УДК 528.28

Д.А.АФОНИН, *аспирант, geodesy.pgups@gmail.com*
Е.С.БОГОМОЛОВА, *доцент, geodesy.pgups@gmail.com*
М.Я.БРЫНЬ, *канд. техн. наук, доцент, kig@pgups.edu*
Д.В.КРАШЕНИЦИН, *старший преподаватель, geodesy.pgups@gmail.com*
О.П.СЕРГЕЕВ, *канд. техн. наук, доцент, geodesy.pgups@gmail.com*
Е.Г.ТОЛСТОВ, *канд. техн. наук, доцент, geodesy.pgups@gmail.com*
Петербургский государственный университет путей сообщения

D.A.AFONIN, *post-graduate student, geodesy.pgups @gmail.com*
E.S.BOGOMOLOVA, *associate professor, geodesy.pgups @gmail.com*
M.J.BRYN, *PhD in eng. sc., associate professor, kig@pgups.edu*
D.V.KRASHENITSIN, *senior lecturer, geodesy.pgups @gmail.com*
O.P.SERGEEV, *PhD in eng. sc., associate professor, geodesy.pgups @gmail.com*
E.G.TOLSTOV, *PhD in eng. sc., associate professor, geodesy.pgups @gmail.com*
Petersburg State Transport University

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ 2-Й СЦЕНЫ МАРИИНСКОГО ТЕАТРА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Приведена методика выполнения геодезических работ при строительстве 2-й сцены Мариинского театра в Санкт-Петербурге. Детально рассмотрены основные этапы этих работ: проектирование, создание и мониторинг опорной геодезической сети, геодезические работы при устройстве опытного котлована, геодезические работы при строительстве подземной части театра и наблюдение за осадками и кренами зданий окружающей строительство застройки.

Ключевые слова: подземное строительство, наблюдение за осадками и кренами, опорная геодезическая сеть.

LAND MEASURING AT SUBSTRACTURE CONSTRUCTION OF MARIINSKY THEATRE SECOND STAGE IN SAINT PETERSBURG

The implementation technique of land measuring at construction of Mariinsky theatre second stage in Saint Petersburg is presented. Basic steps of these works, such as designing, creation and monitoring of supporting geodetic network, land measuring at the establishment of experimental trench, land measuring at substracture construction of the theatre, precipitation and circumferential building careens supervision are investigated in detail.

Key words: underground building, monitoring of sediments and rolls, reference geodesic network.

Введение. На сегодняшний день признано, что альтернативы подземному строительству в крупных городах нет. А это связано с рисками деформаций зданий и сооружений в районе строительства. Поэтому геодезическое обеспечение подземного строительства должно, в первую очередь, иметь целью определение деформаций ограждающих котлован конструкций и зданий окружающей застройки.

Одним из первых крупномасштабных объектов подземного строительства в исторической части Санкт-Петербурга является строительство 2-й сцены Мариинского театра. Условия строительства характеризуются плотной застройкой, высоким уровнем грунтовых вод, низкими прочностными и деформационными свойствами грунтов.

Полномасштабное строительство сцены началось в июне 2007 г., однако уже через полгода были превышены допустимые значения осадок окружающих стройку зданий, что потребовало изменения технологии работ. Именно в этот период к выполнению геодезических работ была подключена кафедра «Инженерная геодезия» ПГУПС. Кафедра выполняла проектирование, создание и мониторинг опорной геодезической сети, геодезические работы при устройстве опытного котлована и при строительстве подземной части театра, а также наблюдение за осадками и кренами зданий окружающей строительство застройки.

Проектирование, создание и мониторинг опорной геодезической сети. С учетом плотной застройки территории строительства было принято решение о закреплении пунктов геодезической сети пленочными отражателями на зданиях окружающей застройки. Использование пленочных отражателей в качестве пунктов сети предполагает, что определение плановых координат требуемых точек будет выполняться методом свободного станционирования. Сущность метода заключается в том, что электронный тахеометр устанавливается в произвольном месте (станции), фиксируется положение точки стояния тахеометра обратной засечкой путем привязки к пунктам сети и в дальнейшем определяются координаты требуемых точек.

