

Геотехнический мониторинг при щитовой проходке наклонного тоннеля Санкт-Петербургского метрополитена.

В 2010-2011 гг. выполнена проходка эскалаторного тоннеля станции «Адмиралтейская» Санкт-Петербургского метрополитена.

90% трассы тоннеля расположено в четвертичных отложениях. Геологический разрез представлен: насыпными грунтами мощностью ≈ 2 м, озерно-моренными водоносными песками крупными и пылеватыми ≈ 8 м, супесями текучей консистенции ≈ 5 м и текучепластичными суглинками $\approx 1,5$ м; озерно-ледниковыми текучими ленточными глинами ≈ 9 м, слоистыми суглинками мягкопластичной консистенции ≈ 3 м и супесями пластичными с включениями гравия, гальки и валунов ≈ 2 м. Общая мощность слабых, сильносжимаемых, неустойчивых отложений составляет около 28м. Ниже, до глубины ≈ 46 м, залегают суглинки лужской морены с включениями гравия и гальки до 5...20% и отдельными валунами, тугопластичной консистенции, с линзами супесей текучей консистенции. На глубине 51...55м прослеживаются межморенные ленточные и слоистые суглинки тугопластичной консистенции. Моренные и межморенные суглинки характеризуются как сравнительно слабые, неустойчивые грунты. Все четвертичные отложения водонасыщены. С глубины свыше 55м залегают котлинские глины аргиллитоподобные тонкослоистые консистенции практически сухие с прослоями песчаника $\approx 1,5...5$ см.

Эскалаторный тоннель сооружен диаметром 10,4м тоннелепроходческим механизированным щитовым комплексом (ТПМК) с грунтовым пригрузом забоя, способным вести проходку в грунтах от пылеватых песков до полускальных и скальных грунтов при гидростатическом давлении до 0,55МПа.

Крепление тоннеля выполнено блочной железобетонной обделкой из водонепроницаемого бетона с резиновым уплотнением стыков.

Кольцевое пространство за бетонными блоками вслед за проходкой заполнялось специальным водонепроницаемым быстротвердеющим раствором.

Монтаж ТПМК осуществлялся в стартовом котловане порталным краном.

По завершению строительства стартовой камеры производился монтаж комплекса и ввод его в начальный участок тоннеля (рис.1).

