

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСКОВСКОГО МАНЕЖА

О. А. МОЗГАЧЕВА – ведущий инженер НИИОСПа. Основные направления научной деятельности – геомониторинг и проектирование подземных сооружений. Автор восьми опубликованных работ, в том числе двух патентов.

В. П. ПЕТРУХИН – д-р технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии СССР, заместитель директора НИИОСПа. Основные направления научной деятельности – подземные сооружения, исследование и решение геотехнических проблем освоения подземного пространства городов, строительство в особых грунтовых условиях, обследование сооружений и геомониторинг. Автор более 150 опубликованных работ и нормативных документов.

Д. Е. РАЗВОДОВСКИЙ – канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИОСПа. Основные направления научной деятельности – геотехнический прогноз, проведение расчетов фундаментных конструкций в сложных грунтовых условиях. Автор около 20 опубликованных работ.

О. А. ШУЛЯТЬЕВ – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИОСПа. Основные направления научной деятельности – решение геотехнических проблем при строительстве подземных сооружений. Автор более 50 опубликованных работ, в том числе 10 патентов.

Воссоздание уникального памятника архитектуры – здания Манежа после пожара 2004 г. было осуществлено в кратчайшие сроки (1 год) в условиях плотной городской застройки исторического центра Москвы, густой сети подземных инженерных и транспортных коммуникаций (метрополитен). Реконструкция здания предусматривала воссоздание исторического облика с восстановлением безопорных деревянных ферм. Кроме этого было освоено подземное пространство внутри здания в виде 2-х новых уровней общей глубиной 7,5 м. В статье дается описание технических решений при реконструкции здания Манежа и приводятся результаты геотехнического мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ

В 2004 г., за 13 лет до своего 200-летнего юбилея, сгорело одно из самых уникальных зданий России – московский Манеж (рис. 1).

Здание Манежа («экзерсис-хаус») расположено в самом центре Москвы, напротив Кремлевской стены. Оно было возведено в 1817 г. в рекордные сроки (за 6 месяцев) для смотра войск и парада в присутствии императора Александра I. Здание представляло собой уникальную постройку как по своим размерам (166×44,8 м), так и по конструктивному реше-



Рис. 1. Общий вид здания Манежа

нию. Император выдвинул требование, чтобы Манеж не имел внутри ни одной колонны. Для строительства был принят проект начальника Главного управления путей сообщения и

© О. А. Мозгачева, В. П. Петрухин, Д. Е. Разводовский
О. А. Шулятьев, 2005

Internet: www.georec.spb.ru

публичных зданий генерал-инженера Августина Бетанкура, который разработал для перекрытия здания безопорную конструкцию стропильных деревянных ферм, не имевшую мировых аналогов. Деревянная конструкция стропил, перекрывшая без промежуточных опор пространство почти в 45 м, для 1817 г. являлась чудом техники. Элементы ферм были выполнены из цельных бревен, длина каждого элемента не превышала 6 м. Однако через год в фермах появились многочисленные трещины, и перекрытие пришлось переделывать, а в 1824 г. стропильные фермы были заменены конструкциями, разработанными инженером-поручиком Кашперовым. После этого фермы прослужили более 100 лет, и только в 30-х гг. двадцатого столетия для уменьшения прогиба ферм под них были подведены колонны, существовавшие до недавнего времени. С середины 50-х гг. в здании размещался Центральный выставочный зал.

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ

В геоморфологическом отношении участок застройки частично расположен на

склоне древнеаллювиальной террасы р. Москвы, частично – на пойме р. Неглинной. Граница поймы и древнеаллювиальной террасы проходит через все здание Манежа вдоль ее длинной стороны, ближе к Манежной улице.

Другой характерной особенностью геологического строения участка является его расположение на склоне доледникового эрозионного вреза, где почти полностью размыт региональный водоупор из верхнеюрских глин, и четвертичные отложения залегают непосредственно на отложениях верхнего карбона (рис. 2).

Геолого-литологическое строение участка (сверху вниз) представлено следующими отложениями.

Техногенные грунты (kQ_{IV}) – пески, супеси и суглинки с содержанием обломков кирпича и строительного мусора. Мощность техногенных грунтов изменяется от 1,0 м на террасе до 10,5 м на пойме р. Неглинной. Толщина слоя насыпных грунтов под фундаментами по оси А, обращенной на Моховую улицу, не превышает 4,5 м, а по оси Л, со стороны Кремлевской стены, – более 8 м.

