

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КОМПЕНСАЦИОННЫХ РАБОТ ДЛЯ ЗДАНИЙ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ПАМЯТНИКАМИ АРХИТЕКТУРЫ

Р. И. ЛАРИОНОВ,

к. т. н., заведующий лабораторией геомеханических исследований
ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

ПРЕДСТАВЛЕНА ТЕХНОЛОГИЯ МИНИМИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И ИСКЛЮЧЕНИЯ ИХ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ, РЕАЛИЗУЕМАЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛАХТИНСКО-ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЛИНИИ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРА ГОРОДА. ПОКАЗАНЫ ЭТАПЫ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИОННЫХ СКВАЖИН С НАГНЕТАНИЕМ ИНЪЕКЦИОННОГО РАСТВОРА, РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОБОБЩЕНЫ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.

ВВЕДЕНИЕ

Метрополитен в Санкт-Петербурге — в основном глубокого заложения, так как устойчивые необходимые грунты в центре города располагаются на глубине более 40 м. В ходе строительства станционных комплексов возникают смещения поверхности земли на нескольких гектарах городской территории. И чем больше глубина заложения, тем большую площадь охватывает мульда оседания. В особенности такая ситуация неприемлема в центре Санкт-Петербурга, где расположено огромное количество памятников архитектуры.

Существующая в настоящее время технология строительства станционных узлов метрополитена и наклонных ходов приводит к существенным деформациям вышележащей толщи грунта и расположенных на ней зданий и сооружений. Из-за большого поперечного сечения станционного узла в целом и большого количества этапов строительства до его раскрытия на полное сечение, а также вследствие большого объема ручного труда при разработке забоев и креплении выработок,

применение специальных способов уменьшает деформацию поверхности, но их недостаточно для того, чтобы соблюсти требования нормативной документации по абсолютным и относительным деформациям зданий. Требуемого эффекта возможно добиться посредством комплекса мероприятий на поверхности земли, компенсирующих осадку.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Для определения нормируемых показателей деформаций оснований и фундаментов сооружений, расположенных в зоне влияния строительства подземных объектов метрополитена, и мероприятий, предотвращающих деформации, в ОАО «Ленметрогипротранс» (ЛМГТ) были разработаны специальные технические условия (СТУ) на проектирование и строительство Лахтинско-Правобережной линии Петербургского метрополитена.

В СТУ определен перечень работ по сохранности зданий и сооружений:

- геотехнические расчеты с определением мульды оседания дневной поверхности в соответствии с СП 21.13330.2012;
- обследование зданий, попадающих в зону, ограниченную нулевой линией мульды, с целью определения их технического состояния;
- разработка компенсационных мероприятий с условием недопущения достижения предельной разности осадок;
- проведение геотехнического мониторинга во время строительства подземных сооружений и мероприятий, предусмотренных в проектах усиления и в составе ПОС.

Деформации считаются допустимыми в том случае, если параметры мульды оседания не превышают величин относительной разности осадок. В случае превышения регламентированных величин в составе проекта разрабатывались мероприятия по их предотвращению.

Выполненные геотехнические расчеты и обследование в зоне влияния строительства показали, что для некоторых зданий абсолютные и относительные величины осадок превышают допустимые. В этом случае были разработаны проекты мероприятий, компенсирующих осадки.

СВЕДЕНИЯ О ЗДАНИЯХ, ПОДЛЕЖАЩИХ КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ

В ходе проектирования участка Лахтинско-Правобережной линии были определены мульды смещения земной поверхности, в которые попали здания исторической застройки и памятники архитектуры. Относительные деформации фундаментов при этом превысили бы допустимые. Так, в расчетную мульду оседания (рис. 1) от строительства станции «Театральная» попали четыре здания (рис. 1), расположенные по ул. Декабристов рядом со 2-й сценой Мариинского театра, два из которых являются объектами КГИОП (Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры). Это дома №36/1, лит. А (оси 22-24) — дом Кокушкина 1843 года постройки, и №29, лит. А — жилой дом работников Союзверфи 1934 года постройки.

В данном районе по ул. Декабристов расположены жилые здания высотой от 3 до 7 этажей, постройки 2-й половины XIX — начала XX века. Фундамент — ленточный, бутовый, глубиной заложения до 3 м; стены — кирпичные. В домах №36/1, лит. А (оси 22-24) и №31, лит. А подвал отсутствует.