Для проектирования сети был использован метод анализа иерархий. В рамках этого метода структура задачи оптимального выбора представляется в виде иерархии, которая в простейшем случае включает три уровня: верхний уровень – оптимальный выбор; следующий уровень – критерии; нижний уровень – альтернативы.

Для оценки влияния нижних уровней иерархии на высшие уровни строят матрицы парных сравнений элементов нижнего уровня относительно элемента следующего высшего уровня. Эти матрицы можно формировать как на основе реальных измерений, так и с помощью фундаментальной шкалы (шкала Саати). В рамках метода анализа иерархий предложены и использованы следующие основные критерии: точность обратной засечки, угол падения визирного луча на отражательные пленки, расстояние от станции до пунктов, «сохранность» пунктов, «связанность» пунктов. Однако с учетом конкретной ситуации на строительной площадке пришлось отступить от проектного расположения пунктов. В результате на начальном этапе сеть была закреплена 10 отражательными пленками, из которых 4 находились вне зоны возможных деформаций (рис.1).

Для определения координат пунктов сети на строительной площадке было выбрано три точки стояния электронного тахеометра «Sokkia SET IX», с которых выполнены угловые измерения тремя приемами, а также линейные измерения одним приемом на смежные точки стояния и на пункты сети. В дальнейшем с учетом требования соблюдения выгодных условий измерений в режиме «определение недоступных расстояний» было выполнено измерение расстояний между пунктами геодезической сети. Сеть была уравнена по методу наименьших квадратов в программе NW, разработанной на кафедре профессором В.А.Коугия.

Мониторинг сети заключался в ежемесячном определении координат пунктов сети по описанной выше методике. При этом ответственным этапом работ после выполнения полевых измерений являлось определение пунктов, сохранивших неизменным свое положение. Именно они принимались в качестве исходных при уравнивании сети. Эта задача решалась путем сравнения расстояний между пунктами сети в текущем и предыдущем циклах измерений.

Исходная высотная основа строительства создана путем построения сети геометрического нивелирования III класса.

Полученные координаты пунктов и высоты реперов послужили исходными при выполнении геодезических работ на разных этапах строительства.