Со стороны Манежной улицы – современные аллювиальные отложения (aQ_{IV}), сложенные суглинками тугопластичными, супесями пылеватыми, пластичными и песча-

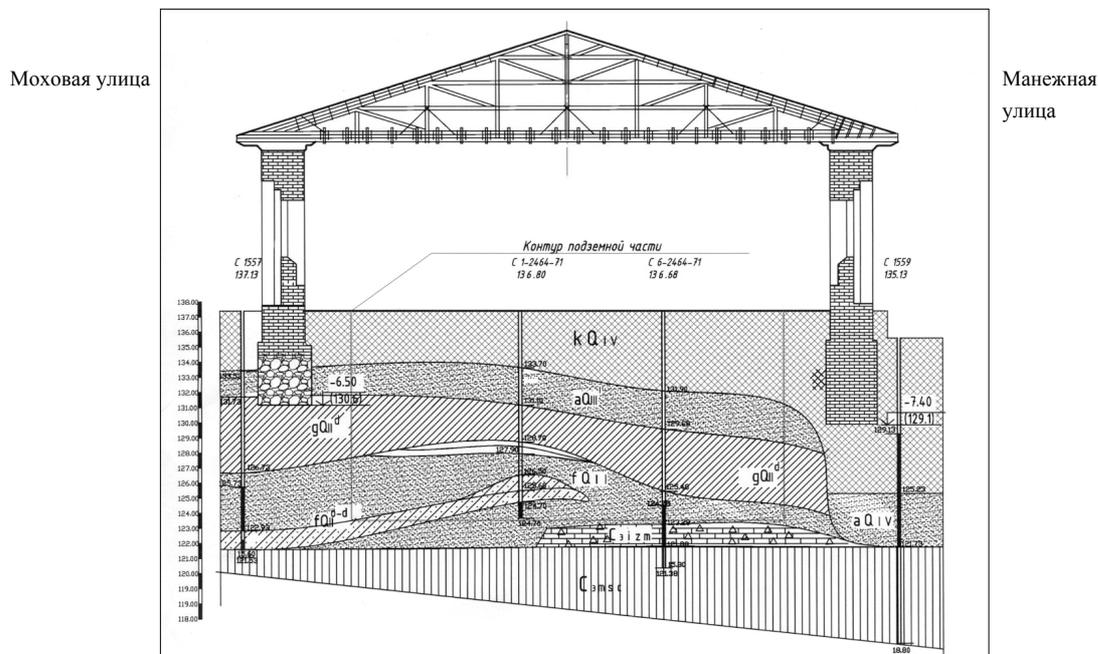


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез

ми разной крупности, средней плотности и плотными. Общая мощность современного аллювия составляет 3,5...6,5 м.

Со стороны Моховой улицы – древнеаллювиальные отложения (aQ_{III}), представленные суглинками и супесями мягкопластичной и пластичной консистенции, а также песками различной крупности, средней плотности, влажными и водонасыщенными. Мощность древнеаллювиальных отложений составляет 1,1...5,5 м.

В пределах древнеаллювиальной террасы залегают моренные суглинки (gQ_{II}^d) тугопластичной консистенции. Мощность морены колеблется от 1,1 до 5,0 м.

Подморенные флювиогляциальные отложения (fQ_{II}^{o-d}) – суглинки, супеси и пески различной крупности, средней плотности, общей мощностью 0,3...6,3 м.

Юрские отложения (J3) мощностью до 1,75 м встречены на глубине 11,5 м и представлены глинами пылеватыми с обломками фауны тугопластичной консистенции.

Ниже, на глубине 10,3...15,2 м, залегают породы верхнекаменноугольного возраста, которые до глубины 32,0 м представлены перемежающимися слоями известняков и глин.

Гидрогеологические условия участка характеризуется распространением трех водоносных горизонтов: местного надморенного (типа «верховодка»), надкаменноугольного и верхнекаменноугольного. Подземные воды типа «верховодка» встречены в насыпных грунтах и в древнеаллювиальных песках на кровле моренных суглинков на глубине 5,8–8,0 м. Залегание уровня подземных вод надкаменноугольного горизонта в разные годы бурения фиксировалось на глубинах 6,14...14,2 м от уровня земли. Воды верхнекаменноугольного горизонта встречены в известняках перхуровской толщи известняков.

Участок для строительства и реконструкции является сложным и оценивается как потенциально опасный в карстово-суффозионном отношении.

2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МАНЕЖА

Во время пожара 14 марта 2004 г. сильно обгорели стены, полностью сгорели деревянные фермы и кровля (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид внутренней стены Манежа после пожара

После пожара для оценки устойчивости стен, а также определения возможности реконструкции здания с устройством подземной части было проведено обследование уцелевших конструкций (наружных стен). Обследование включало визуальные обследования, геодезические и фотограмметрические измерения.

В результате пожара здание утратило пространственную жесткость – не раскреплены кирпичные стены высотой до 12 м, в которых 3/4 высоты стен представляет собой оконные проемы. Их техническое состояние оценивалось как удовлетворительное, однако в отдельных местах стены находились в неудовлетворительном состоянии: произошло разупрочнение кладки сверху стен, а также образование отдельных ниш, трещин и сколов вследствие обрушения конструкций кровли. В кладке стен имелось большое количество вентиляционных каналов и печных дымоходов, существенно снижающих их прочность.

Кроме этого, в результате выполненных инструментальных измерений положения стен Манежа была обнаружена локальная просадка угла здания в осях 1/Л (199 мм).