По результатам обследований было дано заключение, что все здания относятся к III категории технического состояния согласно ТСН 50-302-2004 (табл. Б1). Поверочные расчеты показали, что давление под подошвой фундаментов по некоторым осям зданий превышает расчетное сопротивление грунта, поэтому требуются мероприятия по усилению грунтов основания.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Для вышеуказанных зданий в рамках проектирования объектов метрополитена были предложены мероприятия по недопущению развития критических осадок дневной поверхности.

На основе опыта проведения работ в Санкт-Петербурге с 1995 года по настоящее время по укреплению фундаментов и стабилизации грунтов оснований на объектах различного назначения, а также с учетом требований сводов правил, стандартов и других руководящих документов, в качестве способа предотвращения осадок поверхности при строительстве метрополитена был выбран метод компенсационной инъекции.

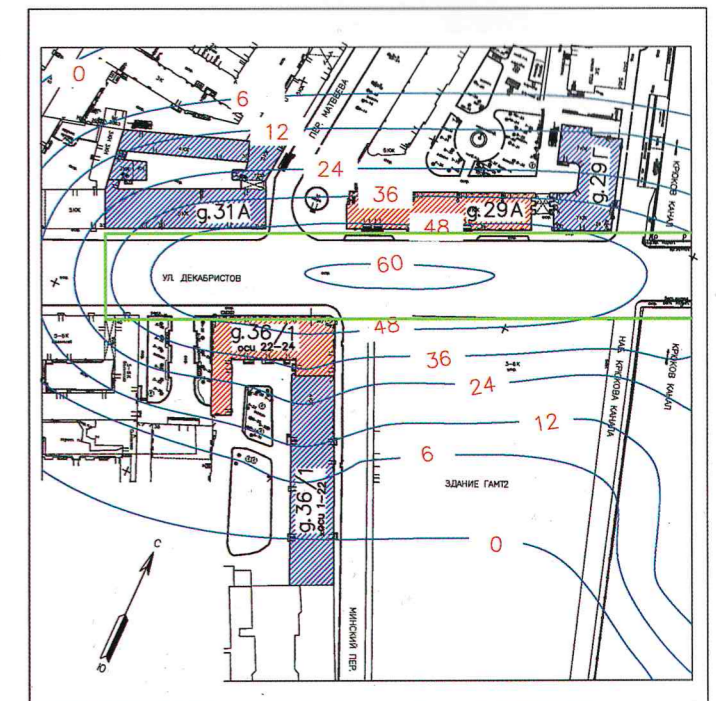


Рис. 1. Здания, попадающие в мульду оседания при строительстве ст. «Театральная» и подлежащие компенсационным мероприятиям

