

УДК 624.15

М. А. Степанов, Л. А. Бартоломей

Тюменский индустриальный университет

АКТУАЛЬНОСТЬ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ В ВОПРОСЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ЖИЛОГО ДОМА ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК

Рассмотрена актуальность проведения своевременного геотехнического мониторинга зданий и сооружений в рамках «Стратегии развития строительной отрасли». Представлены результаты проведения работ по научно-техническому сопровождению восстановления работоспособного состояния жилого дома в г. Надыме, получившего значительные неравномерные деформации. В статье рассмотрены вопросы верификации расчетной модели объекта, позволяющей учитывать напряженно-деформированное состояние системы «основания — фундамент — здание», а также анализ вариантов усиления основания, обеспечивающих механическую безопасность здания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фундамент, основание, механическая безопасность, неравномерные деформации, геотехнический мониторинг, численное моделирование, научно-техническое сопровождение, усиление.

Введение: актуальность проведения геотехнического мониторинга

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений в Российской Федерации в настоящее время ведется, главным образом, в сложных инженерно-геологических условиях [1—9]. При этом перед строительной отраслью поставлены непростые и амбициозные цели и задачи. В соответствии с утвержденной «Стратегией развития до 2030 года...» к ним относится¹ создание условий:

- для преодоления последствий кризисных явлений за счет строительной отрасли как основы для восстановления экономики;
- комплексного обновления населенных пунктов и повышения качества жизни граждан;
- вовлечения в хозяйственный оборот ранее не задействованных для строительства земельных участков, повышения эффективности использования земельных участков, предназначенных для строительства;
- обеспечения населения жильем к 2030 г. на уровне не менее 33,3 м² на 1 чел.;
- минимизации негативного воздействия строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства на окружающую среду.

В связи с этим для обеспечения требований устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда, включающего в себя ветхое и аварийное жилье, значительное количество недостроенных сооружений, особо важны вопросы проведения мониторинга технического состояния зданий и

¹ Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 31.10.2022 N 3268-п. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAm.pdf>.

сооружений, а также восстановления и поддержания их работоспособного состояния в случае необходимости [1—18].

Геотехнический мониторинг представляет собой комплекс мероприятий, направленных на обеспечение работоспособного состояния зданий, сооружений и окружающей застройки в процессе строительства и эксплуатации [5, 8, 10, 19, 20]. Причинами, по которым может реализоваться переход объектов в ограниченно-работоспособное или аварийное состояние, происходят их деформации [2, 7, 9, 21], являются:

- недостатки инженерно-геологических изысканий — неполный их объем, низкие достоверность и применимость результатов;
- ошибки при проектировании оснований и фундаментов;
- неправильный выбор и выполнение технологии производства работ;
- негативные воздействия на основания в процессе эксплуатации;
- эволюция инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительной площадки.

В большинстве случаев аварии происходят из-за совокупности нескольких факторов, которые совместным воздействием исчерпывают запас прочности строительных конструкций и приводят их к аварийному состоянию.

1. Анализ эффективности проведения геотехнического мониторинга на примере жилого дома

В рамках данной статьи анализ эффективности геотехнического мониторинга и научно-технического сопровождения проводится на примере девятиэтажного жилого многоквартирного дома, расположенного в г. Надыме (рис. 1). В процессе эксплуатации здание претерпело значительные деформации, выражающиеся в многочисленных трещинах шириной раскрытия до 80 мм и сверхнормативных средних и неравномерных осадках. Таким образом, возникли вопросы по устранению аварийного состояния и восстановлению объекта.



Рис. 1. Общий вид здания

Здание представляет собой четыре блок-секции (рис. 2), каждая из которых является симметричной регулярной конструктивной системой вертикальных элементов и панельных вставок с приставными к объемным блокам стеновыми панелями и опирающимися на них плитами перекрытия, объединенных между собой в единую жесткую пространственную систему.