Фундаменты здания – ленточные, глубиной заложения от 5,27 до 7,4 м выполнены из кладки красного кирпича на известково-песчаном растворе (в верхней части) и из рваного камня-известняка на известковом растворе в нижней части. Большая часть этих фундаментов была выполнена по следующей схеме: до определенной глубины откапывался котлован, затем захватками откапывалась траншея и в нее укладывались камни рваного бута с проливкой известковым раствором, как правило, через 1 м. Выше траншеи устраивали опалубку и в нее укладывали камни известняка. Известковым раствором проливали, как правило, каждый горизонтальный ряд. В средней и верхней частях большинства фундаментов заполнение швов раствором удовлетворительное. В нижней части большинства фундаментов состояние раствора кладки неудовлетворительное. Напомним, что способ устройства исторических фундаментов существенно влияет на прочность кладки. Так, нижняя часть фундамента, в пределах которой бутовый камень уложен в распор практически без проливки раствором, хорошо работает на вертикальную нагрузку. Однако в случае откопки рядом с ним траншеи или котлована прочность кладки уменьшается в несколько раз, а в ряде случаев фундамент может потерять устойчивость. Кроме этого, в соответствии с концепцией реконструкции здания

Манежа было принято решение выполнить внутри него котлован глубиной 7,5 м.

В соответствии с действующими московскими нормами при реконструкции зданий исторической застройки выдвигаются жесткие требования, ограничивающие дополнительные деформации существующих стен. С учетом утраты пространственной жесткости здания в результате пожара допускаемая величина дополнительных осадок составляет 10 мм, а допустимая величина крена – $7 \cdot 10^{-4}$. Указанные требования являются достаточно жесткими, их обеспечение требует применения щадящих и надежных технологий при устройстве подземной части здания. С учетом этих требований, были выполнены [1]:

- усиление кладки фундаментов;
- укрепление грунта основания;
- устройство буроинъекционных свай (в местах расположения под подошвой фундаментов насыпных грунтов и рыхлых песков).

В связи с устройством подземной части были выполнены:

- анализ вариантов устройства подземной части здания, различающихся способами устройства ограждения котлована и его крепления (с помощью программы PLAXIS);
- размещение стены в грунте на расстоянии 4 м от стен Манежа;
- разгрузочная траншея (для уменьшения перемещения стены в грунте) глубиной около 4 м, используемая в качестве коммуникационного коридора;
- жесткий контроль на всех стадиях выполнения работ со стороны проектных организаций;

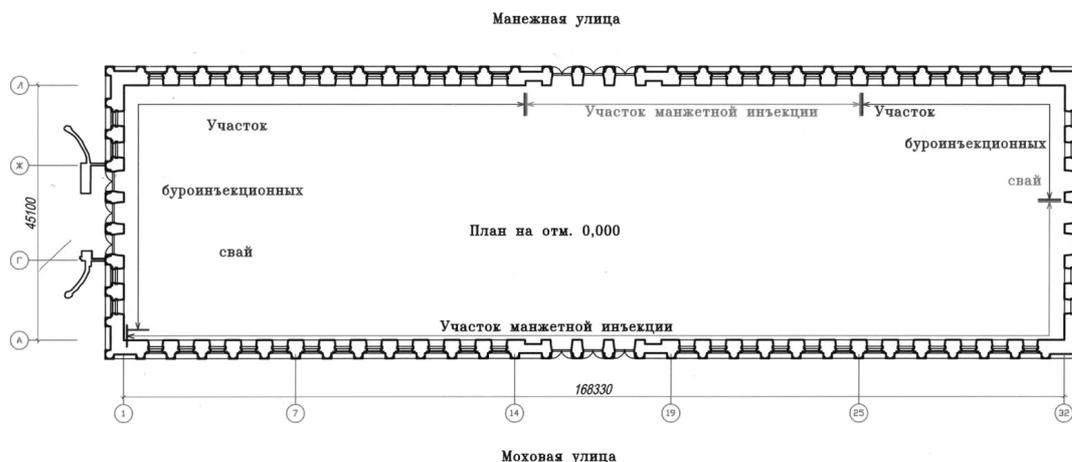


Рис. 4. Схема расположения участков буроинъекционных свай и цементации по манжетной технологии

комплексный мониторинг.

Все работы от усиления фундаментов до отделки были выполнены в течение 1 года!;

На начальном этапе работ по реконструкции здания Манежа было выполнено усиление кладки фундаментов и контакта фундамент-грунт цементно-песчаным раствором для заполнения имеющихся в кладке фундамента и в его основании пустот, полостей и разуплотнений.

Скважины цементации расположены вдоль несущих стен с наружной и внутренней сторон здания с шагом 1,0 м. Из одной точки выполняли две скважины, расположенные под разными углами. Ввиду значительной глубины заложения фундаментов (5,3...7,4 м) цементацию проводили двумя нисходящими зонами с повторным разбуриванием зацементированной ранее зоны. Цементный раствор (В/Ц=0,6...0,7) с подвижностью 23 см и объемной усадкой <2% нагнетали под давлением 0,2...0,5 МПа.

Цементация насыпных грунтов и рыхлых песков осуществлялась методом многофазовой инъекции по манжетной технологии, а в зоне распространения насыпных грунтов значительной мощности фундаменты были усилены буроинъекционными сваями (рис. 4).

