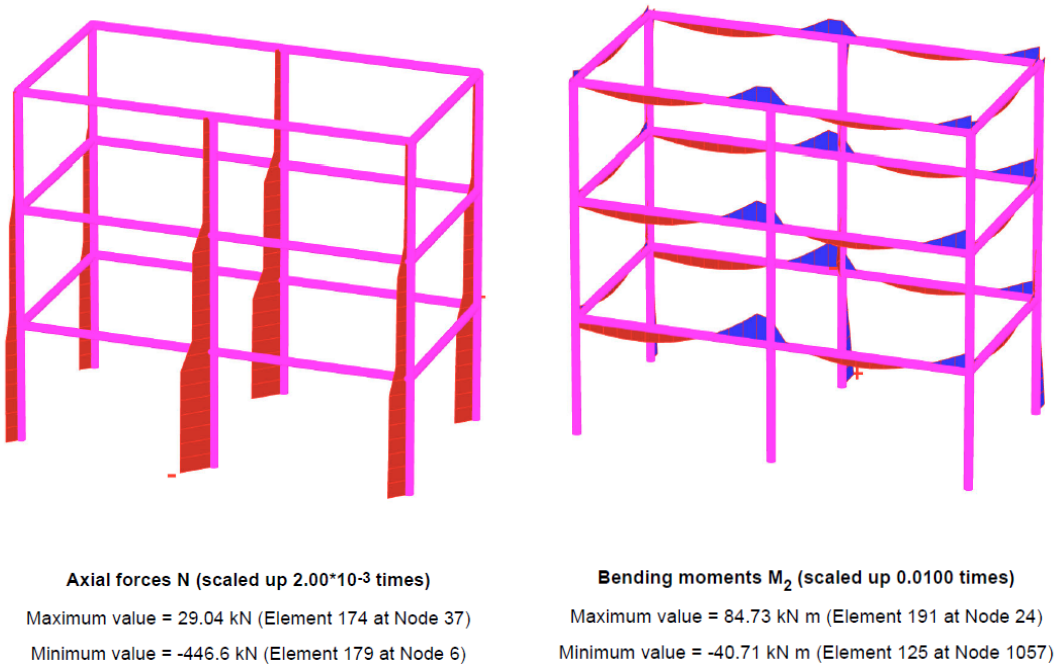


Рис. 6 – Нормальные усилия N в колоннах, изгибающий момент M_2 в балках
Fig. 6 – Normal forces N in columns, bending moment M_2 in beams

Таблица 1. Усилия, возникающие в конструкциях здания на первой стадии расчета
Table 1. Forces occurring in the building structures at the first calculation stage

№	Наименование	N_1, kN/m	N_2, kN/m	Q_{12}, kN/m	Q_{23}, kN/m	Q_{13}, kN/m	M_{11}, kN*m	M_{22}, kN*m	N, kN	M_2, kN*m
1	Фундаментная плита	24.84	15.58	52.40	1013.0	724.2	257.0	301.4	-	-
		-105.2	-67.51	-38.52	-863.7	-1189	-102.0	-90.79		
2	Колонны	-	-	-	-	-	-	-	29.04	-
									-446.6	
3	Балки	-	-	-	-	-	-	-	-	84.73
										-40.71

Согласно результатам расчета на первой стадии эксперимента, максимальная осадка фундаментной плиты составила u_z=-0.02886.

Максимальные нормальные усилия в фундаментной плите – N_1=-205.2 kN/m, N_2=-67.51kN/m. Максимальные сдвигающие усилия - Q_{12}=52.4 kN/m, Q_{23}=1013.0 kN/m, Q_{13}=-1189.0 kN/m. Максимальные изгибающие моменты – M_{11}=257.0 kN*m, M_{22}=301.4 kN*m.

Максимальное усилие, действующее в колоннах – N=-446.6 kN. Центральные колонны самые нагруженные.

Максимальный изгибающий момент, возникающий в балках здания – M_2=84.73 kN*m.

На втором этапе (устройство буронабивных свай) эксперимента были определены дополнительные перемещения фундаментной плиты по оси Z. Проанализированы изменения усилий, возникающие в фундаментной плите, колоннах и балках от устройство буронабивных свай на расстоянии 1 м от здания.

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

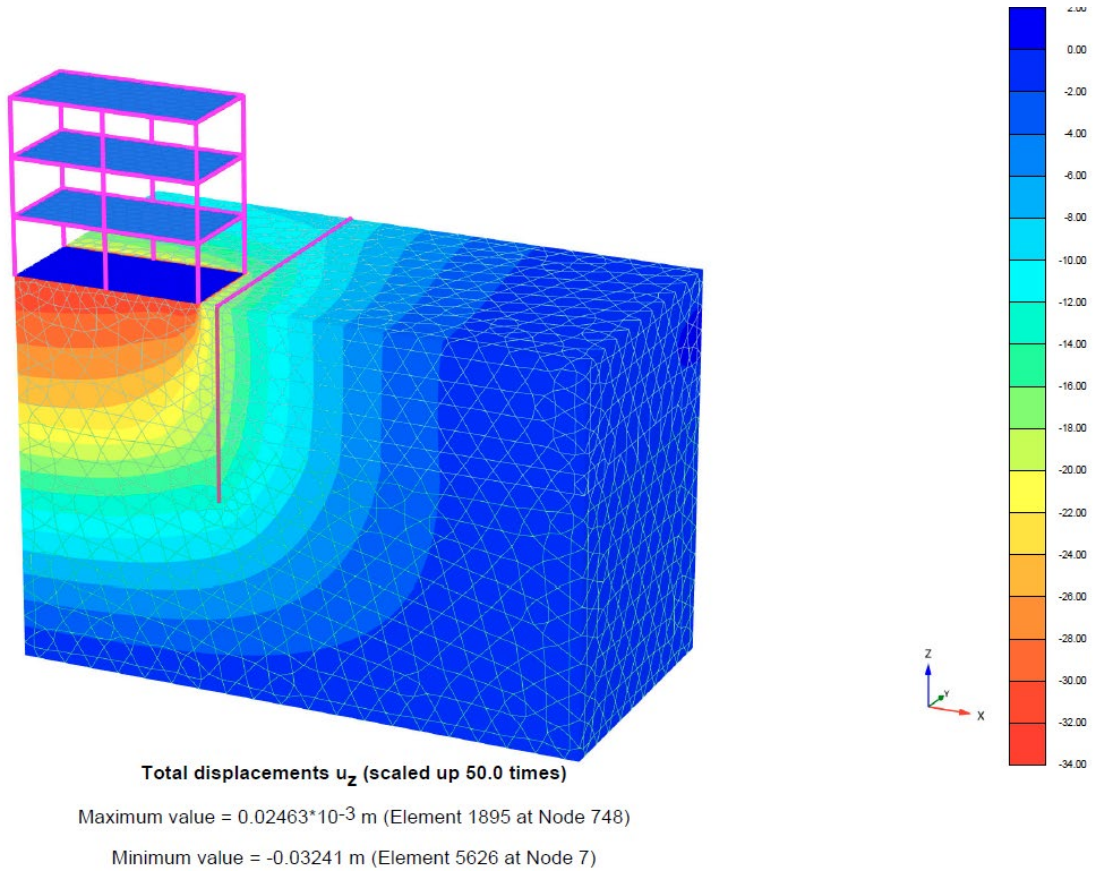


Рис. 7 – Максимальные перемещения расчетной модели (стадия устройство свай) по оси Z
Fig.7 – Total displacements of the design model (pile installation phase) Z-direction

Дополнительное перемещение фундаментной плиты по оси Z от устройства буронабивных свай подпорной стены составило u_z=-0.00355мм (+12.3%). На рисунках ниже представлены усилия в конструкциях здания, возникающие при устройстве противооползневых мероприятий.