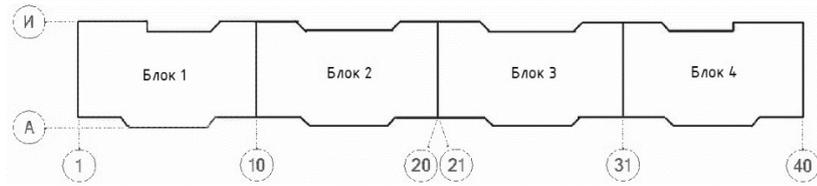


Рис. 2. Общая схема блокировки здания

Рельеф местности — равнинный, с незначительным понижением в сторону озера Янтарного, расположенного в 150 м юго-западнее (рис. 3).



Рис. 3. Схема расположения исследуемого объекта²

Основание представлено преимущественно песками мелкими и средней крупности, маловлажными и водонасыщенными, средней плотности. На глубине 5,0...6,0 м имеется прослой торфа мощностью 0,3...0,5 м. На глубине 18...25 м встречаются глины от тугопластичной до мягкопластичной консистенции. При проведении контрольных изысканий грунтовые воды на участке зафиксированы на глубине 2,5...4,5 м.

Геотехническая категория здания — 2 (средняя). Фундамент выполнен в виде железобетонной монолитной плиты толщиной 500 мм.

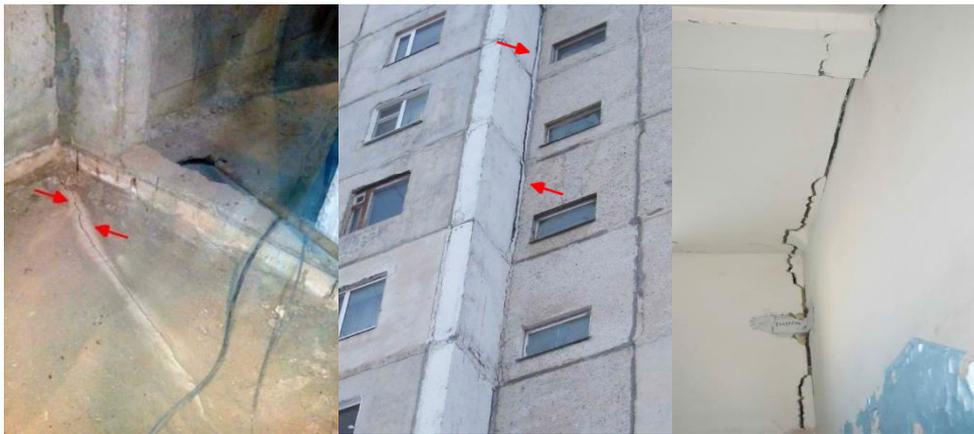
По состоянию на 2018 г. установлен переход 4-го блока здания в аварийное состояние:

- в теле фундамента — сквозные трещины, ширина раскрытий которых в процессе эксплуатации здания увеличивалась до 11 мм (рис. 4);
- в ходе геотехнического мониторинга зафиксированы сверхнормативные осадки, максимальные значения которых достигли 14 см;
- в лестнично-лифтовом узле 4 — смещения стеновых панелей из проектного положения с образованием трещин, максимальные значения которых превысили предельно допустимые и составили 8,0...8,3 мм;
- нарушено опирание плит покрытия;
- имеются смещения, перекосы и расстыковка, выпучивание стеновых панелей в плоскости и из плоскости стен с образованием трещин между панелями и в местах сопряжений наружных и внутренних стен;
- прочие дефекты.

² Яндекс-карты. URL: https://yandex.ru/maps/11229/nadym/house/naberezhnaya_orudzheva_34.

Во всех четырех блоках обнаружено повсеместное смещение стеновых панелей из проектного положения. Отклонение от вертикали изменяется от 1 до 8,3 см.

Необходимо, контролируя ситуацию за счет проведения геотехнического мониторинга и разработанных на его основании временных противоаварийных мероприятий, выполнить научно-техническое сопровождение работ по восстановлению работоспособного состояния объекта, не допустив его разрушения [8, 16, 21]. На фасадах закреплены до 50 деформационных марок, также установлены осадочные марки [13, 22].