Точки цементации были расположены под разными углами по наружным и внутренним сторонам несущих стен с шагом 1,0 м, по две скважины в каждой точке. Цементация контакта «фундамент-грунт» выполнялась на глубину 0,5 м ниже подошвы фундамента. Цементация фундаментов и контакта «фундамент-грунт» была произведена в период с 20 апреля по 15 мая 2004 г.

В кратчайшие сроки, с 16 мая по 17 июня 2004 г. были выполнены работы по укреплению рыхлых песков основания методом цементации по манжетной технологии (по Моховой улице), а также по устройству буроинъекционных свай диаметром 200...220 мм, длиной 18...20 м в зоне распространения насыпных грунтов значительной мощности по Моховой и Манежной улицам. Инъекция по манжетной технологии проводилась через скважины глубиной 12...15 м, расположенные с шагом 0,9 м с двумя углами наклона из каждой точки инъекции.

Мероприятия по укреплению фундаментов и усилению грунта основания обеспечили удовлетворительное состояние фундаментов всего здания и позволили приступить к освоению подземного пространства Манежа.

3. ИНЖИНИРИНГОВЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ РАБОТЫ

Первоочередной задачей при освоении подземного пространства являлась разработка оптимальных технических решений, гарантированно обеспечивающих сохранность существующих стен Манежа. Следует отметить, что на данном объекте с учетом его уникальности и исторической ценности, в качестве критерия оптимальности может выступать повышенная надежность реконструируемого здания, в том числе обеспечение минимально возможной дополнительной осадки исторических фундаментов и стен. Указанный критерий был принят в качестве определяющего для проектирования. На принятие технического решения оказывали влияние дополнительные факторы. Так, в связи с необходимостью проведения археологических раскопок внутри здания не были приняты варианты с устройством пионерного котлована на глубину 3...3,5 м. Рассмотрены следующие возможные варианты устройства ограждения котлована.

Ограждение в виде «стены в грунте». Указанный вариант позволяет максимально снизить расчетную величину осадок существующих стен здания Манежа. Способ производства работ исключает аварийные воздействия из-за возможного прорыва техногенных вод или верховодки в котлован. Стена в грунте должна выполняться из бетона повышенной водонепроницаемости класса W-12. Ограждение из такого бетона не требует устройства сплошной вертикальной гидроизоляции. Отметим, что при строительстве расположенного рядом подземного торгового-развлекательного комплекса «Манежная площадь» успешно использовался указанный тип ограждения. При производстве работ практически отсутствовали технологические осадки окружающих зданий и сооружений.

Котлован в естественных откосах. Указанный вариант не был принят из-за больших прогнозируемых величин горизонтальных

перемещений существующих стен здания Манежа. При указанном способе производства работ горизонтальные перемещения верха стены могли составить 7...12 см, что превышает предельно допустимые величины кренов сохранившихся стен здания.

Ограждение из металлических труб. Вариант не был принят из-за возможных вывалов и выноса грунта в местах устройства забирки, а также из-за превышения прогнозируемых дополнительных осадок над допустимыми величинами. В связи с тем что ограждение из труб не способно воспринимать вертикальную нагрузку, кроме выполнения шпунтового ограждения, рядом с ним требуется устройство дополнительных опор для поддержки верхнего перекрытия, а также устройство гидроизоляции и стен ограждения подземной части здания.

Ограждение из буронабивных или буронабивных свай. Вариант устройства ограждения из свай не был принят из-за возможных динамических воздействий при устройстве буронабивных свай. Кроме этого, для этого варианта прогнозируемая деформация существующего фундамента больше, чем для варианта ограждения в виде стены в грунте.

Ограждение из свай по технологии CFA. Указанный способ, обладая всеми недостатками варианта ограждения из труб, имеет несколько большую стоимость.

Сплошное шпунтовое металлическое ограждение (в том числе из шпунта Ларсена). Недостатками этого способа являются существенные динамические воздействия на фундаменты при погружении шпунтов, а также невозможность проходки шпунтами насыпных грунтов и других грунтов с крупными включениями. Кроме того, шпунтовое ограждение не несет вертикальной нагрузки и требуется дополнительное устройство внешних стен подземной части Манежа.

Для каждого из рассмотренных вариантов проводилось моделирование влияния строительства на существующие стены здания с помощью программы PLAXIS.

Моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива и расчет ограждающих конструкций проводились в соответствии с историческим процессом его формирования. Математическое

моделирование для каждого расчетного сечения выполнялось поэтапно.

1. Загрузка расчетной области собственным весом грунта и определение начального напряженно-деформированного состояния грунтового массива.

2. Моделирование строительства здания Манежа.

3. Моделирование устройства ограждения.

4. Моделирование устройства коммуникационного коридора.

5. Моделирование экскавации котлована.

6. Проведение расчетов общей устойчивости грунтового массива методом пропорционального снижения прочностных характеристик.

Для детальной проработки были выбраны следующие варианты экскавации грунта:

разработка грунта непосредственно с поверхности земли;

разработка грунта с предварительным устройством траншеи под коммуникационный коридор.

