

Двухкомпонентная система тампонажа с регулируемыми сроками схватывания и кондиционирование грунтов при строительстве наклонного хода станции метро «Марьино»

А.Я. Зафт, техн. директор, ОАО «Мосметрострой»; Москва; С.А. Немков, зам. гл. технолога; А.И. Загоршнев, вед. инж.; Т.Ю. Кучерова, инж.; А.М. Видулин, инж.-лаб.; ЗАО «Триада-Холдинг», Москва

Аннотация

Проанализирован опыт применения двухкомпонентной системы тампонажа заобделочного пространства с регулируемыми сроками схватывания за обделкой. Приведены возможности и технические особенности применения двухкомпонентной системы тампонажа, а также требования к составу и физико-механическим свойствам компонентов. Описаны материалы, разработанные в области кондиционирования грунтов при щитовой проходке тоннеля.

Ключевые слова

Двухкомпонентный тампонажный раствор, кондиционеры грунта, нагнетание за обделку, подземное строительство, тоннели метрополитена, тоннелепроходческие комплексы, ускоритель схватывания.

Abstract

Authors analyze practical experience of application of a two-component system with controlled curing time designed for filling-in the gap behind the tunnel lining. Application ranges of the system as well as basic requirements to physical and technical parameters of the components are given. The article also gives a brief description of other products used for soil conditioning in TBM-driven tunnels.

Keyword

Underground construction, metro tunnels, tunnel-boring machine, two-component grouting system, filling-in the gap behind the tunnel lining, curing accelerator, soil conditioning agent.

С увеличением потребности в освоении подземного пространства крупных городов строительство тоннелей различного назначения современными тоннелепроходческими комплексами не может вестись без адаптированной высокотехнологичной системы тампонажа заобделочного пространства. Применяемые в настоящее время технологии ведения тампонажных работ зачастую оказываются неэффективными в условиях проходки в сложных гидрогеологических условиях. В российской практике в основном применяется однокомпонентная система тампонажа, которая в условиях проходки неустойчивых обводненных грунтов в черте плотной городской застройки не обеспечивает безопасность и надежность ведения работ. Наиболее остро встают эти проблемы при технологии щитовой проходки наклонных эскалаторных тоннелей метрополитенов, направленной на замену горного способа проходки с предварительным замораживанием грунтов.

Особенностью строительства тоннелей при щитовом способе проходки является монтаж блоков кольца об-

делки тоннеля под защитой оболочки тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК). Между наружной поверхностью сборной обделки и окружающим ее грунтовым массивом остается технологический зазор, размер которого в зависимости от диаметра комплекса находится в пределах 60–370 мм [1]. Образовывающийся технологический зазор по мере проходки должен в кратчайший срок заполняться тампонажным раствором, нагнетание которого за обделку может выполняться через специальные технологические отверстия в блоках тоннеля или через хвостовую часть щита [2].

Нагнетаемый за обделку тампонажный состав выполняет ряд важных функций:

- 1) обеспечение совместной работы обделки с окружающим грунтовым массивом, способствующей равномерному распределению горного давления по контуру обделки;
- 2) своевременное заполнение технологического зазора, предотвращающее осадки вышележащего грунтового массива и земной поверхности;
- 3) удержание колец обделки в проектном положении при передвижении тоннелепроходческого комплекса;
- 4) восприятие нагрузки от перемещающихся с отставанием в несколько метров за юбкой щита технологических платформ, опирающихся на свежееуложенные кольца обделки;
- 5) служит дополнительной гидроизоляционной оболочкой, способствующей повышению долговечности строительных конструкций тоннеля.

Выбор состава тампонажного раствора осуществляется в зависимости от инженерно-гидрогеологических условий, принятой технологии нагнетания тампонажа за обделку тоннеля и предполагаемых технических скоростей проходки.

Значительный интерес в области тампонажа заобделочного пространства вызывает двухкомпонентная система тампонажа. Двухкомпонентные составы представляют собой смесь компонентов, один из которых – раствор на основе цемента или другого вяжущего, заполнителя и специализированных добавок пластифицирующего и стабилизирующего действия (компонент «А»), а второй – ускоритель схватывания (компонент «Б»).