Сквозные трещины в теле фундамента четвертого блока шириной раскрытия до 11 мм

Трещины в межпанельных швах шириной раскрытия до 80 мм в четвертом блоке в осях 37/Ж-И

Трещина в стыке стеновых панелей и примыкания лестничной площадки к стене в блоке № 4 шириной раскрытия до 50 мм

Рис. 4. Основные дефекты исследуемого объекта

2. Вопросы верификации расчетной модели жилого дома для оценки актуального напряженно-деформированного состояния основания и конструкций здания

В дополнение к выполняемому мониторингу проведены численные исследования причин возникновения неравномерных деформаций для установления действительного напряженно-деформированного состояния (НДС) как конструкций объекта (надземных и подземных), так и его основания. Важно было максимально верифицировать численную модель здания для анализа наиболее эффективного варианта восстановления его работоспособного состояния.

Численные исследования возникновения причин перехода здания в аварийное состояние выполнялись в нескольких программных продуктах с применением различных расчетных моделей:

- с использованием коэффициента постели C_1 , рассчитанного с учетом итераций по модели Винклера-Фусса (LIRAsoft);
- с использованием упругопластической модели грунта Mohr-Coulomb (MIDAS GTS NX) (рис. 5, 6).

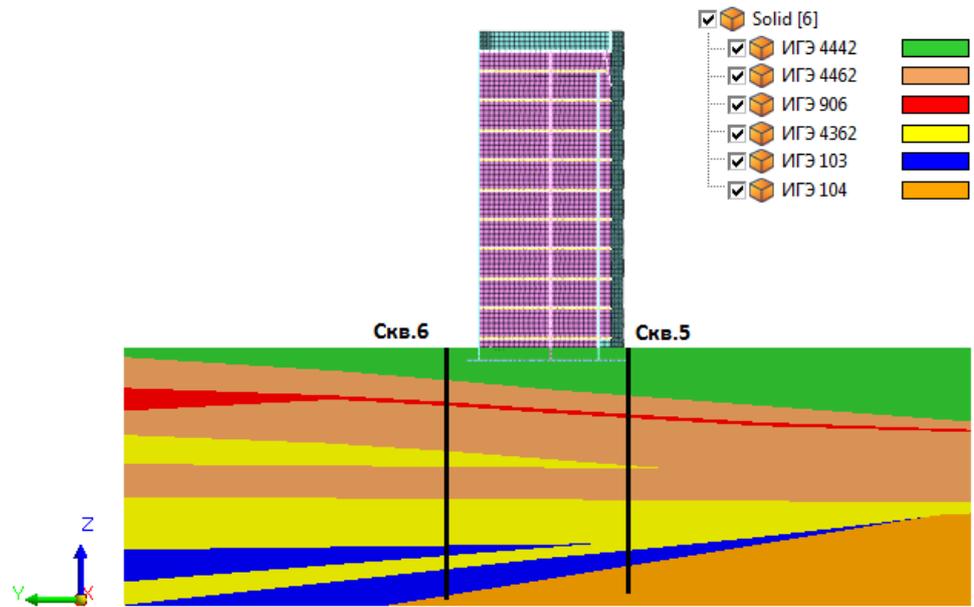


Рис. 5. Инженерно-геологический разрез в MIDAS GTS NX

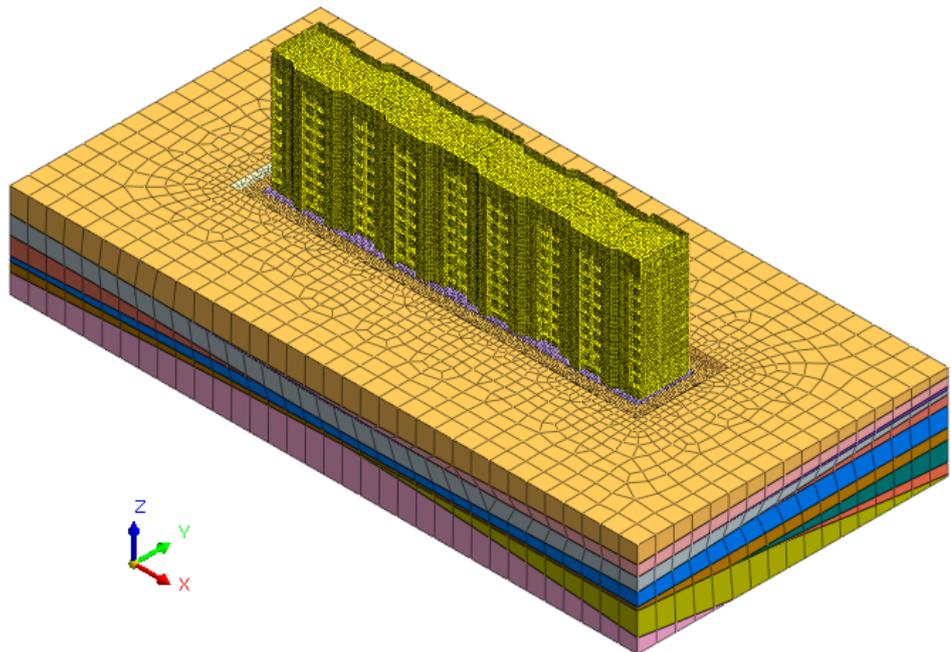


Рис. 6. Общая модель взаимодействия системы
«основание — фундамент — здание»