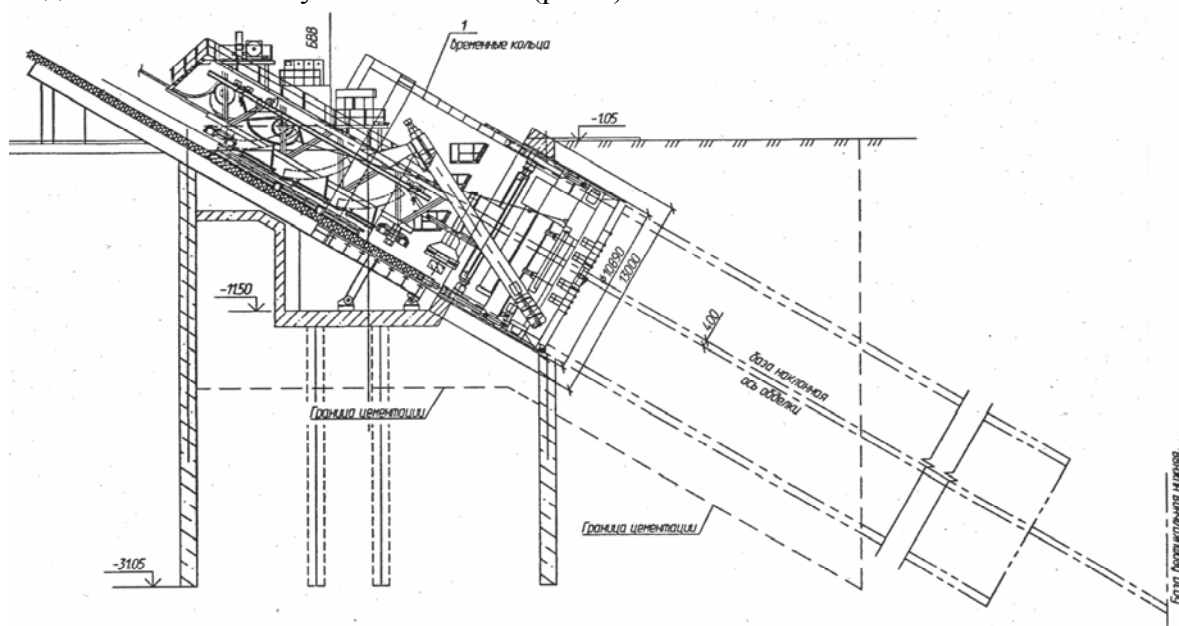


Рис.1. Схема начала проходки наклонного хода ст. «Адмиралтейская»

После завершения проходки ТПМК демонтировали с выдачей узлов на поверхность по построенному тоннелю, внешнюю часть оболочки щита не демонтировали.

Геотехнический мониторинг включает систему постоянных и непрерывных наблюдений, анализа и прогноза геодинамического состояния объектов, подвергаемых воздействию в процессе вновь производимых строительных работ, а также оценку негативного влияния горных работ на окружающую застройку.

Геотехнический мониторинг осуществляли в пределах границ землеотвода, а также за их пределами в зоне влияния горных работ.

Станция «Адмиралтейская» входит в состав 5 линии Петербургского метрополитена.

Данный метод для проходки наклонного тоннеля в условиях Санкт-Петербурга применен второй раз (впервые – на ст. «Обводный канал»).

Техногенные процессы, сопровождающие строительство любых подземных объектов, в том числе и транспортных тоннелей, активизируют развитие некоторых геологических явлений. Наибольшую опасность для окружающей среды представляют нарушение естественного состояния массива горных пород, гидрогеологических условий, температурного поля и т.п. следствием этих процессов являются осадки земной поверхности, изменение режима течения подземных вод, а в случае расположения вблизи строящихся тоннелей других поверхностных или подземных объектов, возможное нарушение их штатной эксплуатации. Поэтому осуществление непрерывных наблюдений за состоянием системы «массив-обделка» строящегося тоннеля позволяют контролировать и при своевременных мероприятиях (разрабатываемых на основании результатов мониторинга) минимизировать влияние горных работ на окружающую среду, повысить безопасность горнопроходческих работ.

Для этого необходимо было решить следующие задачи:

- оценить состояние окружающей застройки и дневной поверхности;
- осуществлять контроль высотных и горизонтальных смещений окружающей застройки;
- осуществлять контроль качества работ по закреплению грунтов котлована;
- определять напряженно-деформированное состояние массива и обделки эскалаторного тоннеля в натуральных условиях;
- уточнить деформативно-прочностные характеристики литологических разностей по трассе тоннеля;
- осуществлять контроль качества заполнения тампонажным раствором заобделочного пространства;
- осуществлять контроль внутрипластового давления во вмещающем массиве и состоянии грунтов за обделкой.

В осуществлении геотехнического мониторинга принимали участие: СПГУПС, ЗАО «Гиро», ЗАО НПФ «Геодизонд», ЗАО «Геострой», ЗАО «Гидрострим», ЗАО «Триада-Холдинг».

Наблюдения за деформациями земной поверхности, зданий и сооружений, попадающих в зону влияния горных работ при проходке наклонного хода, состояли из серии работ по измерению вертикальных и горизонтальных смещений деформационных реперов и марок, заложенных в зоне влияния горных работ (рис.2).

Работы выполняли высокоточными инструментами (электронные тахеометры, кодовые нивелиры).

Контроль качества работ по закреплению грунтов стартового котлована выполняли СШП георадиолокацией.