Рис. 1. Контейнер с оборудованием и силоса для приготовления двухкомпонентного тампонажного раствора непосредственно на стройплощадке

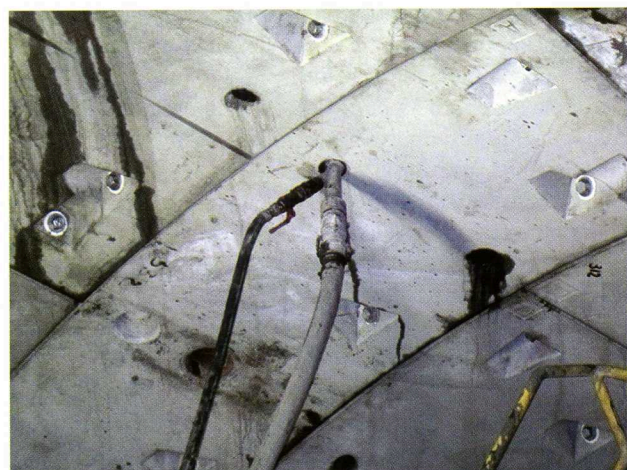


Рис. 2. Инъектор для нагнетания двухкомпонентного тампонажного раствора в заобделочное пространство через технологические отверстия в блоках

Отечественной нормативной базой не предусмотрены специальные требования для составов двухкомпонентной системы тампонажа. Исходя из опыта мирового тоннелестроения [1], основными потребительскими свойствами являются:

- 1) стабильность, текучесть, перекачиваемость, отсутствие седиментации и налипания частиц раствора на внутреннюю поверхность трубопроводов при транспортировке;
- 2) первоначальных свойств готового раствора компонента «А» до 72 часов в зависимости от условий применения;
- 3) простота и высокая скорость приготовления раствора из сухой смеси или ее компонентов;
- 4) регулируемые скорости схватывания двухкомпонентного состава (от 2 мин до 4 ч), в зависимости от скорости проходки и гидрогеологических условий строительства;

5) мобильность доставки раствора (компонента «А») и ускорителя схватывания (компонента «Б») по двум независимым трубопроводам непосредственно в приемные емкости на щитовом комплексе.

Для строительства второго наклонного хода станции метрополитена «Марьино роща» с использованием ТПМК RME 430 SE фирмы Lovat организацией ОАО «Мосметрострой» совместно со специалистами компании ЗАО «Триада-Холдинг» было принято решение разработать двухкомпонентную систему тампонажа, а также технологический регламент на ее приготовление, контроль качества и нагнетание за обделку. В комплекс работ по инженерной поддержке строительства объекта включались научно-исследовательские работы по подбору составов и оптимизации параметров кондиционирования грунтов по трассе тоннеля для обеспечения поддержания забоя, получения шлама пластичной консистенции, повышения скорости проходки и снижения абразивного износа режущего и транспортирующего оборудования.

В ходе выполнения работ на основании технического задания Заказчика была разработана технологическая схема (рис. 1) производства тампонажных работ двухкомпонентным составом, а также подобраны добавки стабилизирующего и пластифицирующего действия и ускорители схватывания для двухкомпонентного тампонажа серии «РЕКС», выпускаемые ЗАО «Триада-Холдинг».

Технологическая схема предусматривает использование приобъектных силосов, производственного контейнера и комплекса оборудования на ТПМК для производства и транспортировки компонентов к месту их нагнетания за обделку. Технология тампонажных работ обеспечивает приготовление непосредственно на стройплощадке (рис. 1) тампонажного раствора из четырех основных компонентов: воды, цемента, золы-уноса и химбентонита (смеси пластифицирующих и стабилизирующих добавок). Принципиально новым решением стало применение запатентованного У-образного инъектора (рис. 2) с лепестковым смесителем, обеспечивающим на выходе качественное перемешивание компонентов «А» и «Б».