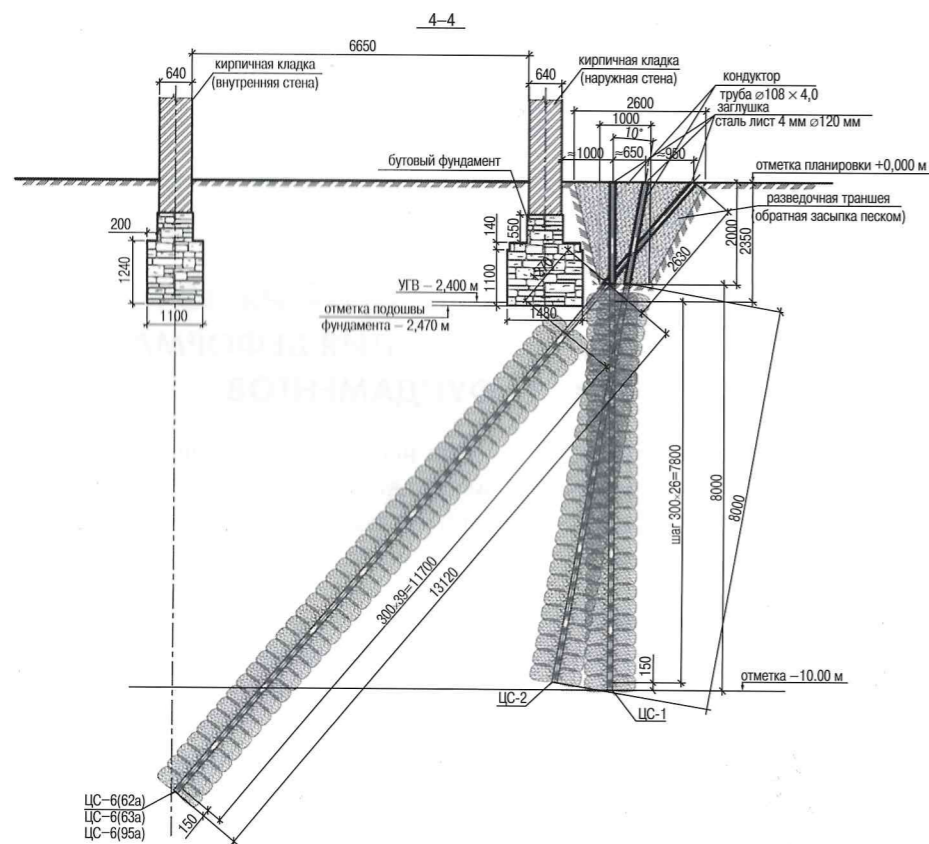


Рис. 2. Компенсационные скважины (профиль)

Одним из последних объектов, на котором применялась рассматриваемая технология применительно к метростроению, было строительство эскалаторного тоннеля станции «Адмиралтейская» при помощи ТПМК в 2010–2011 гг. В район с максимальными расчетными деформациями поверхности попадало здание по адресу Кирпичный пер., д. 4. Они доходили до 26 мм, в том числе по периметру. После компенсационного нагнетания, в соответствии с полученными результатами наблюдений, деформации по периметру рассматриваемого здания составили 10–13 мм.

Исходя из положительного опыта применения, при строительстве станций Лахтинско-Правобережной линии была выбрана именно эта технология.

Проект предполагает устройство компенсационных скважин по периметру снаружи зданий в 2 ряда с шагом 1 м, в их подвалах (при наличии) — с шагом 1,2 м, по периметру стен и по сетке — с шагом 2 м внутри зданий. Расстояние между рядами скважин снаружи зданий — 0,65 м. 2-й ряд имеет наклон 10° в сторону зданий. 3-й ряд скважин, расположенный под углом 40°, предусмо-

трен по домам, в которых отсутствует подвал, для возможности укрепления грунта под средней стеной (рис. 2).

Скважины $\varnothing 93$ мм бурились на глубину 10 м с промывкой глинистым раствором, и в них устанавливались манжетные колонны — пластиковые трубы $\varnothing 63$ мм с перфорацией по контуру, с шагом 300 мм, закрытые резиновыми манжетами, выполняющими функцию выпускного клапана при нагнетании раствора. Нижний торец манжетных колонн герметизировался пробкой. Манжетные колонны омоноличиваются в скважинах обойменным раствором, по затвердевании которого в заданном интервале устанавливается пакер, подсоединяется к скважине нагнетательная система и осуществляется инъекция укрепляющего раствора в грунт. Затем пакер переставляют на следующий интервал, снова нагнетают раствор и т. д. Направление инъекции может быть как восходящим, так и нисходящим, при этом возможно возвращение на любой интервал. Проектом предусмотрено повторное использование скважин, для чего после нагнетания выполняется их промывка.

Нагнетание выполняется как в режиме пропитки грунта (песчаные), так и гидроразрыва (глинистые).

Вначале выполняются работы на опытном участке, состоящем из 4–5 скважин, для уточнения технологических параметров. Контроль осуществляется геофизическими методами. После оснащения компенсационных скважин манжетными колоннами выполняется 1-й этап геофизических работ для выявления начальных физико-механических свойств грунта (модуль упругости). После нагнетания раствора во все 5 скважин осуществляется 2-й этап геофизических работ и определяется качество распространения нагнетаемых растворов и изменение деформационно-прочностных свойств массива.

Аналогичный комплекс работ осуществляется и из подвалов зданий с той лишь разницей, что разведочная траншея не откапывается, а кондукторы устанавливаются в период армирования фундаментной плиты.