Численное моделирование показало, что при проведении экскавации по схеме «а» прочность ограждающей конструкции обеспечена для большинства расчетных сечений, однако величина коэффициента запаса общей устойчивости грунтового массива, примыкающего к ограждению, близка к 1.1. Для варианта «а» расчетная величина дополнительных осадок существующего здания Манежа на стадии экскавации котлована находится в диапазоне 6–13 мм. При проведении расчетов с учетом предварительного устройства траншеи под коммуникационный коридор обеспечивалась прочность стены в грунте по всем расчетным сечениям. Расчетная величина коэффициента запаса общей устойчивости составила около 1.3. Указанное проектное решение могло быть реализовано в натуре без каких-либо дополнительных мероприятий при экскавации котлована. Для варианта «б» расчетная величина дополнительных осадок здания Манежа на стадии экскавации котлована находится в диапазоне 3–6 мм. Результаты расчетов по одному из расчетных сечений приведены на рис. 5–8.

Вариант «б» был рекомендован для реализации в натуре. Для указанного варианта

расчетная величина осадки подземной части здания составляла менее 12 мм. Расчетная величина осадок стены в грунте на незагруженных участках составила 3...4 мм, а на загруженных – 7...9 мм. На основании численного моделирования были определены жесткостные характеристики основания для проведения расчетов подземной части комплекса по пространственным расчетным схемам.

Таким образом, в качестве проектного решения для разработки подземной части было выбрано строительство в открытом котловане глубиной 7,5 м с устройством

консольной ограждающей конструкции стена в грунте толщиной 0,6 м, глубиной 12...14 м. Проектирование велось с учетом того, что при принятом способе производства работ стена в грунте выполняет не только функции ограждающей конструкции, но и воспринимает вертикальные нагрузки от веса перекрытия, а также технологические нагрузки от строительной техники.

После устройства стены в грунте проектом предусматривалась разработка грунта образовавшегося пространства между стеной в грунте и стенами здания до отм. –4,0 м от верха ограждающей конструкции. Далее

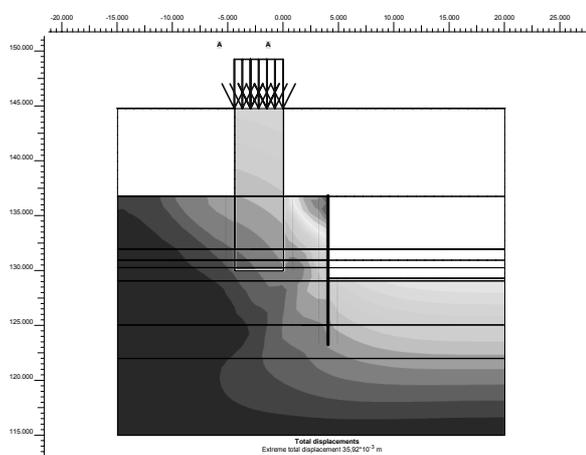


Рис. 5. Изополе общих деформаций грунтового массива без устройства траншеи под коммуникационный коридор

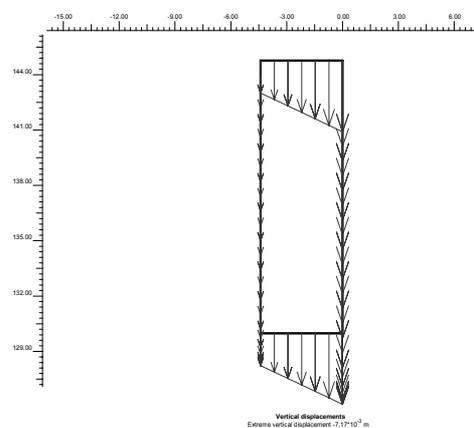


Рис. 6. Вертикальные перемещения существующей стены без устройства коммуникационного коридора

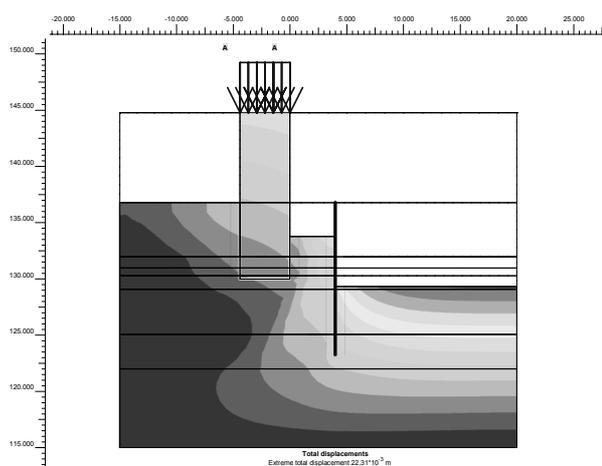


Рис. 7. Изополе общих деформаций грунтового массива с учетом устройства траншеи под коммуникационный коридор

