

УДК 624.159.4

О.А. МАКОВЕЦКИЙ¹, канд. техн. наук, И.И. ХУСАИНОВ¹, инженер, С.С. ЗУЕВ², зам. ген. директора,
М.А. ТИМОФЕЕВ², руководитель представительства в Башкортостане

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

² ОАО «НЬЮ ГРАУНД» (614081, г. Пермь, ул. Кронштадская, 35)

Обеспечение геотехнической безопасности строящегося здания

Показано, что компьютерное моделирование геотехнической ситуации при строительстве объекта позволяет рассмотреть различные сценарии ее развития – от полностью негативного до благоприятного и определить при этом требуемые деформационные характеристики основания. Предлагаемый метод устройства «геомассива» при помощи армирования основания жесткими элементами по назначенной геометрической сетке позволяет получить на практике необходимую величину эффективного модуля деформации. Рассмотренный метод обеспечения геотехнической безопасности зданий и сооружений на грунтах с низкими деформационными характеристиками, положения проектирования, производства работ и контроля их качества являются одной из основных составляющих разрабатываемого в настоящее время технического регламента на применение технологии струйной цементации грунта.

Ключевые слова: механическая безопасность, геотехнический прогноз, геомассив, струйная цементация грунта.

O.A. MAKOVETSKY¹, Candidate of Sciences (Engineering), I.I. KHUSAINOV¹, engineer, S.S. ZUEV², Deputy General Director,
M.A. TIMOFEEV², Head of Representative Office in Bashkortostan

¹ Perm National Research Polytechnic University (15, Bukireva Street, 614990, Perm, Russian Federation)

² OAO «New Ground» (35, Kronshhtadskaya Street, Perm, Russian Federation)

Ensuring Geotechnical Safety of a Building under Construction

It is shown that the computer simulation of the geotechnical situation during the construction of an object makes it possible to consider various scenarios of its development, from completely negative up to favorable, and to determine required deformation characteristics of a base. The proposed method of arrangement of "geomassif" with the help of reinforcement of the base with rigid elements according to the geometric grid makes it possible to obtain, in practice, the necessary value of efficient deformation module. The considered method for ensuring the geotechnical safety of buildings and structures on soils with low deformation characteristics, propositions of designing, works execution, and their quality control are one of basic components of developed now technical regulations for the use of technique of jet grouting of soil.

Keywords: mechanical safety, geotechnical forecast, geomassif, jet grouting of soil.

Характеристика объекта. Максимальные габаритные размеры строящегося здания в г. Уфе (ул. Цюрюпы, 12) в плане – 112×34 м. Здание состоит из трех блоков: блок А и блок В – четырех и пятиэтажные с подвальным и цокольным этажами; блок Б – пятиэтажный с подвальным, цокольным и техническим этажами. Конструктивная схема – монолитный железобетонный каркас. Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой диафрагм жесткости, колонн и дисков перекрытий. Фундаменты блоков – монолитные железобетонные плиты толщиной 800 мм на бетонной подготовке 100 мм по слою щебня 100 мм.

Участок под строительство здания расположен в Кировском р-не г. Уфы в квартале, ограниченном улицами Пушкина, Цюрюпы, Заки Валиди, Новомостовая. Поверхность площадки ровная, с абсолютными отметками 154,2–154,8 м. В геоморфологическом отношении участок приурочен к верхней части восточного склона водораздела рек Белой и Сутолоки. Геолого-литологический разрез: насыпной грунт (глинистый грунт с включениями обломков кирпича, щебня). Мощность 1,5–2,7 м. Суглинок тугопластичный с прослоями супеси пластичной. Мощность 4,1–6,7 м. Глина тугопластичная. Мощность 1,8–4 м. Глина от тугопластич-

ной до полутвердой с единичными включениями мелкой кварцевой гальки. Вскрытая мощность 13,5 м. Площадка характеризуется наличием горизонта подземных вод. Водовмещающие грунты – насыпные и суглинки с прослоями супеси.