Порядок нагнетания в инъекционные скважины определяется по результатам геотехнического мониторинга.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Все работы по предотвращению деформаций фундаментов зданий на подрабатываемой территории ведутся в сопровождении геотехнического мониторинга. С этой целью в ОАО «ЛМГТ» была разработана специальная программа в составе проекта по компенсационным мероприятиям, которая включает в себя:

- мониторинг вертикальных деформаций грунтового массива с использованием экстензометров;
- инженерно-геофизические работы по контролю качества инъекционного упрочнения грунтов в основаниях зданий;
- геодезический контроль деформаций оголовков экстензометрических скважин;
- визуальный мониторинг зданий.

Мониторинг вертикальных деформаций грунтового основания под зданиями посредством экстензометров предназначен для определения момента начала компенсационных работ, контроля процесса нагнетания раствора и окончания этих работ.

До начала строительства станционного комплекса и компенсационных мероприятий выполняется бурение экстензометрических скважин по периметрам зданий с установкой в них экстензометров на разных уровнях. Всего проектом предусмотрено 46 скважин, в которые устанавливаются глубинные грунтовые реперы (рис. 3) и которые заполняются специальным раствором, близким по физико-механическим свойствам к грунтовому массиву. На оголовки скважин устанавливаются антивандальные шкафы, в которых монтируется оборудование, выполняющее измерения и передачу данных на выделенный интернет-портал.

Информация, поступающая с экстензометров, оперативно обрабатывается и, в зависимости от показаний, выдается команда на начало компенсационных мероприятий. При этом определяется количество компенсационных скважин (как по периметру здания, так и внутри) и порядок нагнетания в них. Нагнетание выполняется по скважинам, расположенным в ряд и по нормали к направлению развития мульды оседания поверхности.

После окончания цикла работ осуществляется этап геофизического контроля грунтового массива с выдачей интерпретационного геологического разреза грунтов оснований. Для недопущения превышения относительной разности осадок объема компенсационного нагнетания назначаются с учетом интерполяции показаний экстензометров по всем скважинам и геодезического мониторинга.

Инженерно-геофизический контроль качества выполняемых работ включают в себя такие методы, как сейсмоакустика, сейсморазведочный метод преломленных волн, сеймопросвечивание между скважинами, георадиолокация.

Целью геодезического мониторинга является контроль вертикальных смещений оголовков экстензометрических скважин для определения суммарных вертикальных смещений грунтовых реперов.

Визуальный мониторинг осуществляется с целью получения необходимых данных об изменении эксплуатационного состояния конструкций зданий в целом и фиксации отдельных дефектов в период строительства. Он включает в себя осмотр конструкции зданий, фотофиксацию и определение фактических размеров

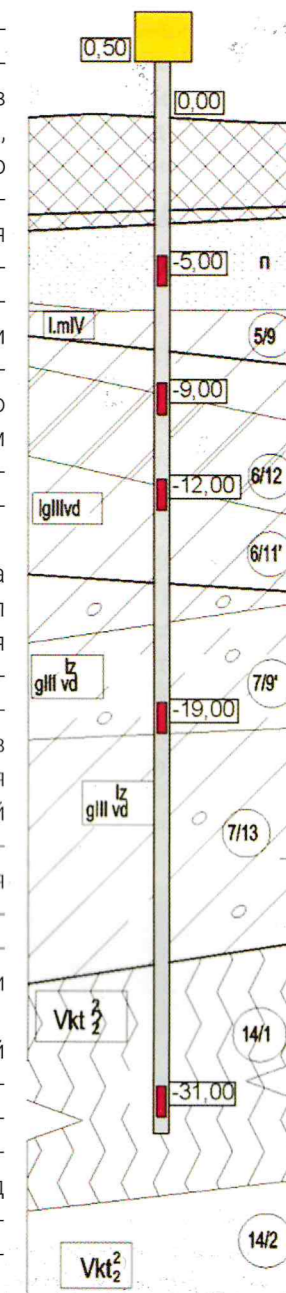


Рис. 3. Схема размещения глубинных реперов в экстензометрической скважине

строительный практикум

дефектов, качественного характера изменений в период сооружения станционного комплекса и выдачу рекомендации о необходимости инструментального контроля развития дефектов.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА: НА УЧАСТКЕ «Д. 31, ЛИТ. А»

Летом 2019 года было выполнено опытное нагнетание на опытных участках домов, требующих компенсационных мероприятий.