В процессе анализа и верификации модели выполнялся реэкспорт из одной модели в другую. Расчеты взаимодействия системы «основание — фундамент — здание» проводились поэтапно с учетом последовательности и технологии производства работ:

- 1) расчет напряжений от собственного веса грунта до начала работ по устройству котлована, фундамента и здания;
- 2) устройство котлована;
- 3) поэтажное возведение здания;
- 4) приложение действующих на здание нагрузок с учетом времени.

Результаты, полученные при численном моделировании, сопоставлялись с данными геотехнического мониторинга, при этом проводился сравнительный анализ значений вертикальных перемещений и деформаций.

Выполненные расчеты осадок здания с использованием упругопластической модели грунта Мора-Кулона позволили получить результаты, имеющие хорошую сходимость с данными мониторинга, для анализа изменений НДС системы «основание — фундамент — здание» расчетная модель экспортировалась обратно в LIRAsoft.

Итоговое отклонение полученных значений осадок после расчета модели, экспортированной из MIDAS GTS NX в LIRAsoft, по сравнению с данными геотехнического мониторинга составило около 1,7 % (рис. 7).

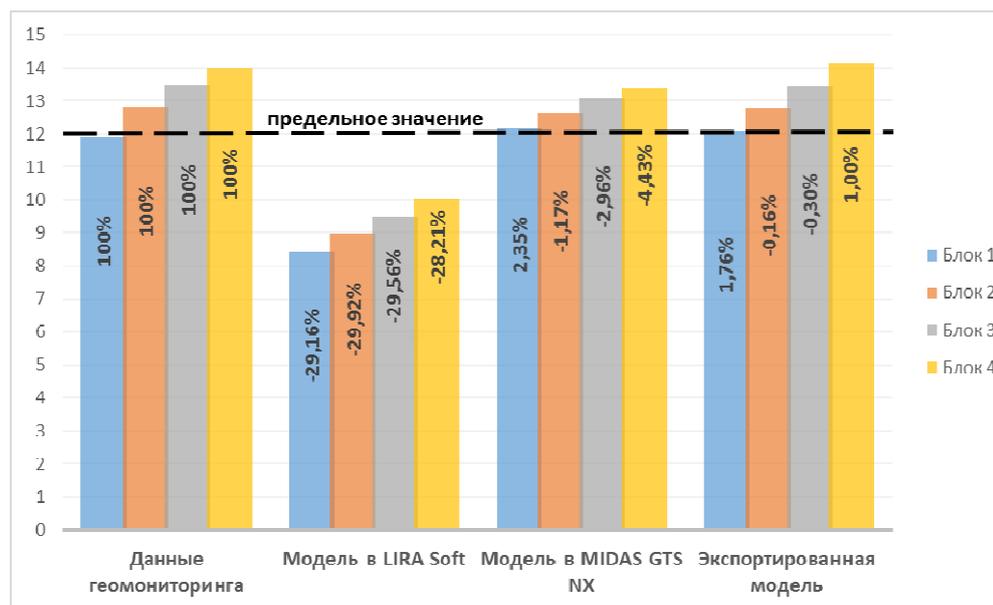


Рис. 7. Сводная гистограмма максимальных деформаций, полученных при расчете в различных программных комплексах

В результате численных исследований и анализа системы «здание — фундамент — основание» удалось учесть сложное напластование различных инженерно-геологических элементов с характерными физико-механическими свойствами, которое являлось причиной неравномерных деформаций грунтового основания (рис. 8).

