УДК 624.159.4

О.А. Маковецкий, И.И. Хусаинов, Д.К. СеребренниковаПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
СТРОЯЩЕГОСЯ ЗДАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ
СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТА**

В геотехническом строительстве достаточно часто встречаются ситуации, когда в ходе строительства и эксплуатации зданий и сооружений изменяются (ухудшаются) физико-механические характеристики грунтов основания. В этом случае требуется выполнение грамотного прогноза развития геотехнической ситуации и принятие мер по предотвращению развития негативных последствий. Опыт действий в такой ситуации приведен в данной публикации.

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

O.A. Makovetskii, I.I. Khusainov, D.K. Serebrennikova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**ENSURING THE GEOTECHNICAL SECURITY OF A BUILDING
UNDER CONSTRUCTION USING THE 'JET GROUTING '
TECHNOLOGY**

In geotechnical construction quite commonly appear situations, where during the construction and operation of buildings and facilities is registered the change (deterioration) of the physical and mechanical characteristics of the foundation soil. In such cases, it is required to perform competent analysis of geotechnical situation and taking measures to prevent the development of adverse effects. The experience of actions in aforementioned situation is described in this publication.

Keywords: mechanical safety, geotechnical prediction, geocomposit, jet grouting.

Характеристика объекта. Строящееся здание расположено по адресу: г. Уфа, ул. Цурюпы, 12, состоит из трех блоков. Максимальные габаритные размеры здания в плане – 112×34 м. Блок А и блок В – 4- и 5-этажные с подвальным и цокольным этажами, блок Б – 5-этажный с подвальным, цокольным и техническим этажами. Конструктивная схема – монолитный железобетонный каркас. Пространственная жест-

кость 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 районе г. Уфы в квартале, ограниченном улицами Пушкина, Цюрупы, 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 1,8–4,0 м;
 - глина от тугопластичной до полутвердой с единичными включениями мелкой кварцевой гальки, вскрытая мощность – 13,5 м;
 - наличие 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.

Анализ физико-механических свойств показал, что после оттаивания суглинки тугопластичной консистенции в основании фундаментной плиты приобретают свойства грунтов текучепластичной консистенции. Несущая способность замороженных 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 перемещений в пределах от +77 до –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 $(\Delta s/L)_{\text{пр}} = 0,003$.

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.

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.

Осадка плит происходила под собственным весом, без дополнительного нагружения.

Геотехнический прогноз. Компьютерное моделирование развития ситуации было проведено в программном комплексе PLAXIS.

При моделировании развития ситуации были рассмотрены следующие задачи:

1. Определение деформаций фундаментов с учетом грунта природного сложения (проектное состояние).

Рис. 1. Расчетная схема моделирования геотехнической ситуации

2. Определение деформаций фундаментов блоков А, Б, В с учетом грунта промороженного грунта в основании секций Б, В (текущее состояние модуля деформации оттаивающего слабого грунта $E = 0,25$ МПа).

3. Вариантная проработка мероприятий по усилению основания и стабилизации осадок.

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

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

Таблица 1

Расчет	Блок А		Блок Б		Блок В		Последовательность строительства
	Средняя осадка, $\bar{s}_u$, см	Относит. разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Средняя осадка, $\bar{s}_u$, см	Относит. разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Средняя осадка $\bar{s}_u$, см	Относит. разность осадок $(\Delta s/L)_u$	
Осадки 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 3-х блоков Строительство блоков А, В (1–3 этажи), блока Б (1-й этаж)
Дополнительные осадки фундаментов после закрепления							
Расчет 3. Вариант 1 Закрепление основания блока Б, В на глубину $H = 1,0$ 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	Блок А		Блок Б		Блок В		Последовательность строительства
	Средняя осадка, $\bar{s}_u$, см	Относит. разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Средняя осадка, $\bar{s}_u$, см	Относит. разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Средняя осадка $\bar{s}_u$, см	Относит. разность осадок $(\Delta s/L)_u$	
Осадки фундаментов без закрепления							
Расчет 3. Вариант 2 Закрепление основания блока Б на глубину $H = 4,0$ м, блока В на глубину $H = 1,0$ 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-го этажа) Одновременное строительство блоков А, Б, В (4–7 этажи)
Расчет 3. Вариант 3 Закрепление основания блока Б на глубину $H = 3,0$ м, блока В на глубину $H = 3,0$ 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-го этажа) Одновременное строительство блоков А, Б, В (4–7 этажи)
Расчет 3. Вариант 4 Закрепление основания блока Б на глубину $H = 4,0$ м, блока В на глубину $H = 4,0$ 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-го этажа) Одновременное строительство блоков А, Б, В (4–7 этажи)

Примечание. В скобках даны максимальные и минимальные значения осадок.

При проработке вариантов стабилизации оснований 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 результатам геотехнического моделирования было принято решение о закреплении грунтов в основании строящегося здания на глубину 4 м и достижении 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 $E_{\text{гм}} = 30$ МПа; расчетное сопротивление $R_{\text{гм}} = 0,2$ МПа [1].

Усиление грунтов предусмотрено через сеть технологических скважин, которые располагаются по сетке $1,7 \times 1,7$ м (рис. 4). Радиус зоны закрепления грунта вокруг скважины в текучих 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 (табл. 2) [2].

Таблица 2

Принятые в проекте характеристики закрепленного
грунта (грунтобетона)

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

Примечание. Характеристики материала приведены в возрасте твердения 28 сут.

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

Рис. 4. Схема закрепления грунтов в основании блока Б

Рис. 5. Блок Б. Место установки геодезических марок

Рис. 6. Графики развития осадки во времени при строительстве блока Б

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 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 [2]. 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.

Библиографический список

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014.
2. Маковецкий О.А., Зуев С.С., Хусаинов И.И. Применение струйной цементации для устройства подземных частей комплексов // Жилищное строительство. – 2013. – № 9. – С. 10–14.

References

1. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnyye sooruzheniya [Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Moscow: Assotsiatsiya stroitel'nykh vyzov, 2014, 728 p.

2. Makovetskiy O.A., Zuev S.S., Khusainov I.I. Primenenie struynoj tsementatsii dlya ustrojstva podzemnykh chastej kompleksov [Application of jet grouting to build substructures of the housing estate]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2013, no. 9, pp. 10-14.

Сведения об авторах

Маковецкий Олег Александрович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: oleg-mak@inbox.ru

Хусаинов Ильгиз Илюдович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительные конструкции и вычислительная механика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Серебренникова Дарья Константиновна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: spstf@pstu.ru

About the authors

Makovetskii Oleg Aleksandrovich (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: oleg-mak@inbox.ru

Khousainov Ilgiz Ildusovich (Perm, Russian Federation) – Doctoral Student, Department of Construction mechanics and computer-aided technologies, Perm National Research Polytechnic University.

Serebrennikova Daria Kostantinovna (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: spstf@pstu.ru

Получено 10.04.2014