На участке «д. 31, лит. А» работы производились 2 и 3 июля на пяти вертикальных скважинах (№ 229, 231, 233, 235, 237), устроенных вблизи экстензометрической скважины Э1-31А (рис. 4). В десять горизонтов, расположенных в интервале отм. (-5 м) – (-2 м), нагнеталось по 100 л раствора в во все пять скважин. Первоначальный состав раствора включал в себя на 1 м³: цемента – 1200 кг; воды – 560 л; жидкого стекла – 9,6 кг; суперпластификатора С-3 – 2 кг.

Последовательность нагнетания была выбрана от дальней относительно экстензометрической скважи-

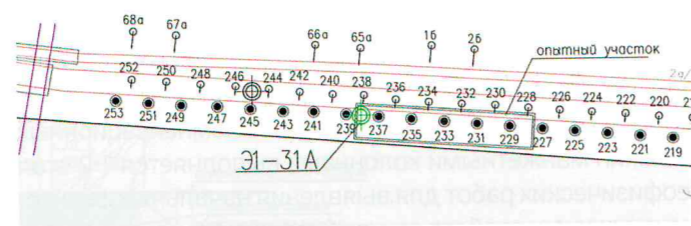


Рис. 4. План опытного участка (ул. Декабристов, д. 31, лит. А)

ны манжетной колонны (№ 229) к ближней (№ 237) – с целью проследить изменение влияния нагнетания на показания экстензометров. Последовательность нагнетания в манжетной колонне была выбрана от нижнего горизонта к верхнему. Хронология показана в табл. 1.

На рис. 5 показан график развития деформаций по экстензометрам скважины Э1-31А за период производства опытного нагнетания в течение двух суток.

В результате анализа графика можно сделать вывод о незначительном влиянии инъекционных работ на массив. Максимальные деформации составили 1 мм.

Таблица 1.

Порядок и параметры инъекционных работ на опытном участке (ул. Декабристов, д. 31, лит. А)

| Номер скважины | Начало нагнетания | Окончание нагнетания | Количество раствора на горизонт, л | Рецептура раствора на 1 м ³ | Примечание | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.07.2019 | | | | | | |
| 229 | 14.05 | 14.50 | 100 | Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг | В 1-й горизонт прокачали 190 л, 5 мин | |
| 231 | 14.55 | 15.45 | 100 | | | |
| 233 | 15.48 | 15.57 | 100 | | | При прокачке в 3-й снизу горизонт наблюдался выход раствора на поверхность снаружи кондуктора скв. 234. Прокачка остановлена |
| 235 | – | – | – | | | – |
| 237 | 16.00 | 16.03 | 100 | | | При прокачке во 2-й снизу горизонт наблюдался выход раствора на поверхность через скв. 231 |
| Остаток раствора закачивали в нижний горизонт скв. 243. Наблюдался выход раствора на поверхность возле экстензометрической скважины Э1-31А | | | | | | |
| 03.07.2019 | | | | | | |
| 233 | 11.10 | 11.30 | 100 | Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг | Продолжено нагнетание, начиная с 4-го снизу горизонта | |
| 235 | 11.35 | 12.30 | 100 | | В 12.00 произошла закупорка шланга на 5 горизонте. В 12.10 продолжено нагнетание | |
| 237 | 10.45 | 11.05 | 100 | | На 8-м снизу горизонте выход раствора у наклонных скважин 65а и 16 | |
| Остаток раствора (200 л) закачивали в горизонт на глубине 10 м скв. 66а – наблюдался выход раствора у кондуктора. Пакер переставили на горизонт 4 м – то же самое | | | | | | |

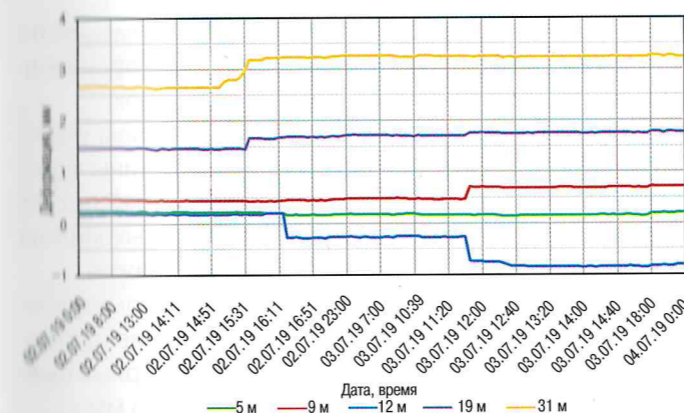


Рис. 5. График развития деформаций по экстензометрам скважины Э1-31А за период производства опытного нагнетания

С началом нагнетания в скважину №299 экстензометры не фиксировали деформации. При нагнетании в скважину №231 наблюдались деформации верхней части массива на 1 мм. Нагнетание в скважину №233 заметного влияния на массив не оказало. При нагнетании в скважину №237 и закачке остатков раствор в скважину №243 в горизонт на отм. 10 м по экстензометру наблюдались деформации на отм. 12 м.

