**Байдаков Олег Сергеевич. Выбор и оценка технологических параметров инъекции грунтового массива для усиления сборных железобетонных обделок транспортных тоннелей : Дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 Москва, 2006 197 с. РГБ ОД, 61:06-5/2538**

***Байдаков, Олег Сергеевич***

***Выбор и оценка технологических параметров  
инъекции грунтового массива для усиления  
сборных железобетонных обделок  
транспортных тоннелей***

***Москва 2006***

Российская государственная библиотека, 2006 (электронный текст)

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТНОГО

СТРОИТЕЛЬСТВА» (ОАО ЦНИИС)

**61:06-5/2538**

**Байдаков Олег Сергеевич**

**ВЫБОР И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ИНЪЕКЦИИ ГРУНТОВОГО МАССИВА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ  
СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБДЕЛОК  
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ**(05.23.11 - «Проектирование и строительство дорог,  
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор В.Е. Меркин

Москва 2006 г.

СОДЕРЖАНИЕ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | Стр. |
| ВВЕДЕНИЕ | | 4 |
| Глава 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕ­СУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОБДЕЛКИ ЭКСПЛУАТИРУЕ­МЫХ ТОННЕЛЕЙ | |  |
| 1.1 | Общие положения | 10 |
| 1.2 | Методы оценки состояния конструкций эксплуатируемых тонне­лей | 11 |
| 1.3 | Возможные повреждения и факторы, влияющие на несущую способность обделок транспортных тоннелей | 15 |
| 1.4 | Методы определения несущей способности обделок | 23 |
| 1.5 | Анализ современных способов проведения ремонтно-восстано­вительных работ в эксплуатируемых транспортных тоннелях ... | 27 |
| 1.6 | Формулировка задач и выбор методов исследования | 33 |
| Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ОБ­ДЕЛКА - МАССИВ» НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ | |  |
| 2.1 | Общие положения | 38 |
| 2.2 | Методика проведения численных экспериментов | 39 |
| 2.3 | Планирование численного эксперимента | 43 |
| 2.4 | Влияние расположения разуплотнения на напряженно-деформи­рованное состояние обделки | 48 |
| 2.5 | Влияние расположения и величины зоны укрепления на напря­женно-деформированное состояние обделки | 71 |
| 2.6 | Выводы по главе | 79 |
| Глава 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕ­ДЕЛЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНЪ­ЕКЦИИ | |  |
| 3.1 | Исследования по укреплению мелкодисперсных грунтов | 81 |
| 3.2 | Методика и оборудование для экспериментальных исследова­ний, планирование эксперимента, оценка и выбор инъекционных материалов | 87 |









|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  | ­ |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  | |  |
|  | ­ |  |
|  |  |  |
|  | ­ |  |
|  | ­­ |  |
|  | |  |
| ­ | |  |
|  | |  |
| ­ | |  |
| ­ | |  |
| ­ | |  |
|  | |  |
|  | |  |

***ВВЕДЕНИЕ***

Городские транспортные тоннели, и в первую очередь, тоннели метро­политенов, относятся к категории наиболее ответственных, и вместе с тем конструктивно наиболее сложных и дорогостоящих объектов, которые долж­ны отвечать требованиям эффективного функционирования, безаварийной и безопасной эксплуатации при минимальных людских, материальных и фи­нансовых издержках. Однако, недостатки проектирования, нарушение техно­логии строительства, естественный износ и техногенные воздействия на тон­нели, причиной которых могут быть изменения гидрогеологической среды, динамические нагрузки при эксплуатации тоннелей, а также изменение на­грузок на систему «обделка - грунтовый массив» при строительстве подзем­ных и наземных городских объектов в зонах расположения тоннелей приво­дят к снижению ее несущей способности. Изменение состояния заобде- лочного пространства является причиной нарушения геометрии обделок, об­разования трещин в блоках обделки, нередко сопровождается выносом грунта в тоннель и разуплотнением грунтов за обделкой.



Развитие дефектов и деформаций конструкций, изменение состояния заобделочного пространства преимущественно происходит на стадии экс­плуатации тоннелей, когда восстановление проектных характеристик объекта становится трудоемким и дорогостоящим мероприятием.