Применение добавки «РЕКС-ХИМБЕНТ» в составе компонента «А» тампонажного раствора и ускорителя схватывания «РЕКС-АКТИВАТОР» (компонента «Б») позволило:

- 1) получить хорошо перекачиваемый и долгоживущий тампонажный раствор компонента «А» со сроками схватывания более 48 ч (2 суток);
- 2) добиться качественного и максимально полного заполнения пустот за обделкой тоннеля благодаря увеличению в объеме тампонажного раствора (компонент «А») при перемешивании его с ускорителем схватывания (компонент «Б»);
- 3) свести к минимуму риск вымывания тампонажного раствора под действием градиента грунтовых вод благодаря образованию геля при взаимодействии компонентов «А» и «Б»;
- 4) надежно зафиксировать кольца тоннельной обделки в проектном положении благодаря быстрому набору прочности двухкомпонентного состава «А» + «Б»;
- 5) обеспечить прокачиваемость тампонажного раствора и чистоту подающих трубопроводов, емкостей и инъекторов при остановке нагнетания до 12 ч.

Составы	Сроки схватывания, мин	Средние скорости проходки ТПМК*, мм/мин	Прочность на 3-и сутки, не менее МПа	Прочность на 28-е сутки, не менее МПа	Гидрогеологические условия применения
Рецептура 1	2–10	более 15	1,6	5,3	Обводненные неустойчивые пески и пльвуны
Рецептура 2	30–45	5–15	1,5	5,2	Обводненные супеси и суглинки, трещиноватый известняк
Рецептура 3	180–240	менее 5	1,4	5,1	Устойчивые суглинки и ломовые глины

* Средняя скорость проходки одной заходки без учета времени на доставку и монтаж сегментов кольца обделки

С учетом зарубежного и отечественного опыта применения двухкомпонентных тампонажных систем при выполнении научно-исследовательских работ и их внедрении на практике получены следующие результаты.

1. При осуществлении проекта проходки наклонного тоннеля в сложных гидрогеологических условиях была предложена технология регулирования скоростей схватывания тампонажного раствора за обделкой. Идея заключалась в обеспечении своевременного фиксирования колец обделки в пльвунных неустойчивых грунтах при высоких скоростях проходки и устранении вероятности цементации щеточных уплотнителей щитового комплекса с железобетонными блоками обделки тоннеля. Для различных скоростей проходки и гидрогеологических условий были разработаны три рабочих состава, отличающиеся временем схватывания и областью применения (табл.).

2. Для снижения вероятности забивания инъекторов двухкомпонентным составом разработана технология регулирования подачи основного компонента «А» и ускорителя схватывания компонента «Б» по выверенным временным интервалам, не требующая дополнительного оборудования к стандартной системе двухкомпонентного нагнетания.

3. При двухкомпонентной технологии нагнетания за обделку существует проблема качественного перемешивания компонентов «А» и «Б», что является обязательным условием безопасности ведения работ в неустойчивых породах с высоким коэффициентом фильтрации и градиентом грунтовых вод. Решением стало применение на выходе из инъектора специального запатентованного смесителя (Патент № 104627, 2011), обеспечивающего однородность тампонажного материала за обделкой.

4. Разработанный состав компонента «А» в отличие от систем, предлагаемых зарубежными компаниями, обеспечивает необходимые проектные прочностные показатели на 28-е сутки как при смешивании с ускорителем схватывания компонентом «Б», так и без него. Это свойство очень важно для снижения осадок земной поверхности, так как позволяет поддерживать давление за обделкой подачей порций раствора только компонента «А» во время монтажа кольца обделки или аварийной остановки щитового комплекса.