При продолжении инъекционных работ на следующий день при закачке раствора в скважины №233 и №237 деформаций не выявлено. Только на скважине №235 наблюдались незначительные деформации массива до 0,5 мм.

Количество раствора 100 л на один горизонт нагнетания не оказало негативного влияния на основание здания.

При увеличении до 200 л в каждой скважине с сохранением остальных параметров нагнетания на другом опытном участке было получено формирование плоскостей скольжения и возникновение дополнительных осадок поверхности.

Комплекс геофизических работ показал, что в рамках построенных 3D-моделей распространения плотностных параметров, характеризующих грунты «до» и «после» мероприятий по закреплению, можно сделать следующие выводы:

- 1) наблюдается изменение плотности грунтов в сторону увеличения, как в пределах опытного участка, так и на отдалении до 6 м в противоположенную от дома сторону;
- 2) значительная часть цементного раствора ушла в сторону от участка, в котором непосредственно производились нагнетания;
- 3) в грунтах верхней части разреза (до 1,8–2 м) не выявлено значительных изменений.

строительный практикум

Работы на опытном участке показали, что регламент нагнетания в целом позволяет повысить прочностные характеристики грунтового массива, но при этом отмечается неравномерное распределение инъекционного раствора, причем и по глубине, и по горизонтали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 1

Реализованная технология минимизации деформаций фундаментов зданий и исключения их неравномерной осадки на подрабатываемых территориях предполагает комплексный подход с усилением фундаментов компенсационными мероприятиями и обязательным ведением геотехнического мониторинга, который позволяет не только оценить качество выполняемых работ, но и показать места разуплотнений, образуемых в массиве в процессе их производства.

Разработанная и внедренная последовательность компенсационных мероприятий дает возможность своевременно выполнять инъекционные работы в моменты развития деформационных процессов в грунтах оснований, предупреждая деформации зданий. Многократное использование скважин с обязательной их промывкой после каждого этапа компенсационных работ позволяет управлять осадкой зданий в течение всего срока строительства станционного комплекса глубокого заложения.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА: НА УЧАСТКЕ «Д. 36/1, ЛИТ. А»

Нагнетание на опытном участке ул. Декабристов, д. 36/1, лит. А в осях 22–24 производилось 16.07.2019, 17.07.2019 и 18.07.2019 в пять вертикальных скважин (№ 105, 107, 109, 111 и 113), расположенных вблизи экстензометрической скважины Эб-36 (рис. 6). В десять горизонтов, расположенных в интервале отм. (-5 м) – (-2 м), нагнеталось по 200 л раствора в каждый горизонт во все пять скважин. Первоначальный состав раствора, аналогично опытному участку по д. 31, лит. А, включал в себя на 1 м³: цемента – 1200 кг; воды – 560 л; жидкого стекла – 9,6 кг; суперпластификатора С-3 – 2 кг.

Последовательность нагнетания была выбрана через одну скважину, начиная с №105, далее №109 и затем скважина №113. На следующий день, после выстойки раствора, предполагалось прокачать скважины №107 и №111. Последовательность нагнетания в каждой манжетной колонне была выбрана от нижнего горизонта к верхнему. Хронология показана в табл. 2.