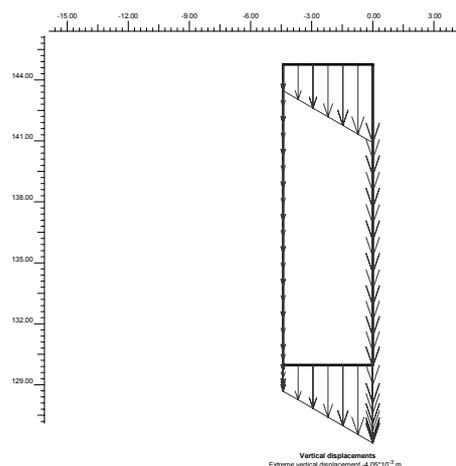


Рис. 8. Вертикальные перемещения существующей стены при устройстве коммуникационного коридора

выполнялись нижняя монолитная плита и перекрытие коллектора, служащие фиксирующими элементами как для стены в грунте, так и для стен Манежа. После этого производилась экскавация грунта из основного котлована до проектной отметки $-7,5$ м, после чего выполнялись все работы по устройству конструкций подземной части, в том числе фундаментной плиты.

Один из этапов проведения работ с устройством траншеи под коммуникационный

коридор показан на рис 9.

Экспликация грунта из котлована предварялась археологическими раскопками, в результате которых были обнаружены древняя мостовая, колодец, части срубов и т. п. (рис 10).

4. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

В соответствии с московскими строительными нормами, реконструкция такого



Рис. 9 . Общий вид площадки реконструкции

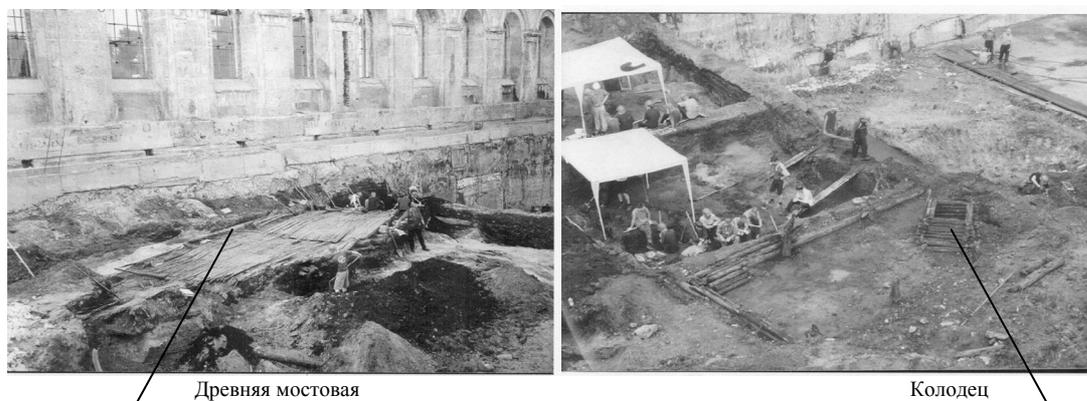


Рис. 10. Результаты раскопок внутри Манежа

уникального объекта в обязательном порядке должна сопровождаться мониторингом. НИИОСП им. Н. М. Герсеева разработал программу мониторинга, включившую наблюдения за состоянием реконструируемого здания, окружающей застройки, ограждающей конструкции и массива грунта (рис. 11).

Мониторинг состояния конструкций здания Манежа заключался в инструментальных измерениях осадок фундаментов, плановых перемещений стен и их кренов. Для получения более полной информации и исключения ошибок измерения плановых перемещений

стен проводились с помощью фотограмметрии и лазерного сканера. Фотограмметрия выполнялась на участках стен, в пределах которых по результатам визуального обследования могли иметь место отклонения от вертикали, лазерное сканирование проводилось для обеих продольных стен.

Результаты измерений показали, что плановые перемещения стен здания практически отсутствовали (максимальное значение 3,6 мм). Также не были зафиксированы вертикальные и плановые перемещения грунтового массива и конструкции стена в грунте. Уро-