Геотехническая ситуация. Строительство здания начато в октябре 2012 г. Фундаменты выполнены в зимний период без требуемых мер по защите основания от промораживания. В результате по данным исследований (январь 2013 г.) установлен факт промораживания основания фундаментной плиты в осях 13–19 на 0,86 м и подъем поверхности подготовки на 14 см вследствие морозного пучения.

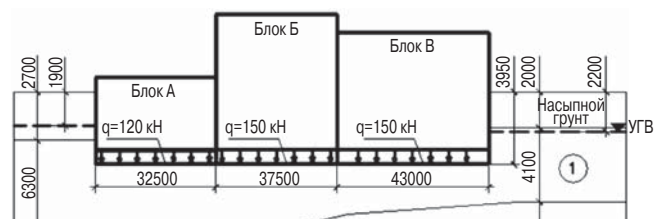


Рис. 1. Расчетная схема моделирования геотехнической ситуации

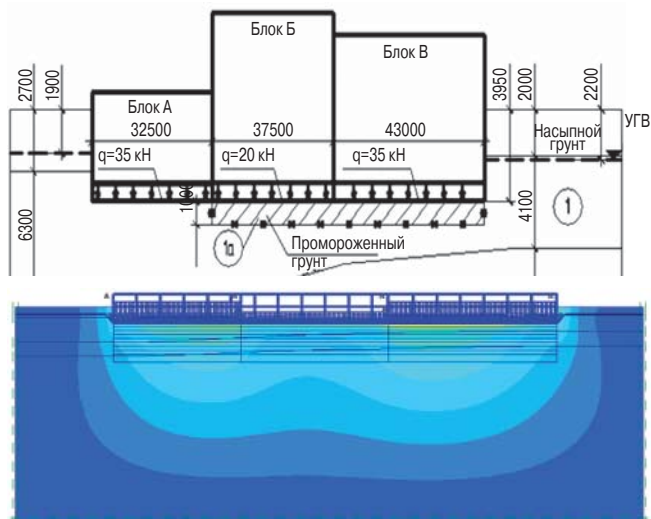


Рис. 2. Расчетная схема и изолинии вертикальных перемещений (2)

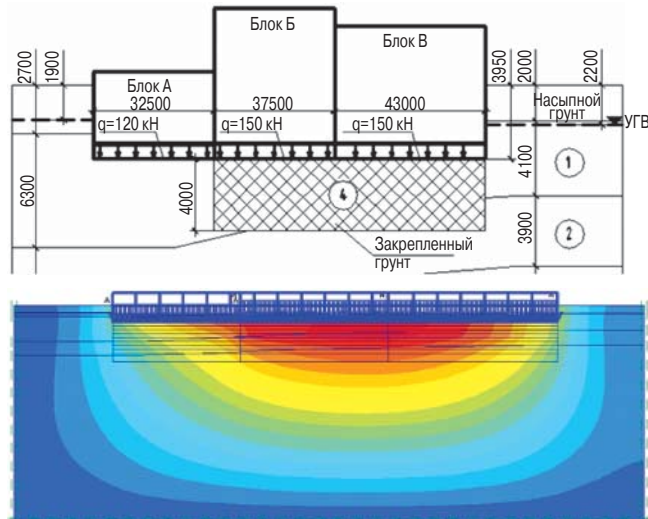


Рис. 3. Расчетная схема и изолинии вертикальных перемещений (3)

Анализ физико-механических свойств показал, что после оттаивания суглинки тугопластичной консистенции в основании фундаментной плиты приобретают свойства грунтов текучепластичной консистенции. Несущая способность промороженных суглинков становится практически «нулевой». Влажность грунтов увеличилась в 1,7 раза, показатель текучести – в 3,6 раза, плотность уменьшилась в 1,07 раза.