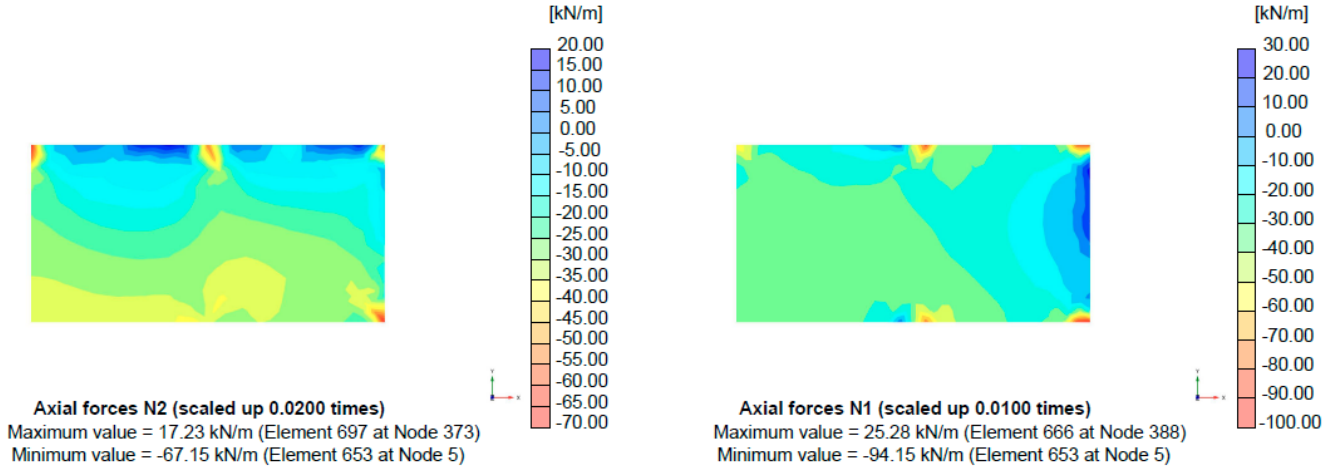


Рис. 8 – Нормальные усилия N_2 и N_1
Fig. 8 – Normal forces N_2 and N_1

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

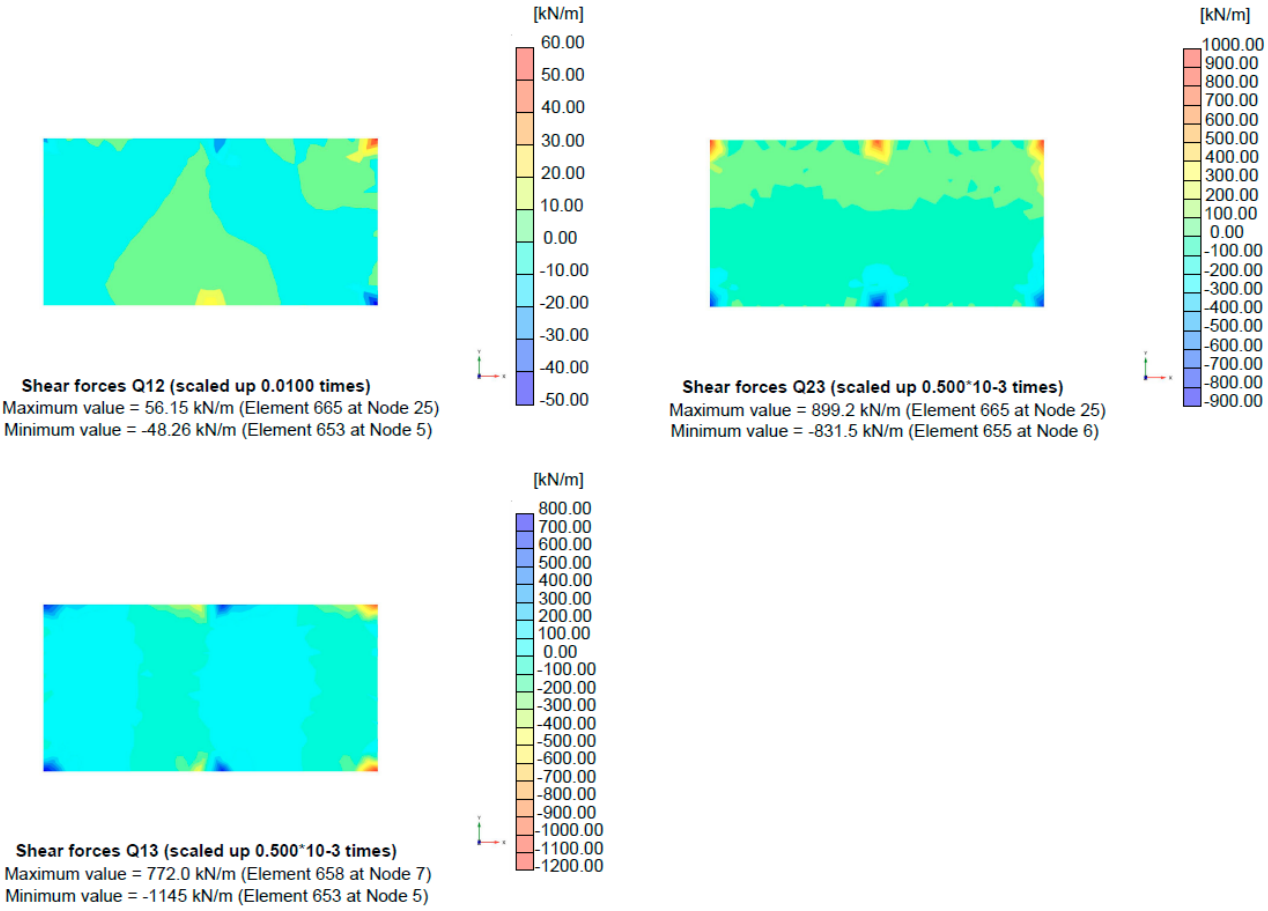


Рис. 9 – Сдвигающие усилия Q_{12}, Q_{23}, Q_{13}
Fig. 9 – Shear forces Q_{12}, Q_{23}, Q_{13}

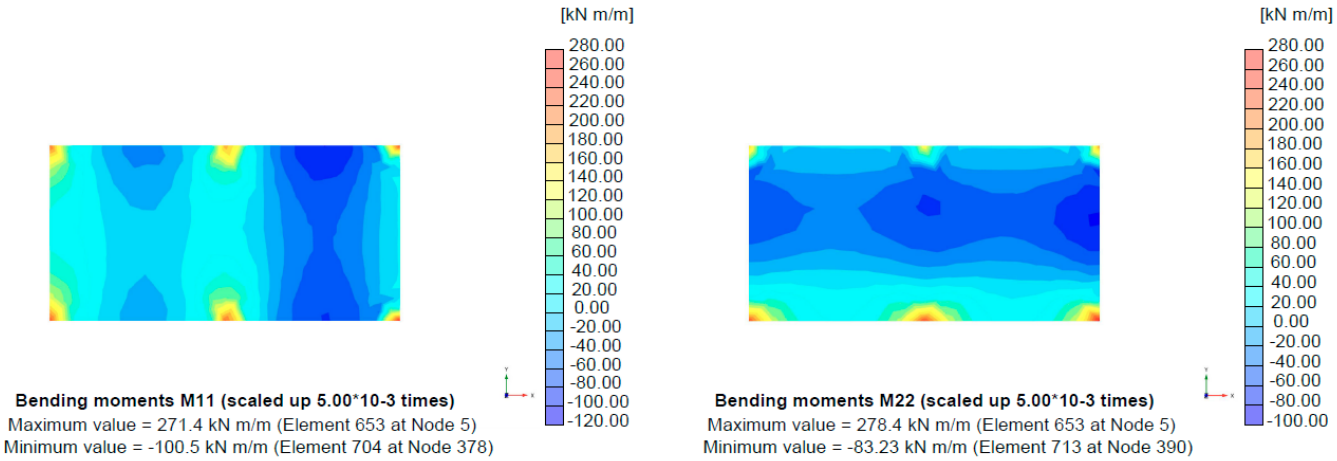


Рис. 10 – Изгибающие моменты M_{11}, M_{22}
Fig. 10 – Bending moments M_{11}, M_{22}