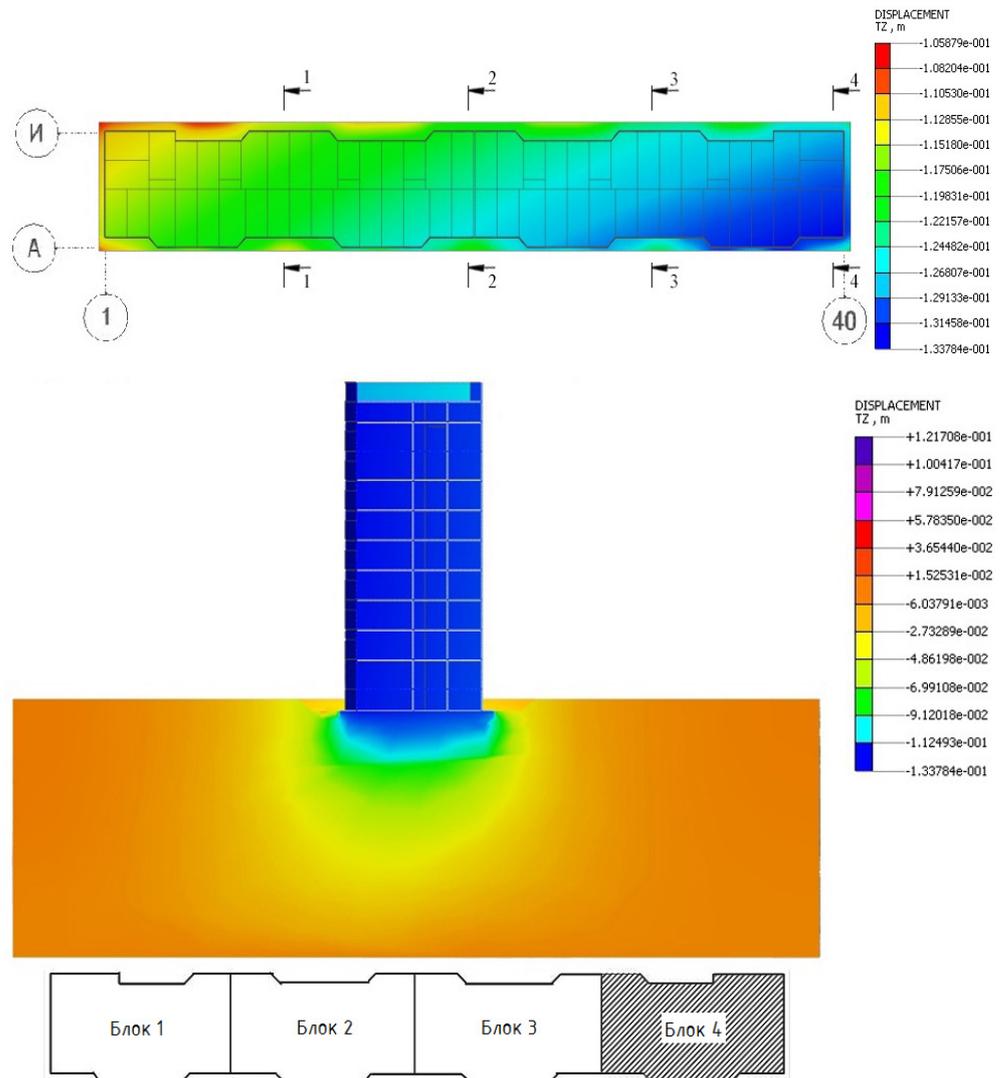


Рис. 8. Максимальные вертикальные перемещения здания и грунтов основания в четвертом блоке (разрез 4—4)

3. Результаты анализа и работы по усилению основания и восстановлению работоспособного технического состояния жилого дома

Для обеспечения стабилизации осадок заказчиком рассматривалось несколько вариантов усиления грунтового основания с помощью буроинъекционных технологий [3, 8], предлагаемых разными организациями.

С использованием ранее верифицированной модели (см. рис. 6) рассматривались и анализировались два предложенных варианта усиления грунтового основания:

- цементация по манжетной технологии;
- с помощью буроинъекционных свай типа «Атлант».