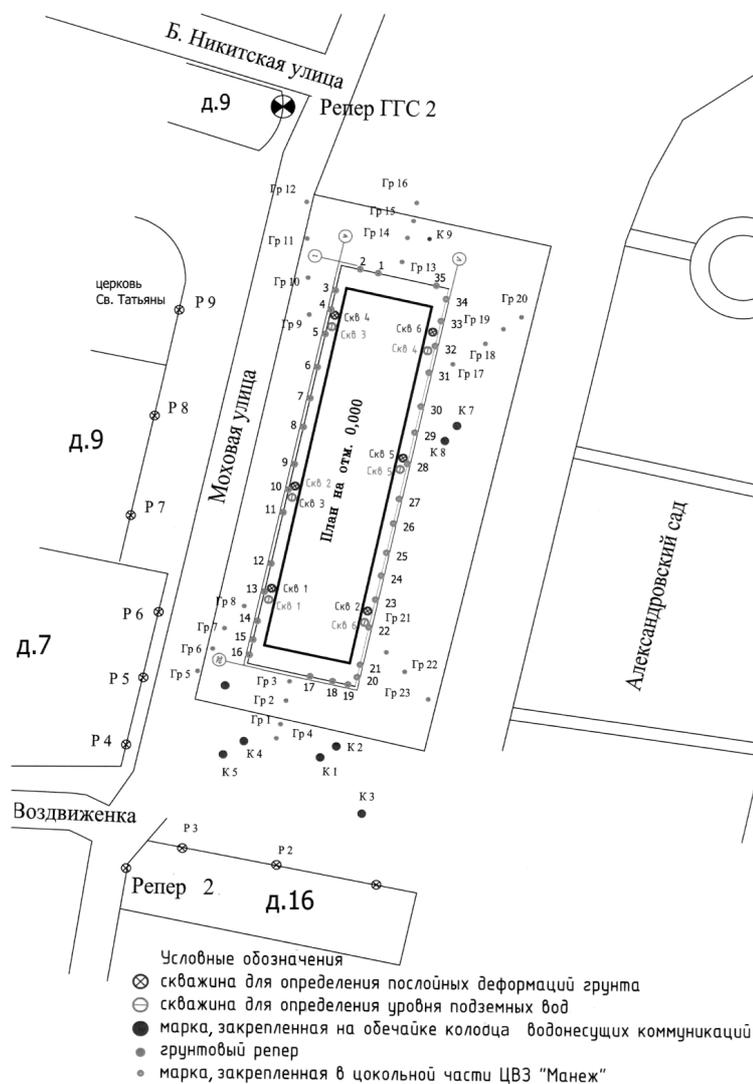


Рис. 11. План размещения наблюдательных точек для проведения мониторинга

вень подземных вод за весь период наблюдений находился в пределах сезонных колебаний. За период реконструкции осадка марок на зданиях окружающей застройки не зафиксирована.

Наибольший интерес представляют данные измерения осадок фундаментов по маркам, установленным в цокольной части стен. За все время наблюдений (1.04.04–30.12.04 г.) было выполнено 16 циклов нивелирования, причем с 1.06.04 г. по 7.07.04 г., во время усиления фундаментов и грунта основания и устройства стены в грунте, измерения марок проводились еженедельно. По результатам измерений были построены графики изменения во времени осадок марок, установленных в цокольной части продольных стен по осям А и Л. График дополнительной осадки фундамента по оси Л представлен на рис. 12.

Максимальные осадки марок за период выполнения работ по реконструкции здания Манежа (4.04.04–18.12.04 г.) зафиксированы в центральной части продольной стены по оси Л, в торцевой стене по оси «1» и участках стен по осям А и Л, примыкающих к торцу, а также на участках стены в осях 24-26 и 5-10 по оси А. Значения максимальных осадок на этих участках составили 8,4...12,1 мм. Зона максимальных деформаций грунтов основания фун-

даментов практически повторяет схему расположения участков распространения насыпных грунтов, а также зон, где по данным откопки шурфов были встречены рыхлые пески.

Рассмотрим результаты измерений положения марок, имеющих максимальные осадки при различных способах усиления грунтов основания фундамента. На рис. 13 представлен график дополнительных осадок во времени марок 7 и 30, расположенных соответственно в зонах цементации грунта основания по манжетной технологии и устройства буронабивных свай.

Можно констатировать, что способ усиления основания не повлиял на характер и значение осадок. На конец наблюдений (18.12.2004 г.) дополнительная осадка марок была практически одинаковой (10,7 и 11,4 мм соответственно по маркам 7 и 30). Максимальный прирост осадок по обоим маркам в течение июня 2004 г. составил около 6 мм, а общая дополнительная осадка на 7 июля составила по марке 7–8,1 мм, а по марке 30–9,5 мм. В период с 1.06 по 7.07.04 г. практически без технологических перерывов и простоев в работе последовательно выполнялись работы по усилению грунта основания по манжетной технологии, устройству буронабивных свай, а также стены в грунте. Таким образом, указанные осадки являются