При проходке эскалаторного тоннеля станции метро «Марьина роща» в г. Москве ТПМК с грунтовым пригрузом фирмы *Lovat* Ø10,8 м для поддержания забоя в устойчивом

состоянии, для улучшения пластичных и снижения абразивных и когезионных характеристик грунта, а также для облегчения процесса его разработки и транспортировки при проходке тоннеля применялись кондиционеры грунта «МСЦ-ПЕНАКОН» (придание грунту пластичного состояния), «МСЦ-ПРИГРУЗ» (снижение абразивного износа при проходке бетонного пригруза) и «МСЦ-АНТИГЛИНА-ПЕНАКОН» (снижение липкости глины), разработанные и выпускаемые ЗАО «Триада-Холдинг».

Ключевой работой по обеспечению высоких скоростей проходки и экономии применяемых кондиционеров грунта является инженеринговое сопровождение строительства [4] специалистами компании поставщика, заключающееся в оптимизации параметров кондиционирования грунтов в различных горно-гидрогеологических условиях как на образцах разрабатываемого в ходе проходки грунта в специализированной лаборатории, так и непосредственно в операторской на щитовом комплексе.

Применение кондиционеров грунта серии «МСЦ» при проходке ТПМК обеспечило:

1) повышение устойчивости забоя и надежное воздействие на грунт и перевод его в состояние пластичного шлама, поддержание контролируемого давления пригруза;

2) уменьшение внутреннего трения и снижение абразивности (до 40 %), уменьшение износа режущего инструмента и деталей шнекового конвейера, особенно при проходке бетонного пригруза, а также поддержание вязко-пластичной консистенции измельченной бетонной массы и предупреждение ее твердения;

3) высокие скорости проходки, резание грунта и его транспортирование в оптимальных режимах работы ротора и шнекового конвейера. Оптимизация применения пенного кондиционера «МСЦ-АНТИГЛИНА-ПЕНАКОН» позволила осуществить проходку по юрским глинам со скоростями на уровне песков и супесей с расходом 0,6–1,0 л кондиционера на 1 м³ разрабатываемого грунта, что подтверждено данными с монитора в кабине управления ТПМК (рис. 3). Применение кондиционера эффективно устранило налипание разрабатываемого глинистого грунта на режущие и транспортирующие механизмы щита (рис. 4).

Внедрение двухкомпонентной системы тампонажа закрепленного пространства с регулируемыми сроками схваты-

выбрать линию	добавка	насос смеси интенсивность потока	воздушная линия интенсивность потока
Линия No. 1	МЫЛО	20,0 U/min	0 U/min
Линия No. 2	МЫЛО	20,0 U/min	0 U/min
Линия No. 3	МЫЛО	20,0 U/min	0 U/min
Линия No. 4	МЫЛО	20,0 U/min	0 U/min
Линия No. 5	МЫЛО	20,0 U/min	150 U/min
Линия No. 6	МЫЛО	20,0 U/min	150 U/min
Линия No. 7	МЫЛО	20,0 U/min	100 U/min
Линия No. 8	МЫЛО	20,0 U/min	0 U/min
Линия No. 9	МЫЛО	20,0 U/min	0 U/min

параметры мыла	концентрация пены
1,25 U/min	100%

Рис. 3. Параметры кондиционирования грунта с указанием работающих линий, расходов подачи смеси и сжатого воздуха, а также скорости подачи пенного реагента, зафиксированные с монитора в кабине управления ТПМК

вания и оптимизация применения кондиционеров грунта позволили успешно завершить проходку и сократить более чем в два раза (по сравнению с первым) сроки строительства второго эскалаторного тоннеля станции метро «Марьяна роща».

Выводы

1. Разработана методика выбора тампонажного раствора в зависимости от инженерно-геологических условий, принятой технологии его нагнетания за обделку тоннеля и предполагаемых технических скоростей проходки.

2. Значительный интерес в области тампонажа заобделочного пространства вызывают двухкомпонентные составы, представляющие собой смесь компонентов, один из которых – раствор на основе цемента или другого вяжущего, заполнителя и специализированных добавок пластифицирующего и стабилизирующего действия (компонент «А»), а второй – химический ускоритель схватывания (компонент «Б»). Идея заключается в обеспечении своевременного фиксирования колец обделки в плавунных неустойчивых грунтах при высоких скоростях проходки и устранении вероятности цементации щеточных уплотнителей щитового комплекса с железобетонными блоками обделки тоннеля при монтаже колец обделки или аварийных остановках.