Заказчиком выбрана технология устройства буроинъекционных свай типа «Атлант» как наиболее экономически эффективная и целесообразная для

обеспечения стабилизации осадок и требований по деформациям на участке проведения работ.

Размещение свай усиления предполагалось по трем основным рассматриваемым схемам:

- в лестнично-лифтовом узле аварийного четвертого блока — 40 шт.;
- в четвертом блоке — 50 шт.;
- вдоль всего здания — 242 шт.

По результатам анализа установлено следующее (рис. 9):

- усиление сваями «Атлант» в лестнично-лифтовом узле четвертого блока приводит к снижению значения осадок в среднем на 1 %, которые все равно превышают нормативные;
- усиление сваями «Атлант» в четвертом блоке приводит к снижению значения осадок в среднем на 9,4 %;
- усиление сваями «Атлант» вдоль всего здания приводит к снижению значения осадок в среднем на 15,1 %.

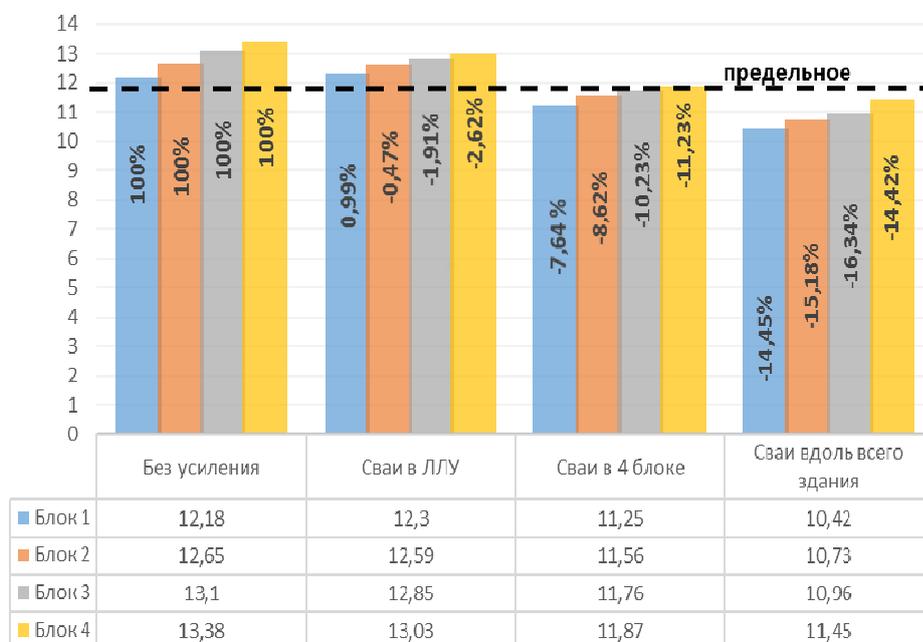


Рис. 9. Сводная гистограмма максимальных осадок различных вариантов усиления основания

Установлено, что вариант усиления грунтового основания буроинъекционными сваями типа «Атлант», которые расположены в четвертом блоке, является наиболее оптимальным и выгодным по совокупности двух факторов: требуемой механической безопасности и экономической эффективности (табл.).

Изменение вертикальных стабилизированных (конечных) перемещений здания и грунтов основания до усиления и после него приведены на рис. 10.

*Технико-экономические показатели сравниваемых вариантов усиления
грунтового основания*

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина показателя	
		Сваи в 4 блоке	Сваи вдоль всего здания
Сметная стоимость работ	тыс. руб.	3761,110	18203,767
Сметная трудоемкость	чел.-ч	1140,55	5520,26