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

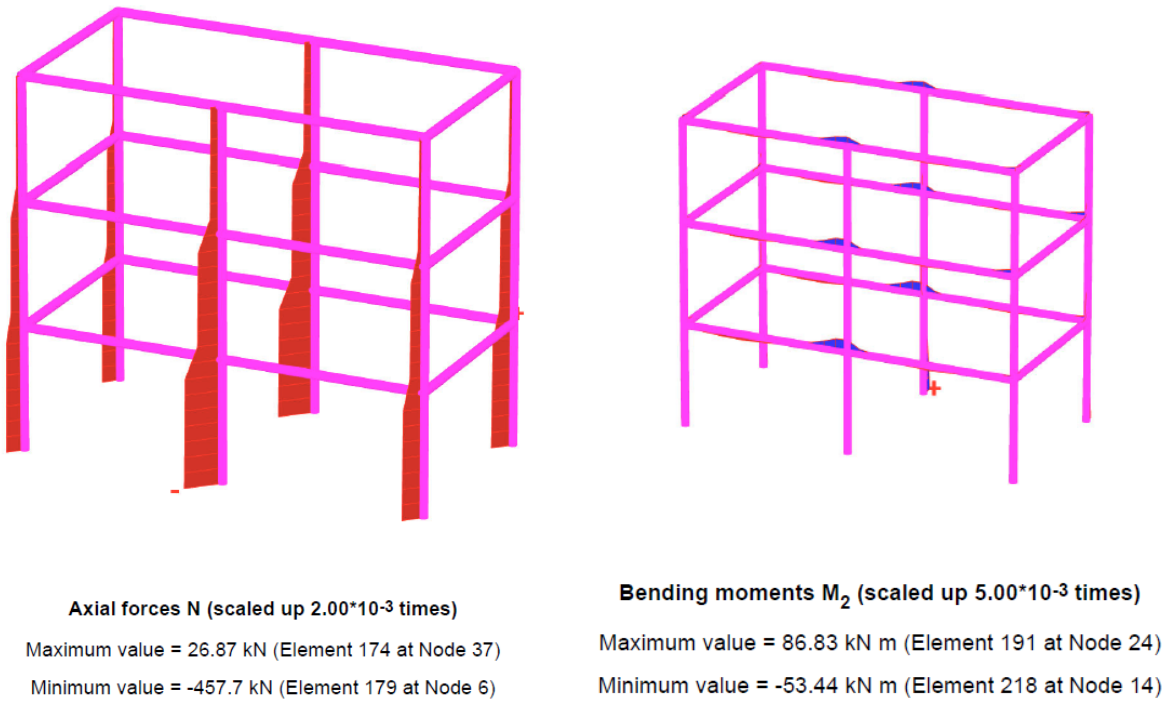
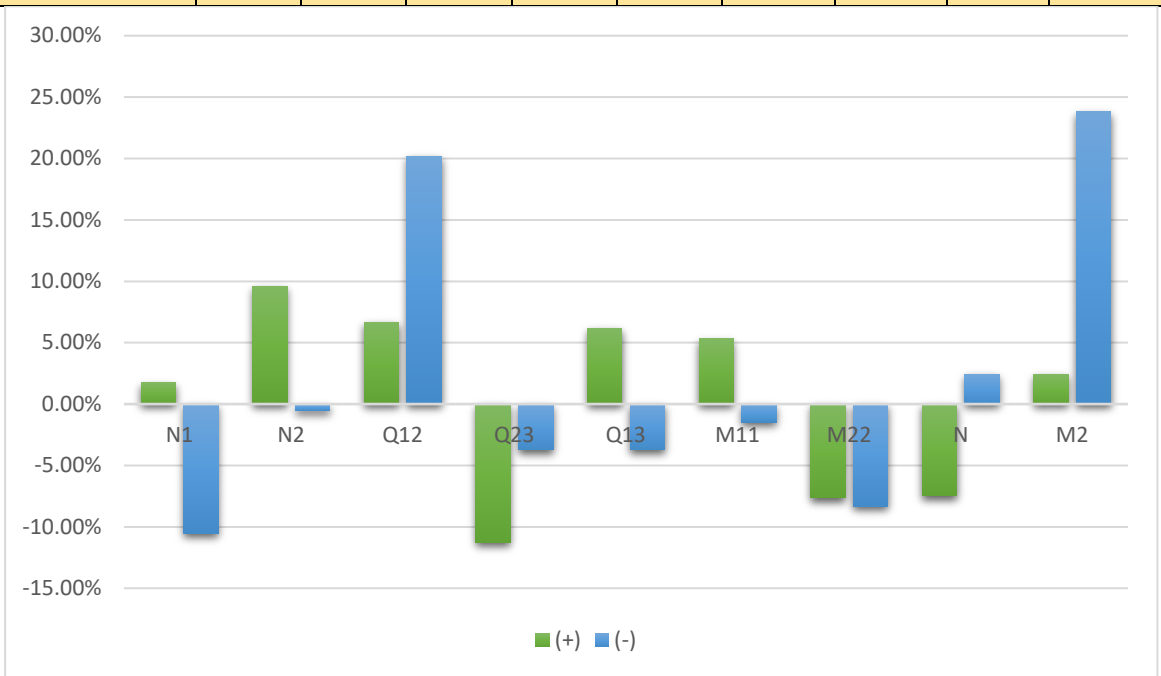


Рис. 11 – Нормальные усилия N в колоннах, изгибающий момент M_2 в балках
Fig. 11 – Normal forces N in columns, bending moment M_2 in beams

Таблица 2. Усилия, возникающие в конструкциях здания на второй стадии расчета
Table 2. Forces occurring in the building structures at the second calculation stage

№	Наименование	N_1, kN/m	N_2, kN/m	Q_{12}, kN/m	Q_{23}, kN/m	Q_{13}, kN/m	M_{11}, kN*m	M_{22}, kN*m	N, kN	M_2, kN*m	
1	Фундаментная плита	25.28	17.23	56.15	899.0	772.0	271.4	278.4	-	-	
		-94.15	-67.15	-48.26	-831.5	-1145	-100.5	-83.23			
2	Колонны	-	-	-	-	-	-	-	26.87	-	
									-457.7		
3	Балки	-	-	-	-	-	-	-	-	86.83	
										-53.44	



This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

Рис. 12 – Изменение максимальных и минимальных значений усилий в конструкциях здания между первым и вторым этапом эксперимента
Fig. 12 – Changes in the maximum and minimum value of forces in building structures comparing the first and second stages of the experiment

Согласно результатам расчета второй стадии – устройство буронабивных свай, дополнительная осадка фундаментной плиты составила - u_z=-0.00355мм (+12.3%), что не является критичным для данной конструкции и находится в рамках рекомендаций действующих норм. В связи с тем, что здание стремиться наклониться вперед происходит незначительное перераспределение усилий, максимальное изменение наблюдается в балках здания – момент в пролете увеличился на 24 %. Вследствие того, что изначальные усилия были не большими, приращение в 24% также не является критическим для такой конструкции, однако при реальном проектировании и приложении всех действующих нагрузок, а также сейсмических – приращение в 24 % может быть существенным. В рамках данного эксперимента нагрузки, действующие на здание, были сведены к минимумы, и поэтому необходимо учитывать прирост в процентном соотношении.