Впервые в практике подземного строительства при осуществлении проекта проходки наклонного тоннеля в сложных гидрогеологических условиях была осуществлена технология регулирования скоростей схватывания тампонажного раствора за обделкой. Для различных скоростей проходки и гидрогеологических условий были разработаны три рабочих состава, отличающиеся временем схватывания и гидрогеологией применения, удовлетворяющие заданным условиям по прочности, срокам схватывания, перекачиваемости и другим характеристикам.

3. Разработанная и запатентованная технология по-

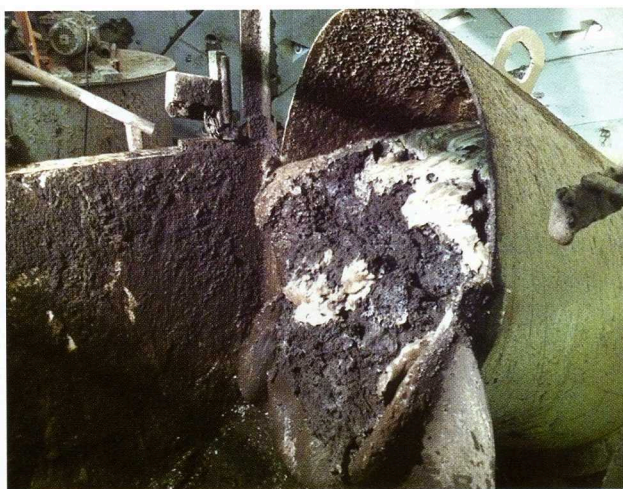


Рис. 4. Выход грунта из шнекового конвейера, обработанного кондиционером «МСЦ-АНТИГЛИНА-ПЕНАКОН», при проходке щитом по юрским глинам

зволила снизить вероятность забивания иньекторов двухкомпонентным составом за счет регулирования и своевременной подачи за обделку основного компонента «А» и ускорителя схватывания компонента «Б».

Применение на выходе из иньектора специального запатентованного смесителя обеспечило качественное перемешивание компонентов «А» и «Б» до однородной консистенции, что является обязательным условием безопасности ведения работ в неустойчивых породах с высоким коэффициентом фильтрации и градиентом грунтовых вод.

4. Разработанный состав компонента «А» в отличие от систем, предлагаемых зарубежными компаниями, обеспечивает необходимые проектные прочностные показатели на 28 суток как при смешивании с ускорителем схватывания компонентом «Б», так и без него.

5. Применение разработанных кондиционеров грунта при проходке ТПМК обеспечило надлежащее поддержание давления пригруза и повышение устойчивости забоя, позволило поддерживать высокие скорости проходки как по плавунным песчаным, так и по вязким глинистым грунтам.

Литература

- Shirlaw J.N. / J.N. Shirlaw, D.P. Richards, P. Ramond, P. Longchamp // Recent Experience in Automatic Tail Void Grouting with Soft Ground Tunnel Boring Machines. Proc. ITA 2004, Singapore.
- Викулин А.М. Выбор и обоснование состава и технологии нагнетания тампонажного раствора за обделку тоннеля / А.М. Викулин, А.И. Загоршменный, С.А. Немков // Строительная геотехнология: сб. ст. Отдельный выпуск «Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала)». – 2010. – № 066. – М.: Горная книга. – С. 268–278.
- Кучерова Т.Ю. Обоснование параметров кондиционирования грунтов при щитовой проходке / Т.Ю. Кучерова, А.И. Загоршменный, С.А. Немков // Строительная геотехнология: сб. ст. Отдельный выпуск «Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала)». – 2010. – № 066. – М.: Горная книга. – С. 245–255.

Для связи с авторами:

Немков Сергей Алексеевич, 8(495)624-72-77, nemkov@tridadholding.ru