

УКРЕПЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЯ ПРИ ПРОХОДКЕ МЕТРОПОЛИТЕНА В КАЗАНИ

А.Г. Малинин, канд. техн. наук,
технический директор ЗАО «ИнжПроектСтрой»,
член Правления Тоннельной ассоциации России

1. Введение.

В г. Казани ведется строительство метрополитена. Трасса первых двух перегонных тоннелей от станции «Площадь Тукая» до станции «Суконная слобода» проходила по центральной плотно застроенной части города.

Строительство метротоннелей осуществляется в сложных горно-геологических условиях. Вмещающие грунты представлены пылеватыми и мелкозернистыми песками в водонасыщенном состоянии. В подобных условиях практически любое сдвижение грунтового массива, сопровождающее подземные работы, могло привести к осадкам зданий, которые расположены в непосредственной близости от трассы тоннеля. Именно по этой причине КУП «Казметрострой» применяет один из самых современных проходческих комплексов – щит фирмы «LOVAT» с грунтовым пригрузом забоя, обеспечивающим минимальное сдвижение земной поверхности [1].



Хотя трасса тоннелей была проложена вдоль центральной улицы на безопасном расстоянии от большинства зданий, при подходе к приемному котловану не удалось обойти здание банка «Татарстан» Сбербанка РФ, играющего значительную роль в финансовой жизни столицы Татарстана. Тоннель должен был пройти в непосредственной близости от фундаментов здания (в плане левая граница тоннеля попадала в пятно здания), подрабатывая грунты в его основании. В этой ситуации Управлением строительства метрополитена было принято решение о проведении дополнительных мероприятий по обеспечению безопасного состояния здания. Это решение обосновывалось тем, что в слабых и обводненных грунтах даже незначительное сдвижение грунтового массива могло привести к аварийным осадкам фундамента и разрушению здания банка.

Для укрепления здания было решено использовать идею подведения под фундамент дополнительных свай, устраиваемых по струйной технологии (сваи ССТ). Длина свай была выбрана из условия, чтобы подошва свай находилась ниже уровня лотка тоннеля. При таком варианте свай даже в случае аварийной ситуации – переборе грунта и подработке основания фундаментов новые фундаменты из свай ССТ должны были принять всю нагрузку от веса здания. Проектирование и выполнение работ по устройству свай ССТ было поручено предприятию ЗАО «ИнжПроектСтрой» (Пермь), обладающему необходимым технологическим оборудованием и, главное, практическим опытом производства подобных работ [2].

2. Численное моделирование.

В связи с тем, что здание построено на фундаментной плите, на этапе проектирования было принято решение опереть на сваи ССТ только границу здания, прилегающую к трассе тоннеля.

Для обоснования параметров струйной цементации грунтов было выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива с помощью метода конечных элементов. Дискретизацию расчетной области выполняли треугольными элементами с линейной аппроксимацией перемещений в области элемента.

Так как, что трасса тоннеля проходила практически параллельно фасадной части здания, а сваи, пересекаясь друг с другом, образовывали сплошную «стену в грунте», задачу решали поэтапно в плоско деформированной постановке (рис.1) в компонентах «дополнительные напряжения – приращения перемещений».

