Опыт герметизации высокоточной железобетонной обделки железнодорожного тоннеля, построенного в суровых климатических условиях региона Восточной Сибири России

Захарьин Е.Н. – рук-ль группы по работе с проектами MC-Bauchemie, к.т.н.

Козьмин А.Д. – менеджер проекта в сибирском федеральном округе России MC-Bauchemie

Ключевые слова: *инъецирование, акрилатный гель, гидрогель, тюбинги, межтюбинговые швы, фильтрация, уплотнение, намокание, долговечность*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен опыт применения инъекции акрилатных гелей для восстановления герметичности высокоточной тюбинговой обделки тоннеля, эксплуатируемого в суровых климатических условиях резко континентального климата восточной Сибири России. Были сформулированы требования к инъекционным материалам обеспечивающие долговечную их работоспособность в условиях эксплуатации. В статье представлен ряд технологических решений, позволивших произвести успешное инъецирование по контакту обделки тоннеля и породы.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Новый Северо-Байкальский тоннель – это железнодорожный однопутный тоннель пересекающий Байкальский горный хребет между 55й и 56й параллелями северной широты. Объект находится в Восточной Сибири России, около города Северобайкальск. Большой практический опыт строительства тоннелей в подобных климатических и геологических условиях был накоплен за период строительства Байкало-Амурской магистрали с 1932 г. [1-3]. Климат расположения объекта является резко континентальным со средней температурой -25 град С зимой и +25 град С летом, при этом минимальная температура зимой может опускаться до -42 град С, а летом подниматься до +32 град С.

Тоннель длиной около 7 км, имеет высокоточную железобетонную обделку диаметром около 10 м. Проходка тоннеля была закончена в 2018 году. Появившиеся после завершения строительства намокания на поверхности обделки требовали устранения по следующим причинам:

1. Недопустимость попадания воды на имеющиеся линии электропередач и электрооборудование
2. Нарастание крупных сосулек в зимний период в около портальных частях тоннеля, что является недопустимым для безопасной эксплуатации объекта
3. Фильтрация и намокание обделки является фактором, снижающим её срок службы, особенно в условиях переменного замораживания и оттаивания.

Основными характерными местами водопроявлений в тоннеле являлись:

1. отверстия в тюбингах для тампонажа и крепления болтового соединения тюбингов
2. вертикальные и горизоонтальные межтюбинговые швы
3. швы примыкания и трещины монолитных конструкций верхнего строения пути

Согласно проектного решения дополнительная гидроизоляция тоннеля не предусматривалась. Герметичность обделки обеспечивается плотным примыканием резиновых уплотнительных гаскеток по периметру бетонного тюбинга, а также качественным заполнением заобделочного пространства минеральным тампонажным составом.

Очень часто на этапе строительства и проходки, особенно в сложных сейсмоактивных горно-геологических условиях, не удаётся обеспечить качественное первичное нагнетание минеральным составом, что приводит к образованию путей и каналов фильтрации воды непосредственно за внешней поверхностью тюбингов в матрице тампонажного раствора. Усугубляется ситуация развитием выщелачивания солей воды из горной породы.

Дополнительной проблемой является тот факт, что при монтаже тюбингов резиновый уплотнитель может деформироваться, а блоки могут вставать в кольцо тоннеля с превышением допусков по зазорам, что в итоге приводит к не сплошному смыканию резиновых уплотнителей между собой и как следствие к протечкам через них. Дополнительные фильтрации также появляются по причине превышения значений расчетного значения гидростатического давления.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Для решения поставленных задач на объекте был реализован ряд мероприятий по уплотнительному нагнетанию обделки тоннеля гидроструктурнами смолами на акрилатной основе MC-Injekt 3000 HPS и MC-Injekt GL-95 TX.

К инъекционным составам предъявлялись следующие требования:

1. Образование сплошного водонепроницаемого слоя, выдерживающего давления до 5 атм.
2. Вязкость, сопоставимая с вязкостью воды, для обеспечения возможности полного заполнения фильтрующих каналов и пустот фильтрации
3. Регулируемая скорость реакции состава в широком диапазоне (от 15 секунд до 30 мин) для обеспечения уплотнения по месту, с учетом средней температуры воды и снования 2,0-6,9 град С
4. Возможность выполнения работ при температурах от +1 град С
5. Высокая эластичность полимеризованного состава (не менее 50%) для обеспечения герметичности в условиях воздействий динамических нагрузок
6. Стойкость состава к эксплуатации в высокощелочной водной среде
7. Стойкость к воздействию переменных циклов замораживания и оттаивания
8. Способность к гидрофильному разбуханию для обеспечения дополнительного уплотняющего герметизирующего замыкания.