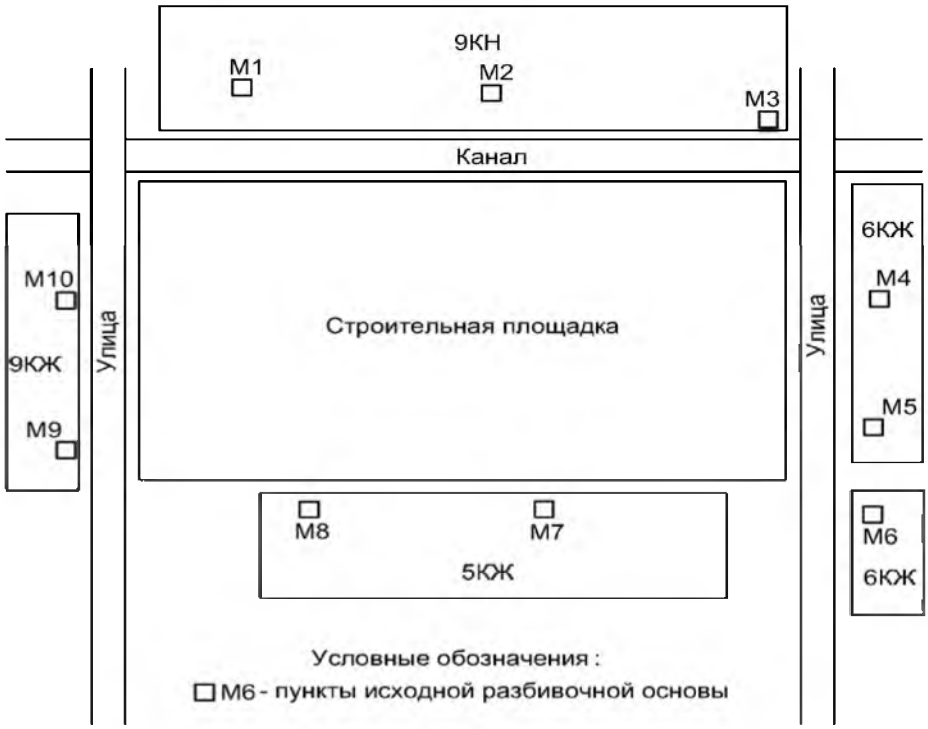


Рис.1. Схема расположения пунктов плановой геодезической сети

Геодезические работы при устройстве опытного котлована. Устройство опытного котлована диктовалось необходимостью проведения натурных измерений с целью выбора методик прогноза поведения ограждающих конструкций и окружающего массива грунта. Опытный котлован размером в плане 44,35 × 12,85 м был оборудован в пионерном котловане, его ограждение было выполнено из фасованных шпунтовых свай корытного профиля. Шпунт был погружен до отметки минус 22,50 м. Горизонтальные усилия на ограждение, обусловленные действием окружающим массивом грунта, передавались на балки распорной системы. Распорная система состояла из трех уровней, в каждой из которых было по шесть балок. На верхних срезах шпунта были приварены марки *S*1-*S*11, а вниз по шпунтам на трех уровнях приклеены пленочные отражатели, общим числом 33 шт. (рис.2). Контрольные марки были установлены также на различных удалениях от опытного котлована. Плановое положение отражателей определялось еженедельно методом свободного станционирования электронным тахеометром «Sokkia SET IX», а высоты марок – геометрическим нивелированием по программе IV класса. При этом средняя квадратическая ошибка определения координат точек стояния электронного тахеометра не превышала 1 мм.

Наблюдения за смещениями шпунта опытного котлована проводились в период струйной цементации грунтов (всего зацементировано около 2200 скважин), проведения работ по устройству крепления пионерного котлована по технологии «стена в грунте» и экскавации грунта. Геодезические наблюдения позволяли судить о влия-

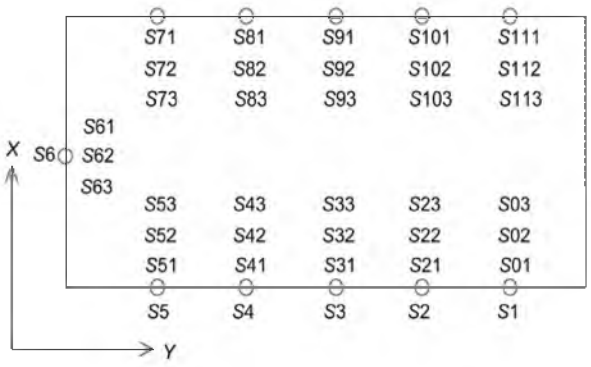


Рис.2. Схема расположения марок по шпунтовому ограждению опытного котлована

нии тех или иных технологических операций на смещение шпунтового ограждения. Так, в промежутке между наблюдениями с 22.09.08 по 26.09.08 произошли существенные смещения шпунта, вызванные струйной цементацией грунтов около северной стенки шпунтового ограждения опытного котлована.

Результаты горизонтальных смещений верха и низа шпунтового ограждения в этот период приведены в табл.1 и 2. Знак « + » указывает на уширение (раскрытие) стенок шпунтового ограждения, знак « – » на сжатие стенок шпунтового ограждения.

Таблица 1

Горизонтальные смещения верха шпунтового ограждения, мм

Дата	Сечение *S*4-*S*8	Сечение *S*3-*S*9	Сечение *S*2-*S*10
26.09.08	–1	+25	+17
29.09.08	+15	+33	+19

Таблица 2

Горизонтальные смещения низа шпунтового ограждения, мм

Дата	Сечение *S*43-*S*83	Сечение *S*33-*S*93	Сечение *S*23-*S*103
26.09.08	–12	–34	–28
29.09.08	–25	–38	–33

Из данных, приведенных в табл.1 и 2, видно, что по верху шпунтового ограждения опытного котлована к 29.09.08 произошло раскрытие стенок шпунтового ограждения котлована до 33 мм в сечении *S*3-*S*9, а по низу шпунтового ограждения произошло сжатие стенок шпунтового ограждения до 38 мм в сечении *S*33-*S*93.