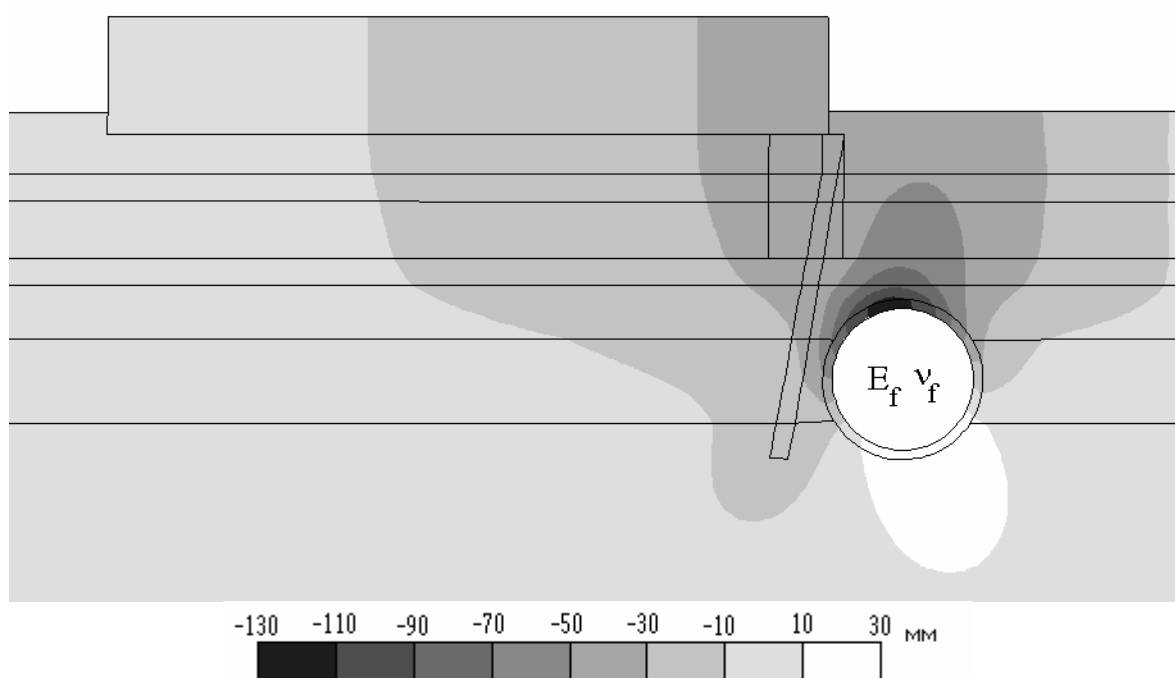


Рис.1. Вертикальные перемещения в грунте, закрепленном инъекционным упрочнением под фундаментом и грунтоцементными сваями.

Общая идея решения задачи заключалась в следующем. Известно, что проходка тоннеля с применением щита всегда приводит к образованию мульды сдвижения земли [2]. Даже применение ультрасовременного проходческого комплекса “LOVAT” не может гарантировать осадку поверхности земли менее 100 мм. Не вдаваясь в подробности причин (перебор грунта, заполнение грунтом технологического зазора между режущей частью щита и обделкой тоннеля и т.д.), осадку поверхности моделировали радиальным перемещением грунта внутрь тоннеля. В такой постановке задача сводилась к определению напряженно-деформированном состоянии (НДС) полуплоскости с круговым отверстием, заполненным более слабым, чем грунт, материалом с фиктивными механическими характеристиками E_f, ν_f .

Алгоритм решения задачи состоял из следующих этапов численного моделирования:

Этап №1. Подбор параметров модели образования мульды сдвижения земли, вызванной проходкой тоннеля.

Шаг 1. Определение напряженно-деформированного состояния НДС₁ слоистой полуплоскости, соответствующей геологическому разрезу и плотностным характеристикам вмещающих грунтов, под действие сил собственного веса.

Шаг 2. Определение НДС₂ аналогичной полуплоскости, с круговой областью (тоннелем), заполненной более слабым материалом с фиктивными деформационными характеристиками E_f, ν_f .

Шаг 3. Определение НДС₃ грунтового массива, при котором реализуется мульда сдвижения, как НДС₃ = НДС₂ - НДС₁. При этом реализация осадок поверхности земли в 100 мм над сводом щита осуществлялась подбором фиктивных характеристик сплошной круговой области E_f, ν_f .

Этап №2. Определение осадок здания, вызванных проходкой тоннеля.

Шаг 1. Определение НДС₁ весомой полуплоскости с учетом существующего здания.

Шаг 2. Определение НДС₂ весомой полуплоскости с круговой областью, материал которой обладает подобранными на предыдущем этапе фиктивными характеристиками E_f, ν_f , и с дополнительным пригрузом поверхности весом здания.

Шаг 3. Определение грунтового массива НДС₃, моделирующего осадку поверхности, как НДС₃ = НДС₂ - НДС₁.

Выполненные расчеты показали, что осадки здания превышали установленные безопасные показатели - относительная разница осадок углов здания, отнесенных к длине боковой стены здания $\Delta s / L$, превышало предельное значение 0,002 [3].

На следующем этапе были выполнены аналогичные расчеты, но при условии проведения дополнительных мероприятий – устройстве под фундаментами здания свай ССТ. Результаты численного моделирования показали, что здание перешло в безопасное состояние, $\Delta s / L < 0,002$. Однако, одновременно было установлено, что сами сваи длиной 12 м могут испытывать значительные изгибные деформации, приводящие к разрушению материала тела свай (грунтобетона). Поэтому в дальнейшем было принято решение об устройстве дополнительных двух более коротких наклонных свай, в сумме обеспечивающих безопасное состояние укрепленного основания. Распределение вертикальных перемещений в грунтовом массиве в случае укрепления основания сваями ССТ показано на рис.1.

3. Проектирование работ.

Разработанный проект включал устройство одного основного ряда свай глубиной 12 м, двух рядов дополнительных коротких свай с целью увеличения изгибной прочности свайных кустов, а также предварительное компенсационное нагнетание цементного раствора под подошву фундамента через сеть инъекционных труб с манжетами с целью устранения возможных осадок здания в процессе устройства грунтоцементных свай (рис.2, справ а).

4. Производство работ.