По результатам строительного мониторинга, который велся на объекте с начала строительства, отклонение верха фундаментных плит от проектного положения составили:

– блок Б. Вертикальные перемещения в пределах от «плюс» 77 до «минус» 120 мм (абсолютная величина осадки находится в допустимых пределах, но близка к предельным значениям), относительная разность осадок ($\Delta s/L$) на отдельных участках составила 0,0035, что больше предельно допустимой ($\Delta s/L$) при $\rho = 0,003$;

– блок В. Фундамент имеет четко выраженный диагональный крен в сторону примыкающей секции Б. Абсолютная осадка от 166 до 225 мм, относительная разность осадок ($\Delta s/L$) – от 0,032 до 0,0046, что больше предельно допустимых значений;

Таблица 1

Расчет	Блок А		Блок Б		Блок В		Последовательность строительства
	Средняя осадка, $\bar{S}_{ин}$, см	Относит. разность осадок ($\Delta s/L$) _н	Средняя осадка, $\bar{S}_{ин}$, см	Относит. разность осадок ($\Delta s/L$) _н	Средняя осадка, $\bar{S}_{ин}$, см	Относит. разность осадок ($\Delta s/L$) _н	
Таблица осадок фундаментов без закрепления							
Расчет 1 Строительство по проекту	10,7	0,0028	16,8	0,001	14,2	0,0029	Устройство фундаментов трех блоков Одновременное строительство блоков А, Б, В (1–7 этажи)
Расчет 2 Строительство по факту (данное состояние) с учетом промерзшего грунта на 0,9 м	5,5 (3,9–6,5)	0,0013	8,7 (7,6–10,3)	0,001	11,4 (5,9–14,5)	0,0043	Устройство фундаментов трех блоков Строительство блоков А, В (1–3 этажи), блока Б (1 этаж)
Таблица дополнительных осадок фундаментов после закрепления							
Расчет 3. <i>Вариант 1</i> Закрепление основания блока Б, В на глубину Н = 1 м	14,3	0,0042	23,3	0,001	18,6	0,0042	Закрепление основания блока Б на 1 м Закрепление основания блока В на 1 м Строительство блока Б (до 3 этажа) Одновременное строительство блоков А, Б, В (4–7 этажи)
Расчет 3. <i>Вариант 2</i> Закрепление основания блока Б на глубину Н = 4 м, блока В на глубину Н = 1 м	13,7	0,0041	20,9	0,001	17,6	0,0042	Закрепление основания блока Б на 4 м Закрепление основания блока В на 1 м Строительство блока Б (до 3 этажа) Одновременное строительство блоков А, Б, В (4–7 этажи)
Расчет 3. <i>Вариант 3</i> Закрепление основания блока Б на глубину Н = 3 м, блока В на глубину Н = 3 м	10,4	0,0027	14,9	0,001	12,2	0,0032	Закрепление основания блока Б на 3 м Закрепление основания блока В на 3 м Строительство блока Б (до 3 этажа) Одновременное строительство блоков А, Б, В (4–7 этажи)
Расчет 3. <i>Вариант 4</i> Закрепление основания блока Б на глубину Н = 4 м, блока В на глубину Н = 4 м	10,2	0,0027	13,4	0,001	10,6	0,0026	Закрепление основания блока Б на 4 м Закрепление основания блока В на 4 м Строительство блока Б (до 3 этажа) Одновременное строительство блоков А, Б, В (4–7 этажи)

Примечание. В скобках даны максимальные и минимальные значения осадок.

Таблица 2

Материал	Характеристики			
	Удельный вес γ_m , т/м ³	Прочность на сжатие, R_b , МПа	Модуль деформации, E , МПа	Коэффициент Пуассона, ν
Грунтобетон (исходный грунт – суглинок)	1,7–1,8	2	200	0,2

Примечание. Характеристики материала приведены в возрасте твердения 28 сут.