В промежутке между наблюдениями с 20.10.08 по 28.10.08 произошли существенные смещения шпунта. Максимальные горизонтальные смещения зафиксированы в районе расположения марок *S*9 – на 111 мм и *S*8 – на 70 мм в сторону ул. Декабристов с одновременным поднятием на 25-26 мм. Причиной деформаций явилась выборка грунта около северной стенки шпунтового ограждения опытного котлована.

Геодезические работы при строительстве подземной части. Техническим проектом строительства подземной части

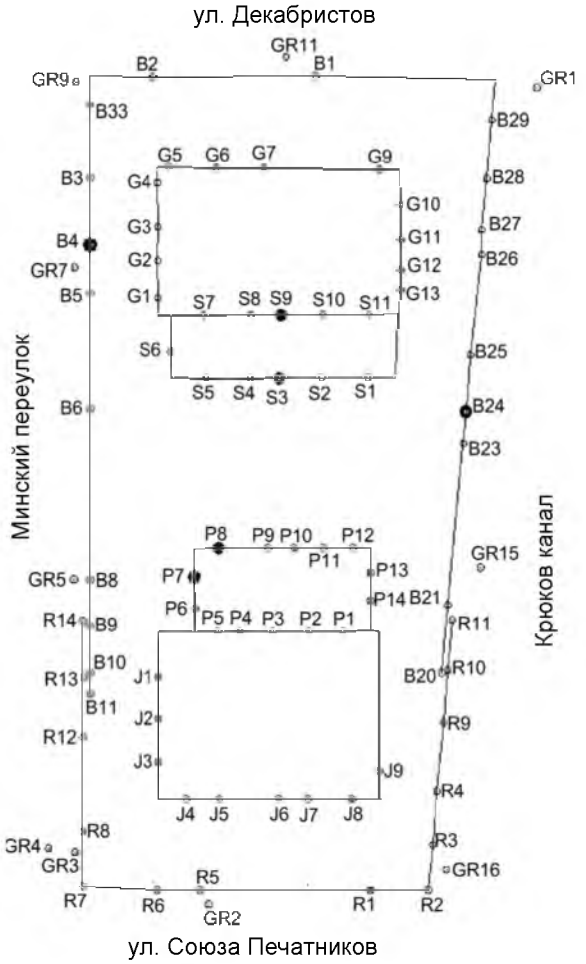


Рис.3. Схема расположения деформационных марок на шпунтовом ограждении котлованов

было предусмотрено усиление шпунтового ограждения по периметру котлована и поэтапное строительство с нулевой отметки до отметок минус 4, 8, 12 м соответственно. При этом разработка грунта осуществлялась под бетонной плитой, грунт подавался на поверхность через технологические отверстия. Работы при этом проводились не на одной отметке, а участками, во избежание подвижки стены.

Геодезические работы в этот период сводились к определению плановых координат и высот марок на шпунтовом ограждении и на бетонных плитах.

Анализ деформаций еженедельно проводился после каждого цикла наблюдений. До конца сентября 2008 г. существенных подвижек шпунта не наблюдалось. Это объясняется тем, что в котловане работы по выборке грунта практически не производились.

В октябре произошли подвижки шпунтового ограждения, причиной которых послужили выполняемые работы по выборке грунта. В районе расположения марок В7-В14 (рис.3) наблюдались горизонтальные смещения от 35 до 100 мм в сторону Крюкова канала, а в районе расположения марок В17-В21 смещения от 13 до 30 мм в сторону Минского переулка. В районе расположения марок В26-В31 – осадки размером 11-17 мм.

Выводы

1. Предложена схема и программа проектирования (на основе метода анализа иерархий), создания и мониторинга плановой опорной геодезической сети строительства подземных сооружений в виде линейно-угловых построений, в которых длины линий между пунктами сети измеряют в режиме «определения недоступных расстояний». При этом сами пункты закрепляются пленочными отражателями.

2. При строительстве значимых объектов в исторической части мегаполисов необходимо на объекте строительства устраивать опытные котлованы, за деформациями шпунтового ограждения которых необходимо проводить геодезические наблюдения.

3. Геодезические работы на объекте работ должны быть ориентированы на использование возможностей современных средств геодезических измерений (электронных тахеометров, цифровых нивелиров). При этом для электронного тахеометра наиболее широко следует использовать метод свободного станционирования.