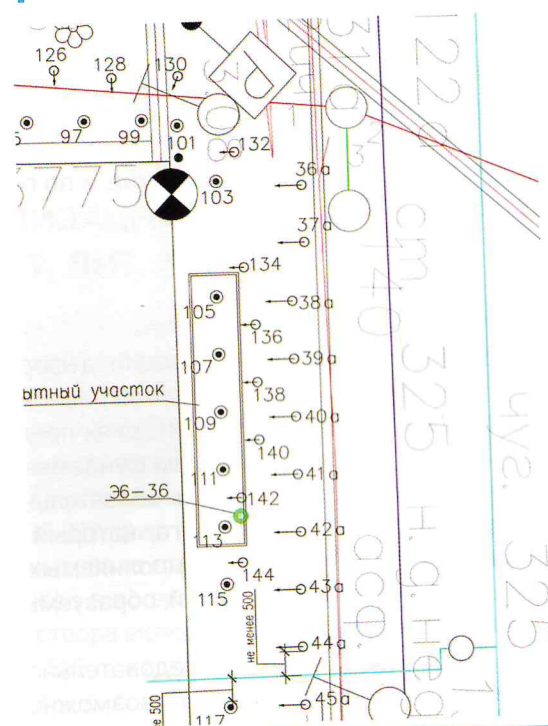


Рис. 6. План опытного участка по д. 36/1, лит. А (оси 22–24)

На рис. 7 показан график развития деформаций по экстензометрам скважины Эб–36 за период производства опытного нагнетания в течение трех суток.

В результате производства работ на опытном участке следует отметить, что выбранные скважины соответствуют проекту и могут быть признаны работоспособными, так как инъекционный раствор выходил за пределы кондукторов инъектируемых скважин.

По результатам наблюдения по экстензометрической скважине можно сказать, что нагнетание раствора в течение трех дней работ вызвало суммарные смещения по каждому экстензометру порядка 15 мм.

В первый день было произведено инъектирование в три из пяти скважин. При этом смещение оголовка экстензометрической скважины составило в среднем 2–3 мм. При нагнетании раствора во второй день смещение оголовка составило около 10 мм. Это произошло вследствие затвердевания раствора в вышележащих слоях грунта, закачанного в первый день. При нагнетании в третий день произошло смещение оголовка еще на 4–5 мм.

После первого дня произошел небольшой так называемый «отскок» показаний экстензометров на 1–2 мм, т. е. возврат значений к показаниям до нагнетания. Это

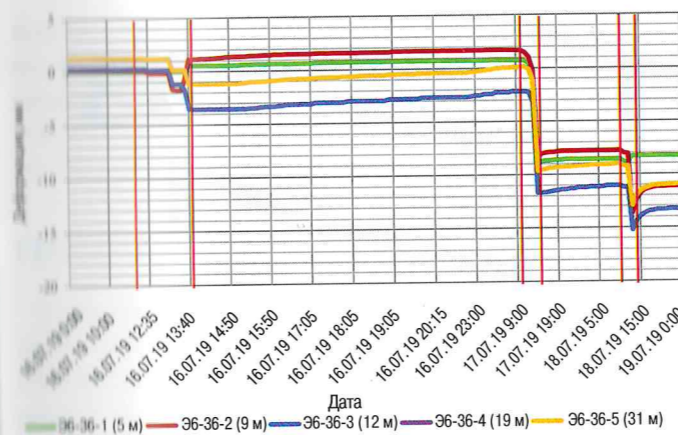


Рис. 7. График развития деформаций по экстензометрам скважины Эб–36 за период производства опытного нагнетания

можно объяснить разуплотнением массива грунта инъекционным раствором и образованием вертикальных поверхностей скольжений в результате выхода раствора на поверхность. После второго дня нагнетания «отскок» был зафиксирован также в среднем на 1 мм при значительно большем деформировании массива при инъектировании. После третьего дня «отскок» составил 2 мм при увеличении деформаций на 4 мм в процессе инъектирования.

Данные «отскоки» являются негативным явлением, поскольку снижают эффект компенсационной инъекции. Для уменьшения их величины необходимо либо сокращать время схватывания раствора за счет добавок, что вызовет технологические сложности при работе с техникой (забивание подающих шлангов), либо уменьшать количество раствора, подаваемого в горизонт в течение одной закачки. Следовательно, количество раствора 200 л в один горизонт является избыточным. По результатам было рекомендовано выполнить нагнетание на следующем опытном участке с аналогичными параметрами, изменив количество раствора, подаваемого в один горизонт за одну прокачку до 100 л, а затем, после выстойки раствора в течение 2–3 суток, повторить нагнетание.

Работы на опытном участке показали, что регламент нагнетания в среднем по массиву позволяет повысить прочностные характеристики грунтового массива, но при этом отмечается неравномерное распределение инъекционного раствора, причем и по глубине, и по горизонтали.