Для выполнения нагнетания в заобделочное пространство производилось бурение инъекционных шпуров диаметром 14 мм согласно схемы представленной на Рисунке 1. Бурение осуществлялось ручными перфораторами на глубину 620 мм, с обеспечением захода шпура в полость тампонажного раствора.

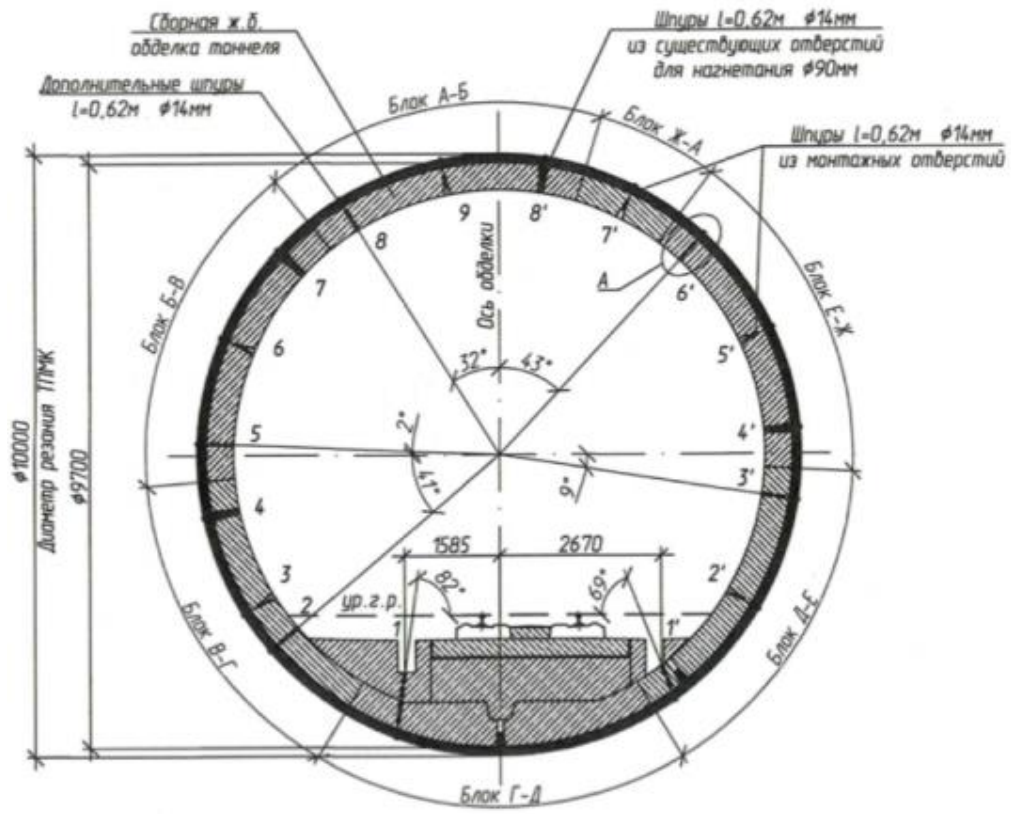


Рисунок 1. Схема установки инъекционных пакеров первого этапа нагнетания: 1-9 шпуры по западному сегменту тоннеля; 1’-8’ шпуры по восточному сегменту тоннеля.

Инъецирование на первом этапе осуществлялось гидроструктурной смолой MC-Injekt 3000 HPS с расходом около 3 кг/м2. Выполнялась низконапорная пропитывающая инъекция с помощью двухкомпонентных инъекционных насосов MC-I 700. Время реакции инъекционного материала было установлено в пределах 2-3 мин.

Для устранения остаточных локальных водопроявлений был предусмотрен второй этап инъецирования с учащением сетки инъецирования вокруг фильтрующего воду шва (Рисунок 2).