Работы по укреплению фундаментов здания были выполнены предприятием ЗАО «Инж-ПроектСтрой» (Пермь), обладающим значительным опытом укрепления фундаментов во многих городах РФ. Кроме того, в последнее время специалисты предприятия усиленно развивали и применяли технологию струйной цементации грунта в различных приложениях подземного строительства – закреплении слабых грунтов в основании зданий и сооруже-

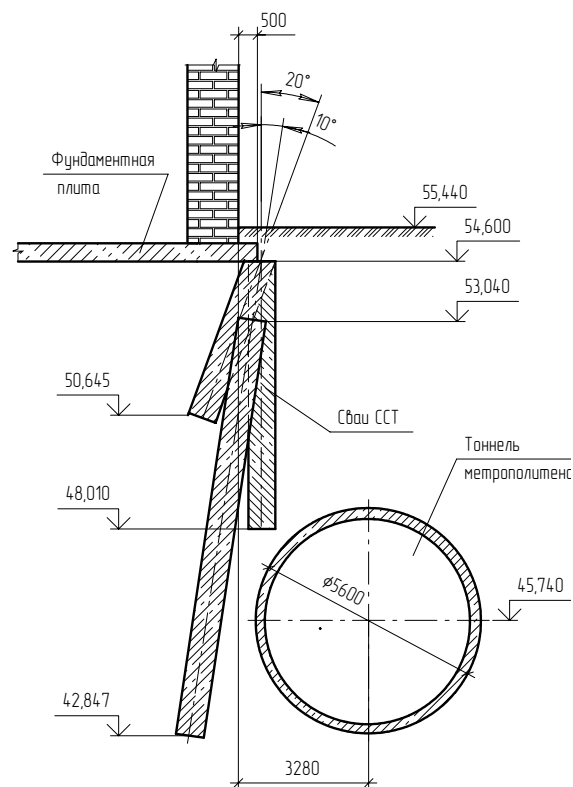


Рис.2. Проектное решение по укреплению фундамента здания.

ний, укреплении откосов, устройстве свай ССТ для нового строительства и т.д.

На первом этапе работ было выполнено нагнетание цементного состава в грунтовое основание здания для заполнения пор и пустот, образовавшихся при искусственном понижении УГВ вблизи площадки строительства котлована. В результате под фундаментной плитой здания был сформирован искусственный геомассив мощностью до 3.0 м, который в последствии обеспечил надежный контакт между сваями и фундаментной плитой здания.



На втором этапе выполняли непосредственно устройство свай ССТ по технологии струйной цементации грунтов. Бурение лидерных скважин производили буровой установкой BERETTA T43 (Италия), нагнетание цементного состава цементно-песчаным трехплунжерным насосом GEOASTRA5T302 (Италия) под давлением 450-500 атмосфер. Приготовление цементного состава с водоцементным соотношением В:Ц = 0.9 производили в миксерной станции СКПР5500 производительностью 5.5 м³/час. При приготовлении состава использовали добавки-пластификаторы и добавки, уменьшающие усадку раствора в процессе твердения скрепляющего состава.

После окончания работ по укреплению фундаментов здания КУП «Казметрострой» была выполнена проходка тоннеля на участке расположения здания. После окончания проходки был выполнен тщательный осмотр всех маяков, установленных ранее на стенах здания. Результат осмотра показал, что на всех маяках не появились даже мельчайшие трещины. Это подтвердило пра-

вильность проектного решения – об экономической и технологичной эффективности струйной цементации грунтов для решения задач обеспечения безопасного состояния зданий при проходке тоннелей метрополитенов.

По мнению автора, основанного на анализе доступной технической литературы, применение струйной цементации грунтов для решения данной задачи было выполнено в России впервые.

5. Благодарности.

Автор благодарит Заказчика в лице Управления строительства метрополитена администрации г. Казани (начальник Ярлыченко А.С.) за веру в новые прогрессивные технологии и оперативное решение всех текущих вопросов, профессора ПГТУ Чернопазова С.А. за помощь в организации численных расчетов, директора АП «Казгражданпроект» Кафиатуллина М.А. и ГИП Кичанова С.П. за помощь в принятии проектных решений, начальника КУП «Казметрострой» Рахимова М.М. за техническую помощь при производстве работ на объекте.

Литература.

1. Рахимов М.М.. Казанский метрополитен. Проходка первого перегонного тоннеля ТПК «Ловат» // Метро и тоннели. 2001, №6.
2. Малинин А.Г. Применение технологии струйной цементации грунтов в транспортном строительстве // Метро и тоннели. 2001, №6.

3. Пособие по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горнопроходческих работ при строительстве метрополитена. Л.: Стройиздат, 1973.

4. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1985.

Контактные телефоны: (3422) 196-103, 196-361

Официальный сайт в Интернете: www.jet-grouting.ru