На третьем этапе (выемка грунта котлована) эксперимента были определены дополнительные перемещения фундаментной плиты по оси Z. Проанализированы изменения усилий, возникающие в фундаментной плите, колоннах и балках от выемки грунта котлована на высоту – 5 м.

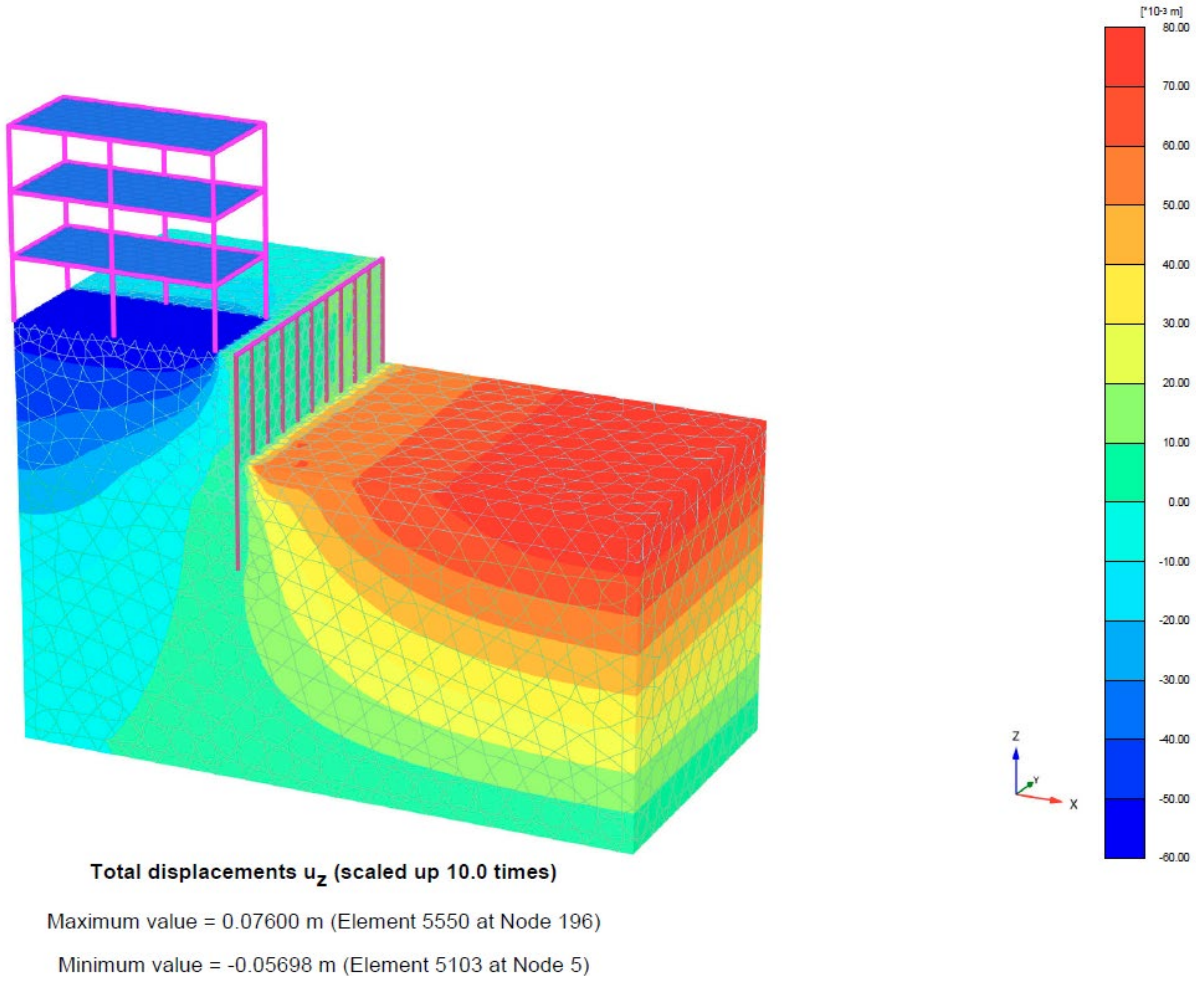


Рис. 13 – Максимальные перемещения расчетной модели (стадия выемки грунта) по оси Z
Fig. 13 – Total displacement of design model (excavation stage) Z-direction

Дополнительное перемещение фундаментной плиты по оси Z от устройства котлована высотой 5 м составило u_z=-0.02457мм (+43.12%). На рисунках ниже представлены усилия в конструкциях здания, возникающие при устройстве противооползневых мероприятий.