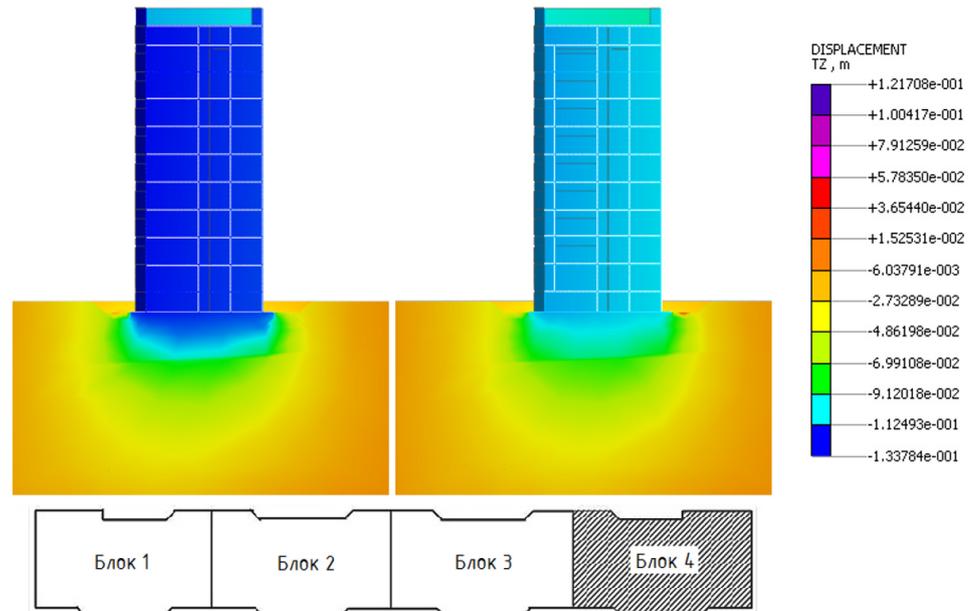


Рис. 10. Вертикальные перемещения здания и грунтов основания в четвертом блоке до (слева) и после усиления (справа)

Заключение

В настоящее время работы по усилению грунтового основания по предложенному в рамках научно-технического сопровождения варианту, а также работы по усилению надземных конструкций завершены. Деформации стабилизировались, помимо усиления выполнен ремонт мест общего пользования и квартир, здание эксплуатируется. Наблюдения продолжаются уже в рамках работы управляющей компании.

В целом, проведение мониторинга позволяет обеспечить как увеличение надежности и механической безопасности, представляя собой элемент профилактического контроля за состоянием объектов строительства и их эксплуатации (контроля по недопущению потери работоспособного технического состояния), так и обеспечить повышение экономической эффективности при выборе варианта проведения работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адищев В. В., Резник О. В. Анализ аварий зданий и мероприятия по их предотвращению // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 1. С. 261—264.