**f**

Анализ технического состояния эксплуатируемых тоннелей и разрабо­танной, за последние 25 лет в Научно-исследовательском Центре «Тоннели и метрополитены» (НИЦ «ТМ» ОАО ЦНИИС), проектной документации на защитные и ремонтно-строительные работы показал, что в большинстве слу­чаев причиной снижения несущей способности обделок служит изменение состояния заобделочного пространства.

Во многих случаях восстановление проектных параметров тоннельного сооружения может быть достигнуто улучшением контакта обделки с масси-

вом грунта (нарушенного тампонажного слоя за обделкой) и изменением фи­зико-механических характеристик окружающего тоннельную обделку грунта путем его уплотнения или укрепления, устройства защитных конструкций из укрепленного грунта в случае дополнительных нагрузок на тоннели.

Все эти мероприятия базируются на использовании специальных спо­собов производства работ, в первую очередь, на инъекционных технологиях, суть которых состоит в инъекции (нагнетании) в грунт, за обделку тоннелей, а также в бетонные, каменные и железобетонные конструкции растворов на основе минеральных или полимерных вяжущих. Инъекционные способы яв­ляются основными для решения такого рода технических задач и, практиче­ски, единственными, если речь идет об эксплуатируемых тоннелях.

**І**





Исходя их вышеизложенного и, имея в виду наибольшую потребность в усилении сборных железобетонных обделок заложенных в обводненных песчаных грунтах, разработку рекомендаций по выбору технологических па­раметров укрепления грунтового массива для этих обделок, наилучшим об­разом соответствующих конкретным условиям эксплуатации, следует счи­тать актуальной научной и практической задачей.

При ее решении автором исследовалась также актуальная задача за­мены малопрочных и ограничиваемых по экологическим требованиям кар­бамидных смол на близкие к ним по проникающей способности новые инъ­екционные растворы на основе особотонкодисперсных минеральных вяжу­щих (ОТДВ) «Mikrodur» производства концерна «Dyckerhoff» (Германия).

Проблема обеспечения несущей способности обделок транспортных тоннелей, требуемой из условий эксплуатации, в том числе, и в связи с до­полнительными воздействиями от намечаемого вблизи тоннелей строитель­ства городских объектов обусловила актуальность темы диссертационной ра­боты.

а

Целью работы, таким образом, является обеспечение требуемой несу­щей способности нарушенных сборных железобетонных обделок эксплуати­

руемых транспортных тоннелей путем применения рациональной технологии инъекционных работ.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и ре­шены следующие задачи:

* исследование степени влияния на несущую способность и деформа- тивность сборной железобетонной обделки условий заложения тоннелей и характеристик контактного слоя системы «обделка — массив»;
* исследование методом математического моделирования влияния па­раметров инъекционного укрепления грунтов на несущую способность сис­темы «обделка — массив»;
* исследование процесса инъекции растворов на основе ОТДВ в песча­ные грунты с определением области их применения и физико-механических характеристик укрепленного грунта;
* разработка рекомендаций по усилению сборных железобетонных об­делок эксплуатируемых транспортных тоннелей инъекционными методами.

При выполнении диссертационной работы использованы современные теоретические и экспериментальные методы исследования:

* расчетные методы определения напряженно-деформированного со­стояния системы «обделка - массив» с использованием программы «Plaxis»;
* математическое моделирование статической работы системы «об­делка - массив» на основе метода конечных элементов с использованием программы «Plaxis», в том числе, с учетом приложения дополнительных на­грузок на обделку и изменения глубины заложения тоннелей;
* лабораторные исследования технологических параметров инъекци­онных растворов и физико-механических характеристик укрепленного грунта по действующим нормативам и методикам;
* натурные наблюдения и мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций при ликвидации пустот и разуплотнений за обдел­ками тоннелей на эксплуатируемых объектах Московского метрополитена и опытно-производственных работах по укреплению песчаных грунтов раство­рами на основе ОТДВ.