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

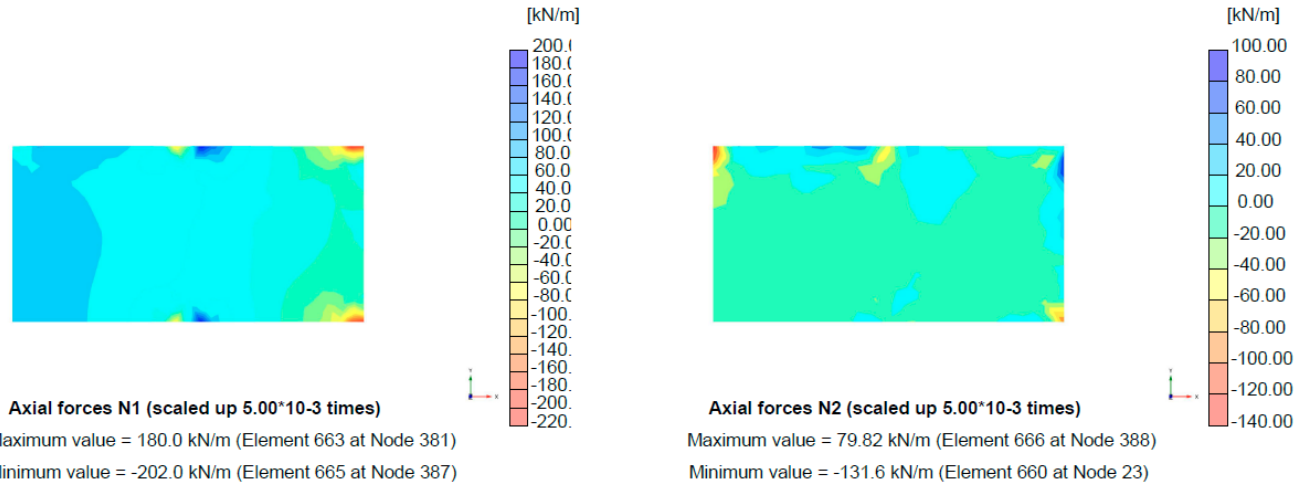


Рис. 14 – Нормальные усилия N_2 и N_1
Fig. 14 – Normal forces N_2 and N_1

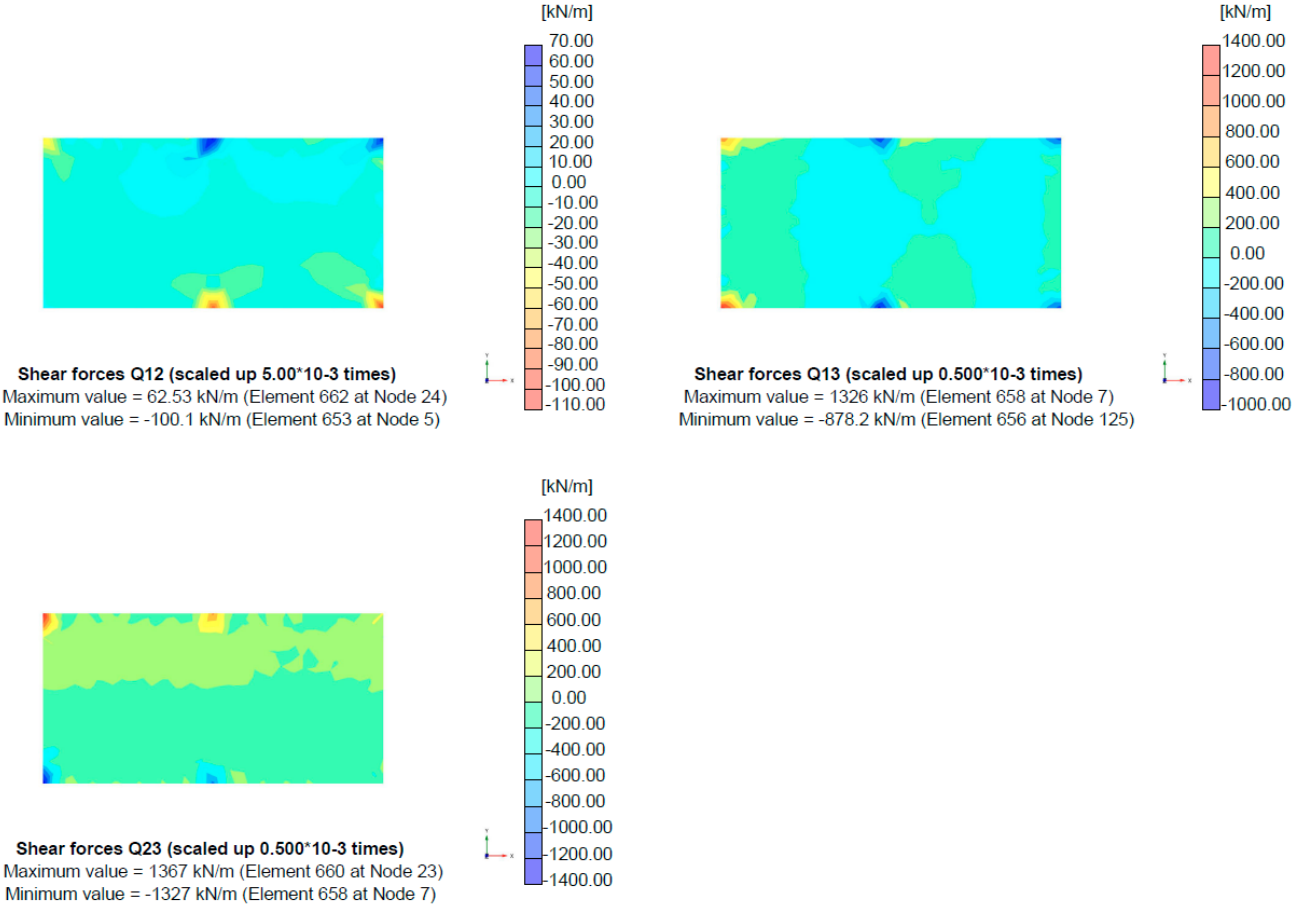


Рис. 15 – Сдвигающие усилия Q_{12}, Q_{23}, Q_{13}
Fig. 15 – Shear forces Q_{12}, Q_{23}, Q_{13}

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

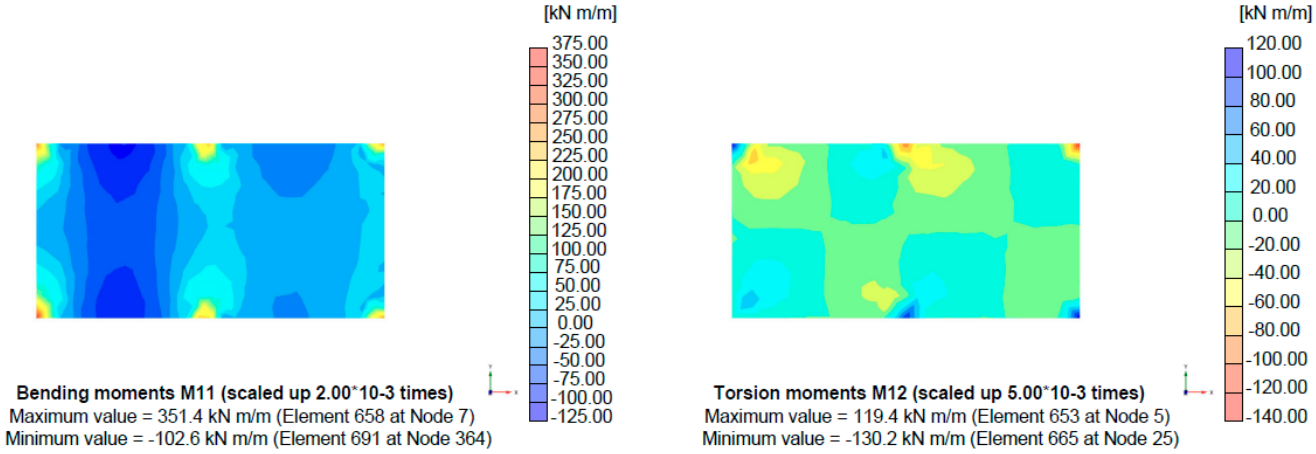


Рис. 16 – Изгибающие моменты M_{11}, M_{22}
Fig. 1. – Bending moments M_{11}, M_{22}

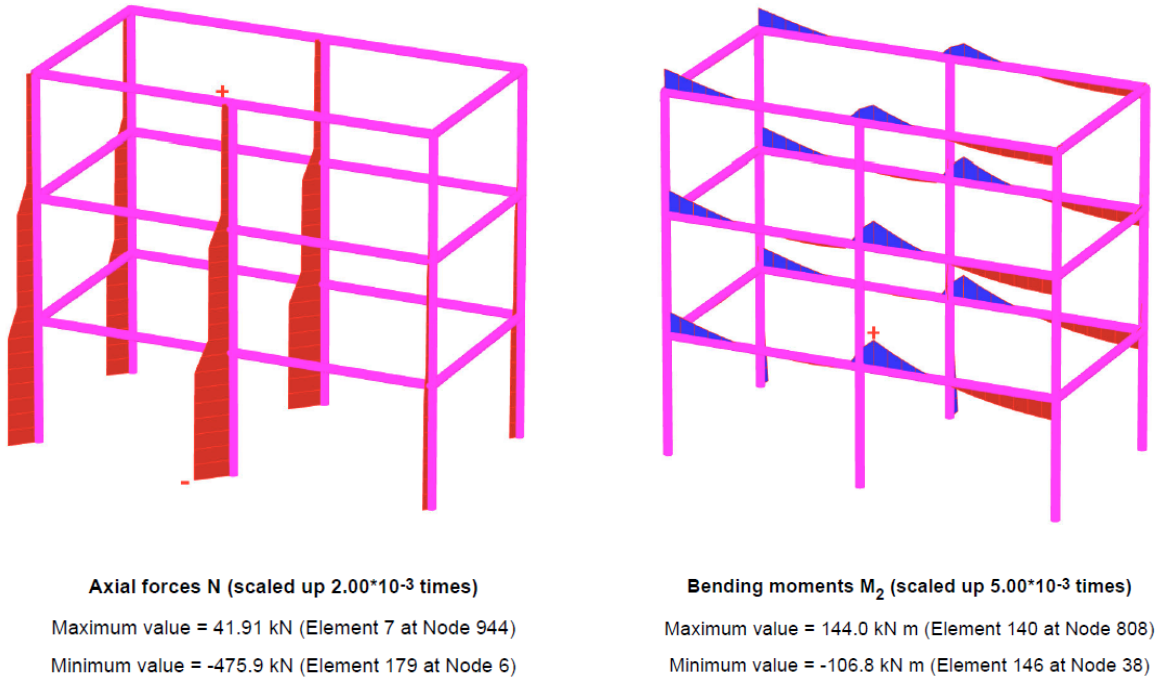


Рис. 17 – Нормальные усилия N в колоннах, изгибающий момент M_2 в балках
Fig. 17 – Normal forces N in columns, bending moment M_2 in beams