Определение сплошности и качества закрепления грунта струйной цементацией выполняли методом сверхширокополосного георадиолокационного зондирования (СШП георадиолокация).

Напряженно-деформированное состояние массива и обделки тоннеля оценивали по следующим параметрам:

- по нормальным тангенциальным напряжениям в блоках обделки;

- по напряжениям в обделке вдоль оси тоннеля;
- по смещениям блоков обделки.

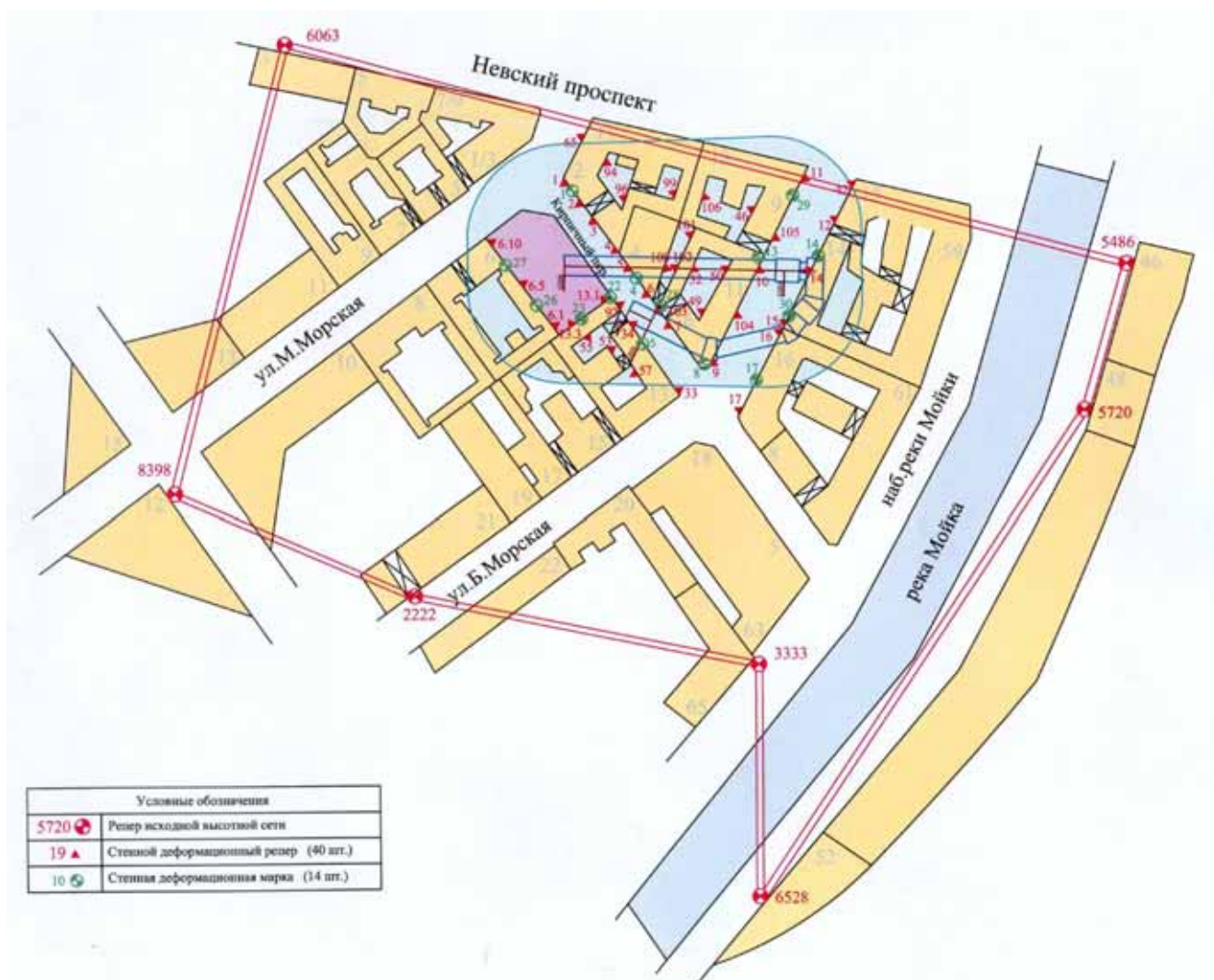


Рис.2. Схема деформационной сети

Определение нормальных тангенциальных напряжений по периметру обделки выполняли при помощи струнных деформометров.

По трассе тоннеля датчиками оснащено пять колец обделки: №№15, 43, 71, 95 и 100. Размещение колец по длине тоннеля принято с таким расчетом, чтобы можно было контролировать напряженное состояние обделки во всех литологических разностях и в большей мере на их границах.

На рис.3 представлены характерные графики изменения напряженного состояния обделки.



Рис.3. Графики формирования напряженного состояния обделки

Оперативная отчетность в электронном виде представлялась ежедневно в единый центр сбора информации при отходе забоя от контролируемого сечения.

Оперативный контроль наличия пустот за обделкой после проведения нагнетания двухкомпонентного раствора выполнялся непосредственно после схода очередного кольца с оболочки щита. По окончании работ результаты заполнения технологического зазора тампонажным раствором представлялись в единый центр сбора информации.

Наблюдения за раскрытием стыков блочной обделки вели с помощью специальных датчиков перемещений.

Датчики устанавливали в зонах изменения инженерно-геологических условий (напластований) и в зонах выявленных разуплотнений.

Выборочный контроль качества заполнения тампонажным раствором заобделочного пространства и состояния грунтового массива осуществляли методом сверхширокополосного импульсного зондирования (СШП георадиолокация).

До начала строительных работ выполнили бурение скважин с установкой в них датчиков гидростатического давления на разных горизонтах.