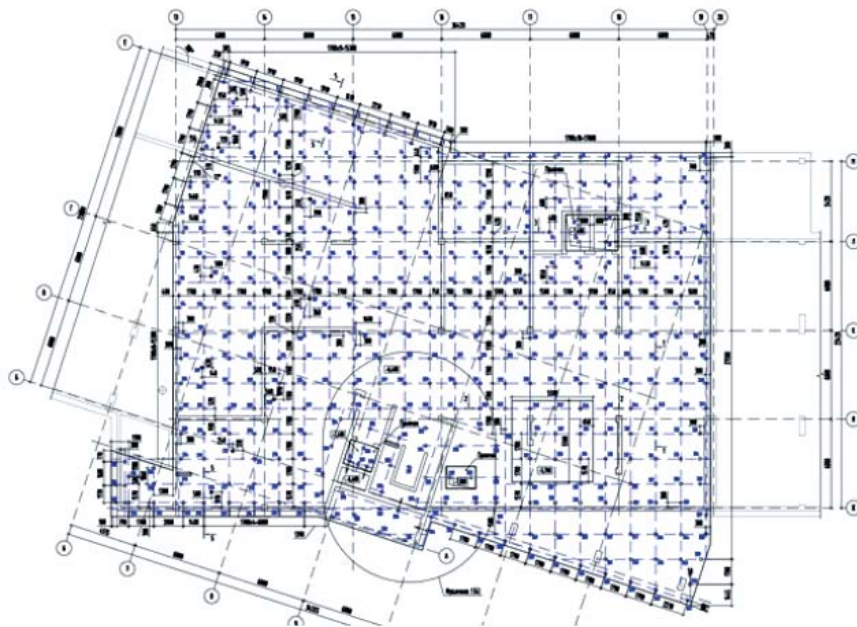


Рис. 4. Схема закрепления грунтов в основании блока Б

– блок А. Максимальная осадка фундамента 75 мм, минимальная 8 мм. Относительная разница осадок ($\Delta s/L$) по длинным сторонам здания изменяется в пределах 0,00375–0,0046, превышает предельно допустимое значение.

Осадку плит происходила под собственным весом, без дополнительного нагружения.

Геотехнический прогноз. Компьютерное моделирование развития ситуации было проведено в программном комплексе PLAXIS (рис. 1–3).

При моделировании развития ситуации были рассмотрены следующие задачи:

- определение деформаций фундаментов с учетом грунта природного сложения (проектное состояние);
- определение деформаций фундаментов блоков А, Б, В с учетом замороженного грунта в основании секций Б, В (текущее состояние: модуль деформации оттаивающего слабого грунта $E = 0,25$ МПа);
- вариантная проработка мероприятий по усилению основания и стабилизации осадок.

При проработке вариантов стабилизации основания рассматривалась возможность улучшения деформационных свойств грунтов основания блоков Б, В на глубину 1–4 м от подошвы фундаментной плиты и последовательность строительства блоков во времени. Результаты геотехнического моделирования приведены в табл. 1.

В качестве наиболее благоприятного сценария рассматривается четвертый вариант усиления основания фундаментной плиты.

Техническое решение. Для обеспечения механической безопасности строительства и эксплуатации здания, по ре-

зультатам геотехнического моделирования принято решение о закреплении грунтов в основании строящегося здания на глубину 4 м и достижение проектного модуля деформации закрепленного грунта 30 МПа.

Требуемая величина деформационной характеристики искусственно улучшенного основания достигается при устройстве армирования по методу «геомассива». Выполнение армирующих элементов производится по технологии струйной цементации грунта. Геомассив рассматривается как приведенное однородное основание со следующими эффективными характеристиками: модуль деформации ($E_{гм}$) – 30 МПа; расчетное сопротивление ($R_{гм}$) – 0,2 МПа (Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: АСВ, 2014).

Усиление грунтов предусмотрено через сеть технологических скважин, которые располагаются по сетке 1,7×1,7 м (рис. 4). Радиус зоны закрепления грунта вокруг скважины в текущих суглинках составляет 0,35–0,6 м, в тугопластичных суглинках – 0,3 м. Радиус зоны закрепления и характеристики закрепленного грунта приняты по опыту работы предприятия на площадках с аналогичными грунтовыми условиями [1]. Принятые в проекте характеристики закрепленного грунта (грунтобетона):

Мониторинг развития геотехнической ситуации. Для наблюдения за вертикальными деформациями строящегося здания был организован геодезический мониторинг. На конструкциях здания были закреплены геодезические марки (рис. 5) и периодически выполнялось высокоточное нивелирование для определения их пространственного положения. Результаты мониторинга приведены на графиках (рис. 6).