Научная новизна работы состоит:

* в оценке влияния характеристик контакта «обделка - массив» на не­сущую способность обделок тоннелей;
* математической модели системы «обделка - массив» для исследова­ния ее напряженно-деформированного состояния с учетом параметров укре­пления грунтов, вмещающих тоннельную обделку;
* в определении технологических параметров инъекционных растворов на основе ОТДВ и физико-механических характеристик укрепленного грун­та;
* определении области применения инъекционных вяжущих типа ОТДВ «Mikrodur»;
* в методике лабораторных исследований инъекции растворов на ос­нове ОТДВ.

Достоверность полученных результатов обоснована:

* строгостью исходных предпосылок использованных расчетных моде­лей и методов исследований;
* учетом требований действующих нормативных и методических до­кументов;
* использованием апробированных современных разработок отечест­венных и иностранных фирм;
* удовлетворительной сходимостью результатов исследований на ма­тематических моделях, в лабораторных и натурных условиях.

Практическую ценность работы составляют:

* результаты теоретических исследований влияния контакта «обделка - массив» и укрепления грунта на несущую способность обделок;
* рекомендации для проектирования по назначению параметров инъек­ции при восстановлении сплошности контакта «обделка - массив» при укре­плении грунтов за обделками тоннелей и в основании сооружений;
* уточнение области применения ОТДВ «Mikrodur» по виду и коэффи­циенту фильтрации инъектируемых грунтов и показатели физико-механиче­ских характеристик укрепленного грунта;
* методика лабораторных испытаний грунтов укрепленных инъекцией растворов на основе ОТДВ.

Результаты работы нашли применение в проектно-сметной документа­ции для 17 объектов, в том числе:

* на работы по уплотнению и укреплению грунтов вмещающих экс­плуатируемые и вновь строящиеся транспортные тоннели (Московского мет­рополитена, автодорожных Лефортовского, Серебряноборского и Дер­бентского тоннелей);
* для обеспечения сохранности зданий и сооружений путем повыше­ния несущей способности их оснований (при строительстве Лефортовского тоннеля, при усилении свайных фундаментов школы в поселке Тарко-Сале и

др •);

* в указаниях по применению в промышленных масштабах ОТДВ для инъекционного укрепления грунтов на объектах тоннелестроения и в других областях строительства, нормативно закрепленных в СП 32-105-2004 «Мет­рополитены».



Результаты исследований и основные научные положения диссертаци­онной работы были доложены:

* на Научно-практической конференции «Проектирование и строитель­ство тоннелей», Сочи, 24 - 27 сентября 2003 г.
* на Научно-практическом семинаре фирмы «ИНТРА-БАУ ГмбХ» и ООО «ВЕСТА Инж», Москва, июль 2003 г.

І

* на Международном семинаре, «Современные инъекционные мате­риалы и технологии», фирма «МС-Bauchemie», Москва, 2003 г.
* на Международной выставке «Подземный город 2004», Москва, 2004 г. (Диплом Участника выставки).
* на секции «Тоннели и метрополитены» Ученого совета ОАО ТІНИ- ИС.

По результатам работы опубликованы 12 печатных работ, в т.ч. 2 па­тента на изобретение.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории «Технологии инъ­екционных и тампонажных работ» при участии сотрудников лаборатории «Конструкций и технологии сооружения тоннелей и метрополитенов» и «Горного давления и норм расчета» НИЦ «ТМ», а также консультациях и помощи, оказанной сотрудниками ООО «ИНТРА-БАУ ГмбХ». Автор выра­жает искреннюю благодарность В.Е. Меркину, В.А. Гарберу, И.Я. Харченко, А.А. Кашко, В.В. Чеботаеву, Е.В. Щекудову, Л.А. Воробьеву, Г.О. Смирно­вой, В.Г. Голубеву и другим за неоценимую помощь в подготовке диссерта­ции.

Объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключе­ния и содержит 197 страниц, 57 иллюстраций, 34 таблиц, 3 приложений и списка использованной литературы из 104 наименований.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе исследованы и даны решения актуальной научно-практической задачи по выбору и оценке технологических парамет­ров инъекции грунтового массива для усиления сборных железобетонных обделок транспортных тоннелей.