Таблица 3. Усилия, возникающие в конструкциях здания на третьей стадии расчета
Table 3. Forces occurring in building structures at the second calculation stage

№	Наименование	N_1, kN/m	N_2, kN/m	Q_{12}, kN/m	Q_{23}, kN/m	Q_{13}, kN/m	M_{11}, kN*m	M_{22}, kN*m	N, kN	M_2, kN*m
1	Фундаментная плита	180.0	79.82	62.53	1367.0	1326.0	351.4	386.0	-	-
		-202.0	-131.6	-100.1	-1327	-878.2	-102.6	-99.55		
2	Колонны	-	-	-	-	-	-	-	41.91	-
									-475.9	
3	Балки	-	-	-	-	-	-	-	-	144.0
										-106.8

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

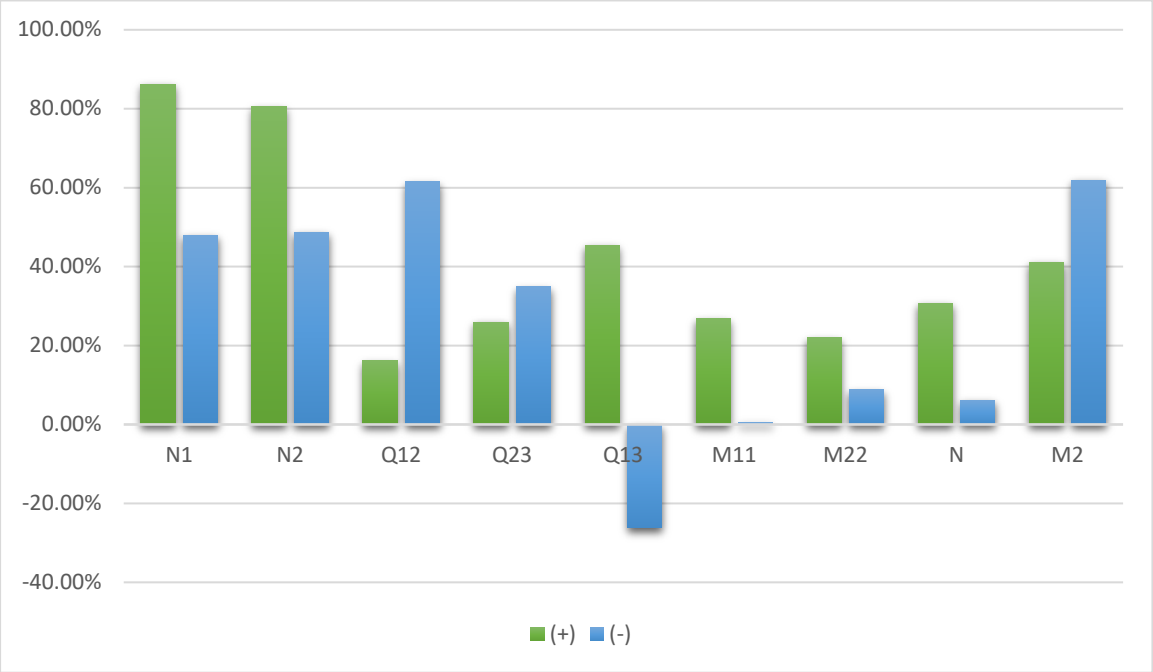


Рис. 18 – Изменение максимальных и минимальных значений усилий в конструкциях здания между первым и третьим этапом эксперимента
Fig. 18 – Changes in the maximum and minimum value of forces in building structures comparing the first and third stages of the experiment

Согласно результатам расчета третьего этапа – срез грунта, дополнительная осадка фундаментной плиты составила - u_z=-0.02457мм (+43.12%). Перемещение оголовка свай по X составило u_x=0.06095 м.

Максимальное изменение усилий в конструкциях здания после среза грунта высотой 5 м составило +86.2 % - нормальное усилие N_1, +80.48 % - нормальное усилие N_2. Прирост сдвигающих усилий составил - +61.5 %, + 45.38 %, + 34.91% соответственно для Q_{12}, Q_{13}, Q_{23}. Несущественным оказался прирост изгибающих моментов в фундаментной плите M_{11} и M_{22}.

В колоннах здания увеличение усилия составило +30.7 %. По результатам первой стадии расчета самые нагруженные были первые 2 ряда колонн, однако после выполнения третьего этапа имело место перераспределение усилий в колоннах. Так более нагруженные стали последние 2 ряда колонн, когда усилие в первом ряду колонн сократилось.

В балках, расположенных по периметру здания наблюдается увеличение момента в пролете на +62%, на опоре - +41%.

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

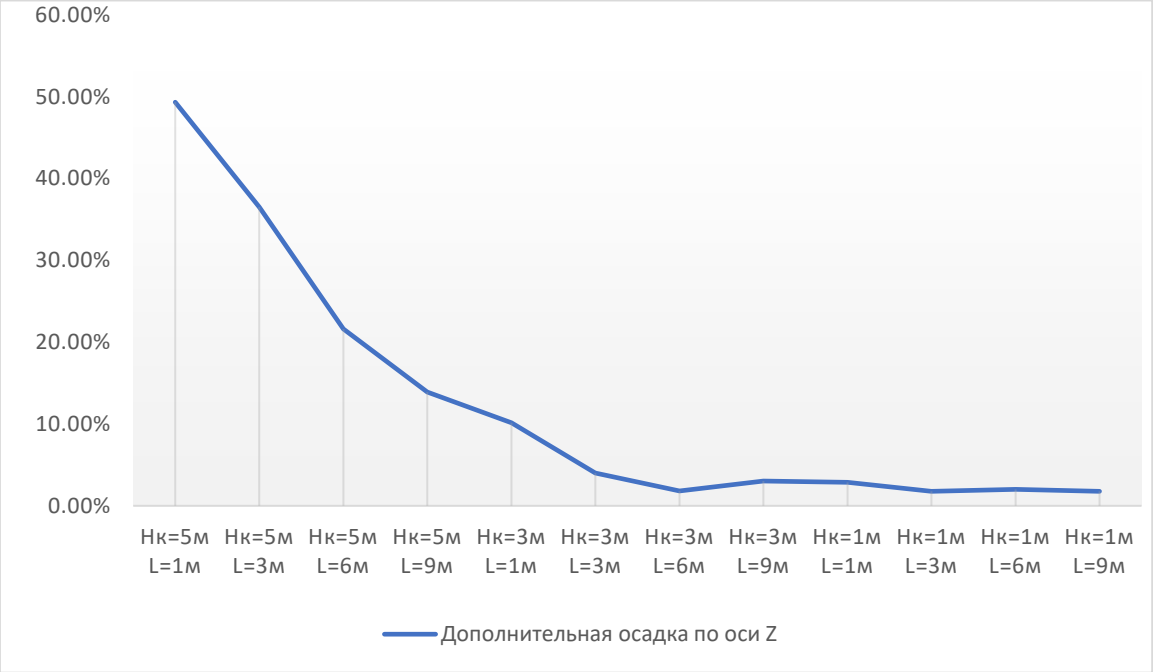


Рис. 19 – Изменение дополнительного перемещения фундаментной плиты по оси Z в зависимости от высоты подпора грунта (Нк) и расстоянию от здания до подпорной стеной (L)
Fig. 19 – Changes in the additional displacement of the foundation slab Z – direction depending on the height of earth- retaining wall (Нк) and distance between the building itself and retaining wall (L)

Результаты расчета различных вариантов устройства подпорной стены показаны на рис. 19. Согласно представленному графику при высоте подпора грунта $H_к$ менее 3-х метров и расстоянию между зданием и подпорной L стеной более 3-х метров дополнительная осадка фундамента здания составила менее 10 %, что не является критичным для данного типа конструкции.