По состоянию на осень 2020 года работы находятся на стадии реализации. Выполнено превентивное нагнетание в основание всех контролируемых зданий. Параметры нагнетания были приняты согласно результатам опытных участках, за исключением количества раствора.

Таблица 2.

Порядок и параметры инъекционных работ на опытном участке д. 36/1, лит. А (оси 22–24)

| Номер скважины | Начало нагнетания | Окончание нагнетания | Количество раствора на горизонт, л | Рецептура раствора на 1 м ³ | Примечание |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 105 | 11.31 | 11.33 | 200 | Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг | Излив при прокачке 6-го снизу горизонта в 1 м от скважины |
| 107 | 12.04 | 12.57 | 200 | | Выход раствора при прокачке 3-го снизу горизонта вдоль кондуктора |
| 109 | 11.37 | 12.00 | 200 | | Начало нагнетания 3-го снизу горизонта, конец – выход раствора при прокачке 7-го снизу горизонта |
| 111 | 13.01 | 13.18 | 200 | | Выход раствора при прокачке 4-го снизу раствора |
| 113 | 10.56 | 11.28 | 200 | | Начало нагнетания с 6-го снизу горизонта, конец – излив при прокачке 9-го снизу горизонта |
| 18.08.2019 | | | | | |
| 105 | 11.12 | 11.13 | 200 | Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг | Начало нагнетания в 6-й снизу горизонт, окончание – выход раствора при прокачке 6-го снизу горизонта |
| 107 | 11.30 | 12.50 | 200 | | Начало нагнетания в 3-й снизу горизонт, окончание – выход раствора возле кондуктора при прокачке 7-го снизу горизонта |
| 109 | 10.25 | 11.10 | 200 | | Начало нагнетания в 7-й снизу горизонт, окончание – невозможность прокачки раствора на 10-м снизу горизонте |
| 111 | 12.00 | 12.15 | 200 | | Начало нагнетания в 4-й снизу горизонт, окончание – выход раствора около кондуктора скв. №107 |
| 113 | 10.15 | 10.25 | 200 | | Начало нагнетания в 8-й снизу горизонт, окончание – выход раствора при прокачке 9-го снизу горизонта |
| Остаток раствора закачен в скважину №104 и в скважину №105 в горизонт на отм. 5,3 м (200 л) | | | | | |

Так, по результатам работ в интервале отметок от –2 м до –5 м в верхние пять горизонтов закачивалось по 50 л раствора, а в нижние пять – по 100 л. В скважины, пробуренные под углом 40°, нагнетание производилось в нижние десять горизонтов объемом 100 л на один горизонт.

На станционном комплексе ведутся горнопроходческие работы в среднем станционном тоннеле и боковом станционном тоннеле второго пути, тягово-понижительной подстанции и пристанционных выработках.

По всем экстензометрическим скважинам ведется непрерывный мониторинг деформаций грунтового массива. Также по завершении цикла превентивного нагнетания были выполнены геофизические работы, показавшие удовлетворительный результат инъекционного укрепления основания зданий. В ходе горнопроходческих работ зарегистрированы вертикальные деформации зданий и дана рекомендация на выполнение второго этапа инъекционных работ с целью компенсации деформаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 2

Реализованная технология минимизации деформаций фундаментов зданий, расположенных на подрабатываемых территориях, и исключения их неравномерной осадки предполагает комплексный подход с усилением фундаментов компенсационными мероприятиями и обязательным ведением геотехнического мониторинга для контроля смещений, возникающих как от строительства станционных комплексов, так и от мероприятий, направленных на уменьшение смещений дневной поверхности.

Комплекс геофизических работ в составе геотехнического мониторинга позволяет не только оценить качество выполняемых компенсационных работ, но и показать места разуплотнений, образуемых в массиве в процессе производства работ.

Разработанная и внедренная последовательность компенсационных мероприятий позволяет своевременно выполнять инъекционные работы в моменты развития деформационных процессов в грунтах оснований, не дожидаясь, пока они приведут к деформациям зданий. Многократное использование скважин с обязательной их промывкой после каждого этапа компенсационных работ позволяет управлять осадкой зданий в течение всего срока строительства станционного комплекса глубокого заложения.



www.lmgt.ru