Оценена эффективность восстановления проектного значения напря­женно-деформированного состояния системы «обделка - грунтовый массив» с использованием инъекционных технологий для ликвидации разуплотнений и пустот, а также предварительного укрепления грунта при воздействии на обделку дополнительных нагрузок от намечаемого вблизи тоннелей строи­тельства городских объектов.

Исследованы инъекционные материалы на основе высокодисперсных минеральных вяжущих и определена область их эффективного применения.

Основные выводы и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. В современной практике одним из наиболее эффективных способов восстановления конструктивных параметров и усиления сборных железобе­тонных тоннельных обделок является обеспечение плотного контакта «об­делка - грунтовый массив» и укрепление окружающего тоннель грунта с ис­пользованием инъекционных технологий.
2. Расчетами определено влияние характеристик заобделочного про­странства на напряженно-деформированное состояние системы «обделка - грунтовый массив». Наличие разуплотнений за любым из блоков кольца об­делки, за исключением лоткового, уменьшает ***КЗАП*** этого блока до значений меньших 1. Наибольшему негативному воздействию этого фактора, сни­жающего /Гздп до значений близких к 0,5, подвержены блоки сводовой части кольца при расположении пустоты за одним из них или на стыке.
3. Разработана математическая модель системы «обделка - массив» для исследования ее напряженно-деформированного состояния с учетом пара­метров укрепления грунтов вмещающих обделку.

Определено, что укрепление грунтового массива за блоками выше го­ризонтального диаметра наилучшим образом (по сравнению с другими вари­антами укрепления) сказывается на НДС обделки независимо от глубины за­ложения тоннеля, так как при этом значительно снижаются деформации и обеспечивается достаточный для дальнейшей эксплуатации запас прочности блоков.

1. Для эффективной инъекции в мелкозернистые, в т.ч. обводненные песчаные грунты рекомендованы инъекционные растворы на основе мине­рального ОТДВ «Mikrodur», обладающие высокими значениями проникаю­щей способности и прочностными характеристиками укрепленного грунта, долговечностью и экологической чистотой.
2. Создана экспериментальная установка, разработана и утверждена в ЦНИИС методика испытания растворов и грунтов на инъектируемость рас­творами на минеральной основе.
3. По результатам лабораторных исследований определены основные технологические параметры инъекционных растворов на основе ОТДВ «Mik­rodur» (вязкость, время схватывания, седиментация) и физико-механические характеристики укрепленных ими песчаных грунтов. Установлены зависимо­сти этих показателей от водоцементного отношения В/Ц (концентрации вя­жущего в растворе). Определено, в частности, что прочность на сжатие и мо­дуль деформации укрепленного грунта изменяется от 5 до 50 МПа и от 3000 до 10000 МПа, соответственно, при изменении В/Ц от 3 до 5.
4. Уточнены границы применения инъекционных растворов на основе ОТДВ «Mikrodur» по обобщенному показателю проницаемости грунта (коэф­фициенту фильтрации), что нашло отражение в нормативном документе фе­дерального уровня СП 32-105-2004 «Метрополитены» (п.п. 6.7.3.3, 6.7.3.12, 6.7.3.13 и 6.7.3.15).
5. По результатам контрольных работ и исследований в производст­венных условиях определены ориентировочные показатели технологии на­гнетания инъекционных растворов для восстановления контакта «обделка - массив» (давление, удельные и общие расходы материалов) в зависимости от показателя пустотности заобделочного пространства, инженерно-геологиче­ских условий заложения тоннелей и величины строительного зазора за об­делкой.
6. Оценена экономическая эффективность предлагаемого варианта ук­репления грунтов за обделками выше горизонтального диаметра тоннеля при дополнительных нагрузках от намечаемого вблизи тоннелей городского строительства.

Дано технико-экономическое сравнение вариантов укрепления грунтов при проведении реконструкции объекта и новом строительстве, показавшее, что, несмотря на относительно высокую стоимость инъекционных материа­лов ОТДВ «Mikrodur», применение таких материалов для решения конкрет­ных технических задач является эффективным, чему способствуют особые свойства материала - высокая проникающая способность инъекционных рас­творов на его основе, высокая прочность укрепленного грунта и его долго­вечность, а также экологическая чистота материала.