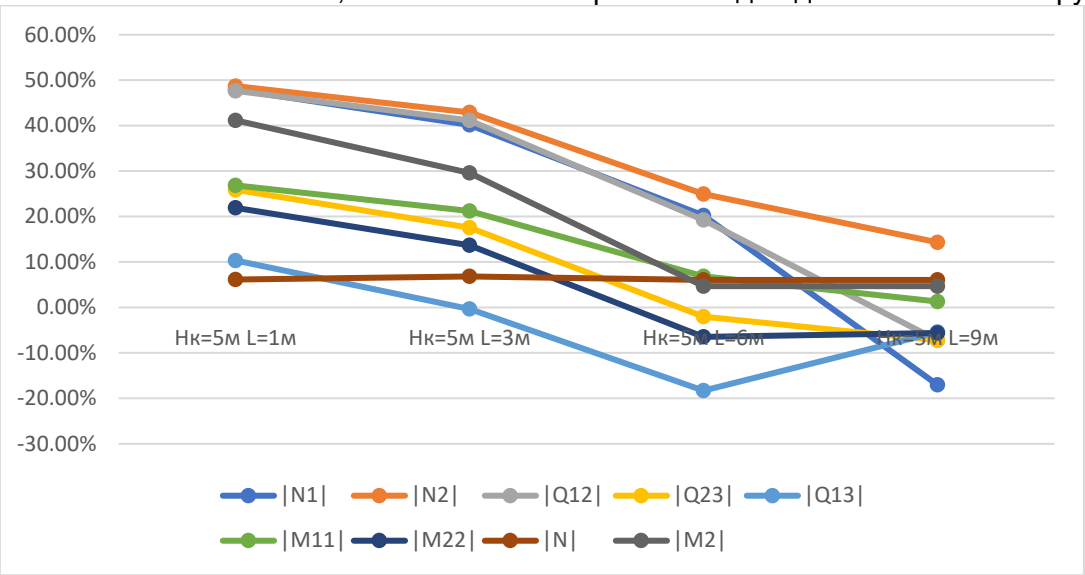


Рис. 20 – Изменение максимальных усилий в конструкциях здания при высоте подпора грунта $H_к$=5м и расстоянии между зданием и подпорной стеной L = 1м, L = 3м, L = 6м, L = 9м
Fig. 20 – Changes in the maximum force values in building structures at the height of earth-retaining wall $H_к$=5м and distance between the building and retaining wall L = 1м, L = 3м, L = 6м, L = 9м

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

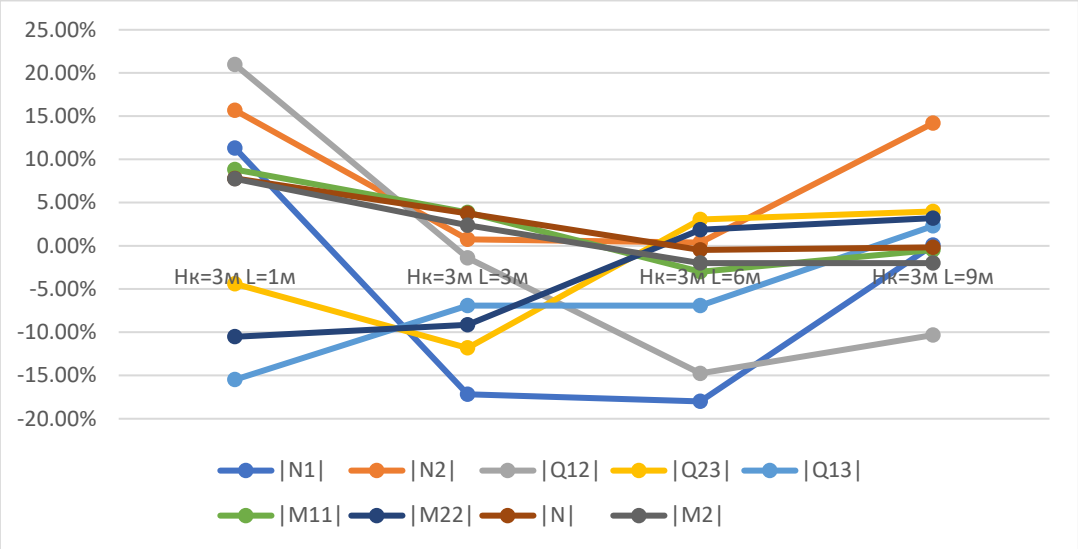


Рис. 21 – Изменение максимальных усилий в конструкциях здания при высоте подпора грунта $H_к$=3м, расстоянию между зданием и подпорной стеной L = 1м, L = 3м, L = 6м, L = 9м
Fig. 21 – Changes in the maximum force values in building structures at the height of earth-retaining wall $H_к$=3м and distance between the building and retaining wall L = 1м, L = 3м, L = 6м, L = 9м

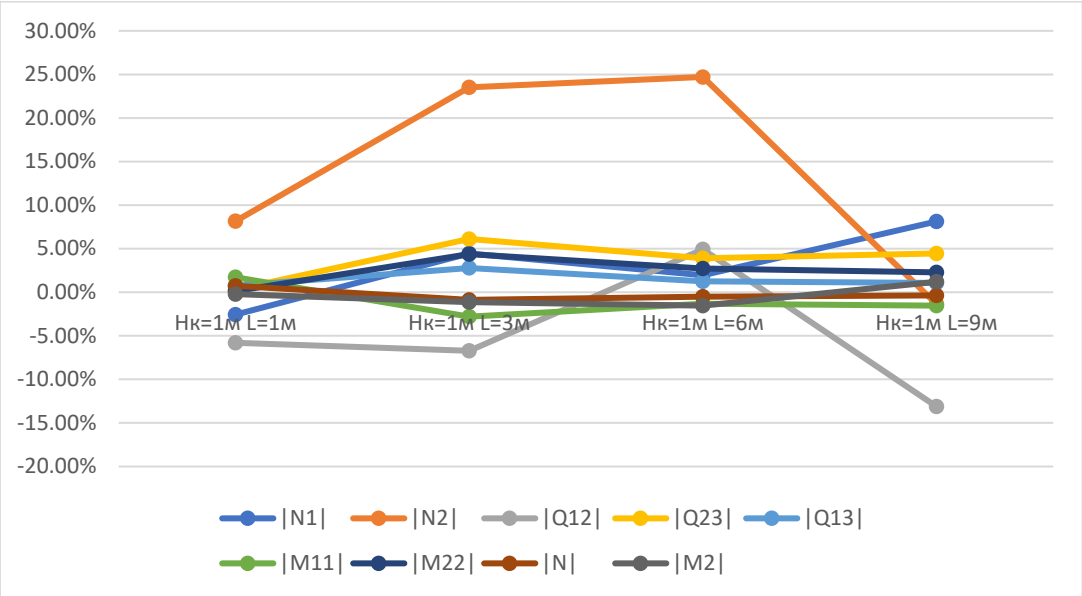


Рис. 22 – Изменение максимальных усилий в конструкциях здания при высоте подпора грунта $H_к$=1м, расстоянию между зданием и подпорной стеной L = 1м, L = 3м, L = 6м, L = 9м
Fig. 22 – Changes in the maximum force values in building structures at the height of earth-retaining wall $H_к$=1м and distance between the building and retaining wall L = 1м, L = 3м, L = 6м, L = 9м

4 Conclusions

1. Строительство подпорной стены вблизи существующего здания приводит к значительному увеличению осадки фундаментной плиты, а также увеличению максимальных усилий, действующих в конструкциях здания. В отдельных случаях увеличение усилий составило более 80%. Учитывая тот факт, что изначально здание не было рассчитано на такие нагрузки, строительство подпорной стены и устройство откоса без учета влияния на существующую застройку может привести к значительному материальному и другим видам ущерба.