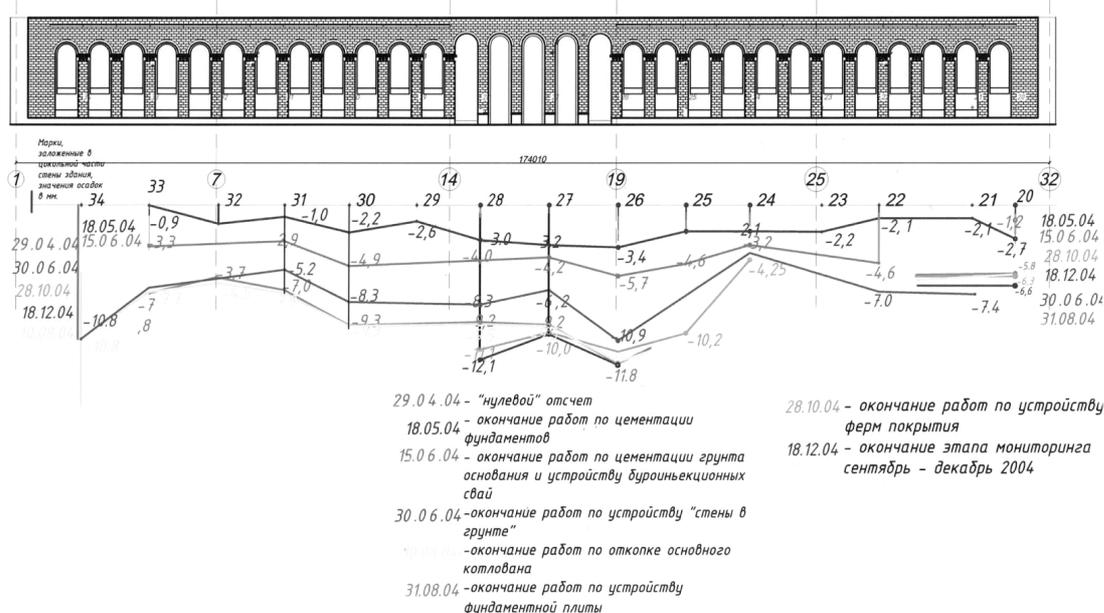


Рис. 12. График дополнительной осадки фундамента по оси Л в процессе выполнения работ

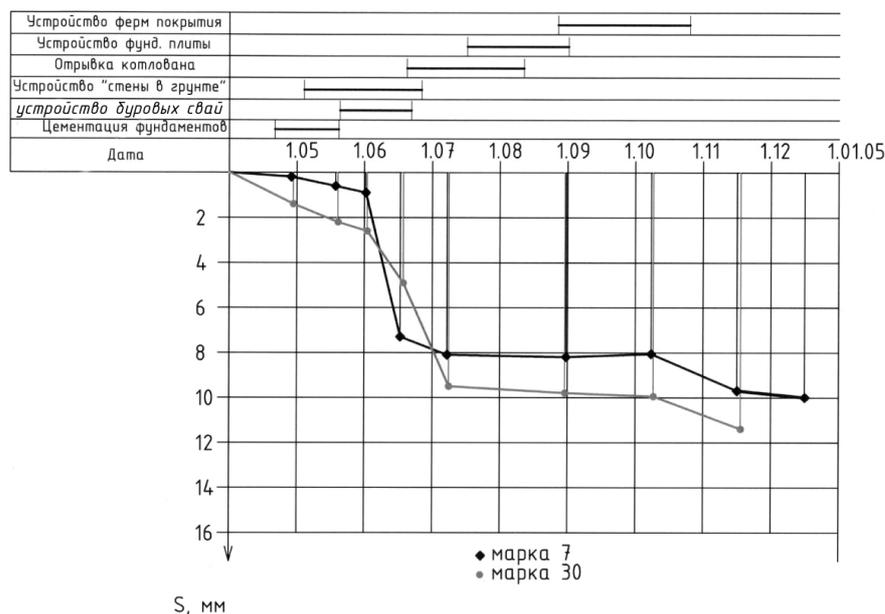


Рис. 13. Развитие осадок в процессе реконструкции

технологическими осадками, связанными с выполнением основных геотехнических работ.

Следует отметить, что усиление фундаментов и грунта основания, а также устройство буроинъекционных свай включало неоднократное разбуривание тела фундамента. Однако все эти работы не привели к существенным осадкам, что указывает на хорошее качество работ, надежность методов расчета и принятых проектных решений. Из графика на рис. 13 видно, что экскавация грунта из котлована также не повлияла на состояние фундаментов здания Манежа, дополнительный прирост осадок по маркам не превысил 1 мм. Далее были начаты работы по установке стропильных ферм, в результате которых были зафиксированы дополнительные осадки, составившие около 2 мм. Причем осадка фундаментов здания от этого вида работ начала фиксироваться через месяц после завершения установки ферм.

Измеренные в результате мониторинга осадки фундаментов манежа полностью корреспондируют с результатами расчета. Так, по расчету, в случае предварительного устройства траншеи и полного нагружения стен здания величина дополнительной осадки фундаментов составила 3...6 мм. По результатам мониторинга, дополнительная осадка фундаментов от откопки котлована составила 1...3 мм.

В целом можно заключить, что полученные значения осадки незначительны по величине (максимальные значения около 10 мм) и не привели к заметному снижению несущей способности стен здания. При этом большая часть осадки фундаментов произошла в процессе производства работ по устройству буроинъекционных свай и усилению грунта основания цементацией по манжетной технологии (30...50% от общей величины осадки), а также в процессе устройства «стены в грунте» (30...40%). Работы по экскавации грунта из котлована привели к осадкам, составившим порядка 10...20% от общей осадки.

Благодаря труду строителей, изыскателей, проектировщиков и ученых все работы по возрождению Манежа и освоению подземного пространства в самом центре Москвы были выполнены в небывало короткие сроки – за 13 месяцев (с момента пожара 14 марта 2004 г. до торжественного открытия 18 апреля 2005 г.) и без ущерба для зданий окружающей застройки.

Список литературы

1. Проектирование подземной части Манежа в процессе его воссоздания / Левченко А. Н., Ильичев В. А., Петрухин В. П., Кисин Б. Ф., Семкин В. В., Шапошников А. В. // Метро и тоннели. 2005. №2.