Режимные измерения по датчикам позволяют оценить основные закономерности гидродинамического режима водоносных пластов до начала строительства и по мере проходки тоннеля. При проходке тоннеля измерения выполняли ежедневно с помощью автоматизированной системы.

По результатам измерений, проведенных по датчикам гидростатического давления, строили распределение внутрипластовых давлений и оценивали напряженное состояние массива.

По результатам измерений определяли состояние массива грунтов под зданиями и контролировали его напряженное состояние в период строительства, контролировали технологические параметры пригруза забоя и нагнетания за обделку.

Вдоль оси тоннеля размещено 5 скважин, оборудованных датчиками гидростатического давления.

Оперативная отчетность в электронном виде предоставлялась ежедневно в центр сбора информации на период проходки тоннеля.

Вся информация передавалась в режиме реального времени подрядчику.

Сдвигения в грунтовом массиве определяли стержневыми экстензометрами.

Вдоль трассы экстензометры были установлены в 4-х скважинах на различной глубине (рис.4).

Информацию в электронном виде передавали в режиме реального времени в центр сбора информации на протяжении всего периода проходки тоннеля.

Ведение геотехнического мониторинга предусматривало системный контроль технологических процессов и операций при проходке эскалаторного тоннеля в части их влияния на строительные конструкции и вмещающий массив.

Анализ полученных результатов выполняли после каждой серии измерений.

Основная отчетность предоставлялась еженедельно с учетом всех этапов мониторинга по заключениям специалистов. Промежуточные результаты, требующие обязательного учета при строительстве – один раз в сутки. Информация о выявленных нарушениях в работе строительных конструкций и состоянии вмещающих грунтов (с рекомендациями) предоставлялись в течение одних суток после выявления нарушений.

В период проходки проводился еженедельный технический совет по рассмотрению результатов геотехнического мониторинга с представителями ОАО «Метрострой» и организацией, выполняющей СМР.