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

2. Влияние, оказываемое подпорной стеной, в большей степени зависит от инженерно-геологических условий площадки строительства, высоты подпора грунта и расстоянию между удерживающим сооружением и существующим зданием.
3. На основании результатов эксперимента было выявлено, что при высоте подпорной стены H_k <3м и при расстоянии L>3м прирост усилий в конструкциях здания не превышает 10 %, что не является критическим для данного типа сооружений. При большей высоте подпора грунта и меньшему расстоянию до здания необходимо учитывать дополнительные усилия, возникающие в конструкциях существующей застройки.

References

1. Demenkov, P. A., Goldobina, L. A., & Trushko, O. v. (2018). Method for forecast of surface deformation during excavation operations in restraint urban conditions using the slurry trench technique. Journal of Mining Institute, 233. https://doi.org/10.31897/pmi.2018.5.480.
2. Ponomarev, A., Kaloshina, S., Zakharov, A., Bezgodov, M., Shenkman, R., & Zolotozubov, D. (2014). Results of geotechnical modelling of influence of the device of the deep ditch on existing building. PNRPU Construction and Architecture Bulletin, 4. https://doi.org/10.15593/2224-9826/2014.4.18.
3. Huang, M., Liu, X. rong, Zhang, N. yang, & Shen, Q. wei. (2017). Calculation of foundation pit deformation caused by deep excavation considering influence of loading and unloading. Journal of Central South University, 24(9). https://doi.org/10.1007/s11771-017-3625-3.
4. Zhang, W., & Liu, H. (2022). Protection of Adjacent Infrastructures. In Design of Deep Braced Excavation and Earth Retaining Systems Under Complex Built Environment. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5320-9_9.
5. Dmochowski, G., & Szolomicki, J. (2021). Technical and structural problems related to the interaction between a deep excavation and adjacent existing buildings. Applied Sciences (Switzerland), 11(2). https://doi.org/10.3390/app11020481.
6. Kullingsjö, A. (2009). Effects of deep excavations in soft clay on the immediate surroundings. Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: The Academia and Practice of Geotechnical Engineering, 3. https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-1923.
7. Liu, N. W., Liang, Y. Y., Yu, F., Fang, K., Gong, X. N., & Chen, Y. T. (2021). Estimation of building damage caused by adjacent deep excavation in clay. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering, 174(4). https://doi.org/10.1680/jgeen.19.00097.
8. Huynh, Q. T., Lai, V. Q., Boonyatee, T., & Keawsawasvong, S. (2021). Behavior of a Deep Excavation and Damages on Adjacent Buildings: a Case Study in Vietnam. Transportation Infrastructure Geotechnology, 8(3). https://doi.org/10.1007/s40515-020-00142-7.
9. Ou, C. Y., Liao, J. T., & Cheng, W. L. (2000). Building response and ground movements induced by a deep excavation. Geotechnique, 50(3). https://doi.org/10.1680/geot.2000.50.3.209.
10. Rybak, J., Ivannikov, A., Kulikova, E., & Żyrek, T. (2018). Deep excavation in urban areas-defects of surrounding buildings at various stages of construction. MATEC Web of Conferences, 146. https://doi.org/10.1051/matecconf/201814602012.
11. Bovolenta, R., & Brencich, A. (2021). Effect of deep excavations and deformable retaining structures on neighboring buildings: A case study. Engineering Failure Analysis, 122. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105269.
12. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures. M., 2016. URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206 (date of application 18.12.2023).
13. Fok, P., Neo, B. H., Goh, K. H., & Wen, D. (2012). Assessing the impact of excavation-induced movements on adjacent buildings. IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering, 5(3). https://doi.org/10.1080/19373260.2012.696444.
14. Capraru, C., & Adam, D. (2014). Evaluating the influence of deep excavations on neighboring buildings by numerical analysis. Numerical Methods in Geotechnical Engineering - Proceedings of the 8th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, NUMGE 2014, 2. https://doi.org/10.1201/b17017-131.
15. Capraru, C., Adam, D., Hoffmann, J., & Pelzl, M. (2014). Numerical analysis of deep excavations and prediction of their influence on neighboring buildings. Numerical Methods in

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

Geotechnical Engineering - Proceedings of the 8th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, NUMGE 2014, 2. https://doi.org/10.1201/b17017-132.
16. Castaldo, P., Calvello, M., & Palazzo, B. (2014). Structural safety of existing buildings near deep excavations. International Journal of Structural Engineering, 5(2). https://doi.org/10.1504/IJSTRUCTE.2014.060907.
17. Huang, X., Schweiger, H. F., & Huang, H. (2013). Influence of Deep Excavations on Nearby Existing Tunnels. International Journal of Geomechanics, 13(2). https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0000188.
18. Bryson, L. S., & Kotheimer, M. J. (2011). Cracking in Walls of a Building Adjacent to a Deep Excavation. Journal of Performance of Constructed Facilities, 25(6). https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000185.
19. Siemińska-Lewandowska, A., & Mitew-Czajewska, M. (2009). The effect of deep excavation on surrounding ground and nearby structures. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground - Proceedings of the 6th International Symposium, IS-SHANGHAI 2008. https://doi.org/10.1201/9780203879986.ch21.
20. Goh, K. H., & Mair, R. J. (2011). Building damage assessment for deep excavations in Singapore and the influence of building stiffness. Geotechnical Engineering, 42(3). URL: https://www.researchgate.net/publication/266461401_Building_Damage_Assessment_for_Deep_Excavations_in_Singapore_and_The_Influence_of_Building_Stiffness (date of application: 24.12.2023).
21. Halim, D., & Sin, W. K. (2013). Prediction Of Ground Settlement And Building Damage Due To Deep Excavation. https://doi.org/10.3850/978-981-07-4948-4_112.
22. Dyakov I.M., & Ignatenko N.A. (2014). Study of the influence of local damage to retaining walls on the performance of a pile foundation of a building located near a retained soil slope. Construction and industrial safety, (52), 47-54. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-lokalnyh-povrezhdeniya-podpornyh-sten-na-rabotu-svaynogo-fundamenta-zdaniya-raspolozhennogo-vblizi (date of application: 25.12.2023).
23. Mirsayapov, I. T., & Aysin, N. N. (2022). Assessment of the deep excavation effect on additional settlement of surrounding buildings. News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, 3. https://doi.org/10.52409/20731523_2022_3_6.
24. Yang, Q. R., Li, M. G., & Chen, J. J. (2022). Influence of a Flexible Retaining Wall on Performance of an Adjacent Deep Excavation. KSCE Journal of Civil Engineering, 26(2). https://doi.org/10.1007/s12205-021-0762-x.
25. Ruchkivskyi, V. v. (2017). Influence of distance between a retaining wall and the existing building on stress-strain state of the system «retaining structures – soil massif». Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2(49). https://doi.org/10.26906/znp.2017.49.837.
26. Li, H., Tang, Y., Liao, S., & Shen, M. (2021). Structural Response and Preservation of Historic Buildings Adjacent to Oversized Deep Excavation. Journal of Performance of Constructed Facilities, 35(6). https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001676.
27. Chen, J., Mo, H., & Liu, S. (2012). Evaluation on effect of building settlement due to adjacent deep excavation. Applied Mechanics and Materials, 170–173. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.170-173.637.
28. Fan, F., Chen, J. J., Zhang, H. B., & Wang, J. H. (2015). Simplified method to predict settlements of adjacent buildings due to deep excavation. Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 37. https://doi.org/10.11779/CJGE2015S2013.
29. Egorova E.S., Ioskevich A.V., Ioskevich V.V., Agishev K.N., Kozhevnikov V.Yu. Soil model implemented in the software packages SCAD Office and Plaxis 3D. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 3 (42), Pp. 31-60. URL: https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2016/3(42)/3_egorova_42.pdf (date of application: 23.12.2023).
30. Plaxis CE V20 Material Models Manual. URL: https://www.plaxis.ru/support/manual_supplement/