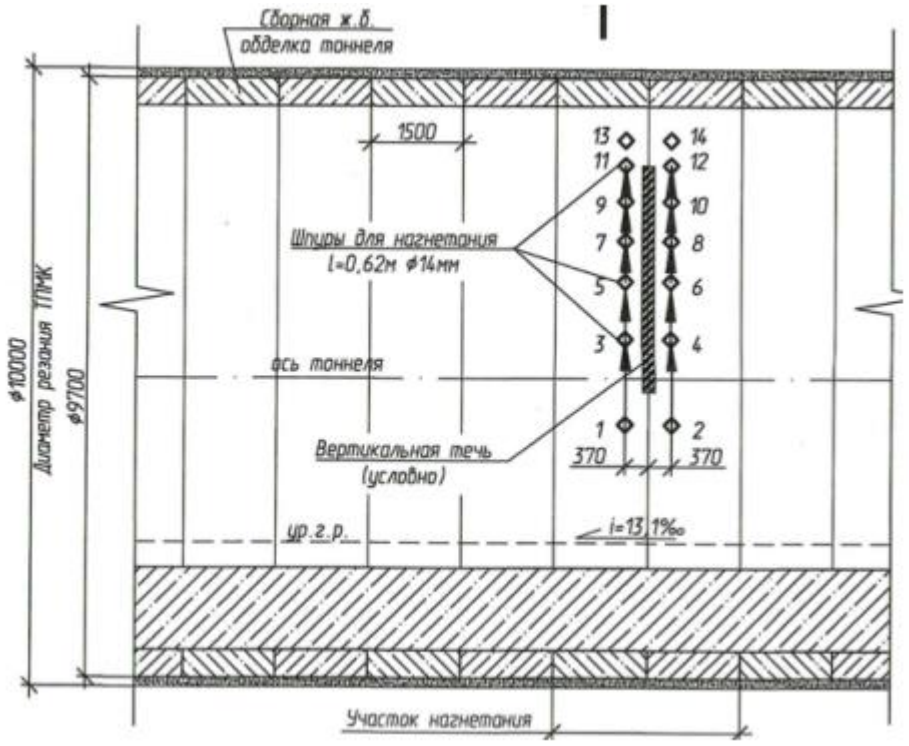


Рисунок 2. Схема установки пакеров второго этапа нагнетания: учащенная сетка бурения шпуров 1-14 вокруг локального межтюбингового шва.

Также были предусмотрены дополнительные мероприятия третьего этапа инъецирования по заполнению самой полости шва между резиновым уплотнителем и внешней запечаткой гидроструктурной смолой на акрилатной основе MC-Injekt GL-95 TX с коротким временем реакции менее 1 мин. В том числе было предусмотрено использование высокореакционных вспенивающихся полиуретановых составов MC-Injekt 2133, MC-Injekt 2700 для ликвидации локальных напорных протечек. Первые экспериментальные участки секции тоннеля были загерметизированы по данной технологии в 2018 году и по результату мониторинга в течение 2-х лет был зафиксирован положительный результат.

Работа по инъецированию осуществлялась с телег, перемещаемых по тоннелю по рельсовому пути. В пиковые моменты работа выполнялась с более чем 10 телег одновременно, имеющих по 2 инъекционных насоса на каждой.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Работа по созданию новой сплошной водонепроницаемой мембраны из гидрогеля MC-Injekt 3000 HPS по контакту обделки и породы была выполнена на участке тоннеля протяженностью более 4 км. По результатам выполненных работ зафиксировано полное прекращение течей через межтюбинговые швы и другие дефекты. Результаты выполненных работ генеральной подрядной организацией, проектной организацией и службой заказчика были расценены как положительные, поставленные задачи были решены. Полученный опыт может быть транслирован и рекомендован к применению на других подобных объектах, особенно в тоннелях, эксплуатируемых в подобных климатических условиях.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

[1]Bessolov, V.A. and Bezrodny K.P., 1993, Baikal-Amur Mainline tunnel construction, *Underground and shaft construction, №3* (RU): 17-20.

[2]Trunev, V.G., Gorbatov V.G. and Bezrodny K.P.,1984 Investigation of temperature fields of the Baikal-Amur Mainline tunnel rock lining system, Collection of scientific works of TSNIIS Rational use of labor, material and fuel and energy resources in transport construction (RU), Moscow, Russia: 37-41.

[3]Matsegora A.G., Bezrodny K.P., Sammal A.S., Fotieva N.N., 1997, Design and technology of injection strengthening of soils in the construction of transport tunnels (RU), Lenmetrogiprotrans, Moscow, Russia.