2. *Габуева В. А.* Инженерно-геологические изыскания и последствия отказа от них // StudNet. 2020. № 6. С. 439—443.
3. *Ильичев В. А., Никифорова Н. С., Готман Ю. А.* Обеспечение конструктивной безопасности объектов с подземной частью путем преобразования свойств грунтов (на примере Алабяно-Балтийского тоннеля в Москве) // ОФМГ. 2017. № 2. С. 35—39.
4. *Латидус А. А.* Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта // Вестник МГСУ. 2019. № 11(134). С. 1428—1437.
5. *Осокин А. И., Татаринцов С. В., Денисова О. О., Макарова Е. В.* Система геотехнического мониторинга как средство обеспечения безопасности строительства // Жилищное строительство. 2014. № 9. С. 10—18.
6. *Петрухин В. П., Шулятьев О. А., Мозгачева О. А.* Новые способы геотехнического проектирования и строительства: монография. М. : АСВ, 2015. 224 с.
7. *Пшеничкина В. А., Глухов А. В., Глухова С. Г.* Оценка безопасности конструкций общественного здания вероятностным методом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 23—32.
8. *Степанов М. А., Чернова А. Ю.* Актуальность проведения геотехнического мониторинга объектов строительства на примере города Тюмени // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. № 3(38). С. 78—84.
9. *Улицкий В. М., Шапкин А. Г.* Концепция геотехнического сопровождения строительства и реконструкции для новой редакции петербургских геотехнических норм // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2002. №5. С. 29—43.
10. *Рыкова В. В.* Геотехнический мониторинг: анализ информационных массивов зарубежных и российских баз данных // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 14(66). С. 155—164.
11. *Castagnetti C., Cosentini R. M., Lancellotta R., Capra A.* Geodetic monitoring and geotechnical analyses of subsidence induced settlements of historic structures // Structural Control and Health Monitoring. 2017. Vol. 24. Iss. 12. e2030.
12. *Cavalca E., Valletta A., Carri A., Savi R.* Monitoring of preconvergence deformations in a road tunnel: data analysis and validation // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 833. Iss. 1. Pp. 012199.
13. *Gryaznova E.* Geotechnical monitoring to ensure reliability of construction and operation of buildings and structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Iss. 5. 052014.
14. *Gudehus G., Touplikiotis A.* On the stability of geotechnical systems and its fractal progressive loss // Acta Geotechnica. 2018. Vol. 13. Iss. 2. Pp. 317—328.
15. *Pronozin Y. A., Kajgorodov M. D., Epifantseva L. R.* Structural safety of buildings in excess values of differential settlements // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Ekaterinburg. 2019. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/481/1/012013.
16. *Rahardjo P. P., Anggoro B. W.* The use of geotechnical instrumentation and cptu for investigation of geotechnical failures during construction in civil engineering projects // Lecture Notes in Civil Engineering. 6th International Conference on Civil, Offshore and Environmental Engineering. 2021. Vol. 132. Pp. 1098—1115.
17. *Stepanov M. A., Volosyuk D. V., Bartolomey L. A.* Geotechnical monitoring results of 22-storey buildings on combined strip pile foundations with prestressed soil bases // Journal of Physics. 2021. Vol. 1928. Iss. 1. 012027.
18. *Wang Z., Guo X., Wang C.* Field Monitoring Analysis of Construction Process of Deep Foundation Pit at Subway Station // Geotechnical and Geological Engineering. 2019. Vol. 37. Iss. 2. Pp. 549—559.
19. *Ye S., Li D.* Monitoring and simulation analysis of deep and large foundation pit excavation in complex environment Tumu Gongcheng Xuebao. China // Civil Engineering Journal. 2019. Vol. 52. Pp. 117—126.
20. *Golser J., Steiner W.* International and European standards for geotechnical monitoring and instrumentation // Geomechanik und Tunnelbau. 2021. Vol. 14. Iss. 1. Pp. 63—77.
21. *Воронкова Г. В., Катеринина С. Ю., Рекунов С. С., Чураков А. А.* Усиление железобетонных конструкций административно-бытового здания промышленного предприятия // Вест-

ник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 5—13.

22. Dorofeev N. V., Grecheneva A., Romanov R. V., Pankina E. S. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 873. Iss. 1. 012030.

© Степанов М. А., Бартоломей Л. А., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Степанов М. А., Бартоломей Л. А. Актуальность геотехнического сопровождения в вопросе восстановления работоспособного состояния жилого дома при развитии неравномерных осадок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 34—44. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_34.

Об авторах:

Степанов Максим Андреевич — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительного производства, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; maxim_stepanov@inbox.ru

Бартоломей Леонид Адольфович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительного производства, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; geotehnikaurala@yandex.ru

Maxim A. Stepanov, Leonid A. Bartolomey

Tyumen Industrial University

ACTUALITY OF GEOTECHNICAL SURVEY IN THE MATTER OF WORKING CONDITION RECOVERY OF THE BUILDING WITH THE DEVELOPMENT OF UNEVEN SETTLEMENT

The article discusses about the actuality of timely geotechnical monitoring of the buildings as part of the Construction Industry Development Strategy. Authors presents the results of work on scientific-technical support for the recovery of the working condition of a residential building in Nadym with significant uneven deformations. The article deals with the issues of verification of the object numerical model, which allows to take into account the stress-strain state of the “soil base — foundation — building” system, and presents the analysis of options for soil base and foundation strengthening, ensuring the mechanical safety of the building.

Key words: foundation, soil base, mechanical safety, uneven deformations, geotechnical monitoring, numerical modeling, scientific-technical support, reinforcement.

For citation:

Stepanov M. A., Bartolomey L. A. [Actuality of geotechnical survey in the matter of working condition recovery of the building with the development of uneven settlement]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 34—44. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_34.

About authors:

Maxim A. Stepanov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Tyumen Industrial University. 38, Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; maxim_stepanov@inbox.ru

Leonid A. Bartolomey — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tyumen Industrial University. 38, Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; geotehnikaurala@yandex.ru