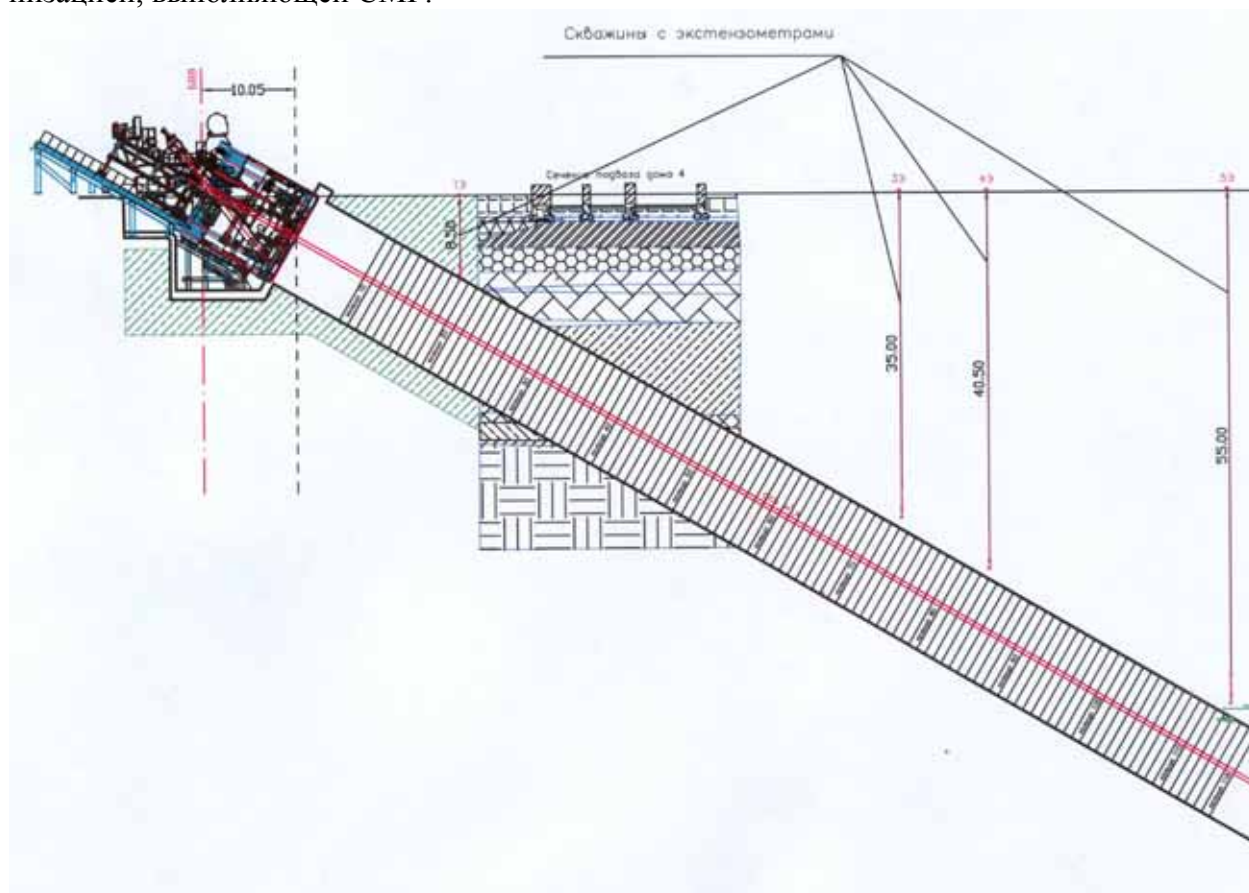


Рис.4. Схема расположения скважин по оси тоннеля, оборудованных экстензометрами

Контрольно-измерительная аппаратура, устанавливаемая в конструкцию постоянной обделки, предусматривает ее работу при ведении мониторинга и при последующей эксплуатации эскалаторного тоннеля.