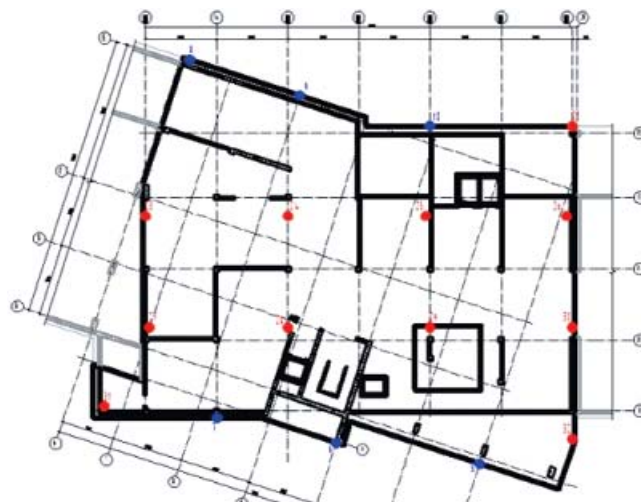


Рис. 5. Блок Б. Места установки геодезических марок

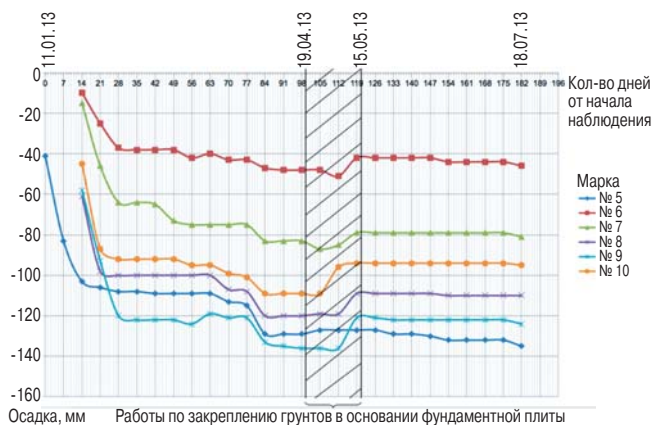


Рис. 6. Графики развития осадки во времени

Анализ результатов геодезического мониторинга показал, что в начальный период наблюдения происходил значительный и неравномерный рост осадок за счет оттаивания грунта и его «выжимания» из под подошвы фундамента, затем в период производства работ прогнозируемый подъем фундаментной плиты и в дальнейшем стабилизация осадок и их проектный рост в ходе строительства здания. Результаты мониторинга однозначно подтверждают обоснованность

Литература

1. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Обеспечение эксплуатационной надежности подземной части комплексов жилых зданий // *Жилищное строительство*. 2012. № 9. С. 38–41.

принятого решения об усилении грунтов основания для обеспечения геотехнической безопасности здания.

Заключение. Компьютерное моделирование геотехнической ситуации позволило рассмотреть различные сценарии ее развития – от полностью негативного до благоприятного и определить при этом требуемые деформационные характеристики основания. Предлагаемый метод устройства «геомассива» при помощи армирования основания жесткими элементами по назначенной геометрической сетке позволяет получить на практике необходимую величину эффективного модуля деформации. Методы полевого контроля получаемых характеристик основания разработаны и опробованы на ряде аналогичных объектов [1]. Но наиболее показательным методом контроля является геодезический мониторинг, подтверждающий правильность принятых инженерных решений и качество выполненных работ по стабилизации основания.

Рассмотренный метод обеспечения геотехнической безопасности зданий и сооружений на грунтах с низкими деформационными характеристиками, положения проектирования, производства работ и контроля их качества являются одной из основных составляющих разрабатываемого в настоящее время технического регламента на применение технологии струйной цементации грунта.

References

1. Makovetsky O.A., Zuyev S.S. Ensuring operational reliability of underground part of complexes of residential buildings. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 9, pp. 38–41. (In Russian).