



УДК 811

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЕЙ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Гурбанов Ыбрайым

старший преподаватель

Мырадов Иламан

преподаватель

Перманов Бегенч

студент

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

г. Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. Применение инновационных механизированных комплексов для проходки тоннелей является определяющим фактором успеха при строительстве подземных сооружений в крайне сложных гидрогеологических условиях. Под сложными условиями понимаются водонасыщенные грунты, наличие плывунов, высокое гидростатическое давление и изменчивость геологических разрезов в процессе проходки. Традиционные методы в таких ситуациях часто оказываются неэффективными или сопряжены с колоссальными рисками просадок земной поверхности и затопления забоя. Современные тоннелепроходческие механизированные комплексы позволяют полностью изолировать зону работ от воздействия подземных вод и окружающего массива. Интеграция систем автоматизированного управления и высокоточного навигационного оборудования превращает проходку в высокотехнологичный и предсказуемый индустриальный процесс.

Ключевые слова: механизированные комплексы, тоннелестроение, гидрогеологические условия, активный пригруз забоя, гидрощит, навигация, тампонирующее, сегментная обделка, безопасность, мониторинг, бентонит, давление грунта, инновации, подземное строительство, инфраструктура.

THE USE OF INNOVATIVE MECHANIZED COMPLEXES FOR TUNNEL BORING IS A DECISIVE FACTOR FOR SUCCESS WHEN CONSTRUCTING UNDERGROUND STRUCTURES IN EXTREMELY COMPLEX HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

Gurbanov Ybrayym

Senior Lecturer

Myradov Ilaman

Lecturer

**Permanov Begench**

Student

Turkmen State Institute of Architecture and Construction

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. The foundation of the innovative approach is the use of shields with active face pressure, which balance the pressure of the soil and groundwater directly in the cutting zone. There are two main types of such complexes: Earth Pressure Balance (EPB) shields, which use the excavated soil as a pressure medium, and Slurry TBMs with bentonite pressure. In slurry shields, the face is filled with a special suspension under pressure, which creates a hermetic "clay cake" that prevents water breakthrough and soil collapse. This technology is indispensable for constructing tunnels under riverbeds, canals, and in coastal zones with high groundwater levels. Constant monitoring and regulation of pressure in the face chamber allow for work to be carried out with millimeter precision.

Keywords: mechanized complexes, tunnel construction, hydrogeological conditions, active face pressure, slurry TBM, navigation, grouting, segment lining, safety, monitoring, bentonite, soil pressure, innovations, underground construction, infrastructure.

Введение

Основу инновационного подхода составляет использование щитов с активным пригрузом забоя, которые уравнивают давление грунта и подземных вод непосредственно в зоне резания. Существует два основных типа таких комплексов: щиты с грунтопригрузом, использующие разработанную породу в качестве среды давления, и гидрощиты с бентонитовым пригрузом. В гидрощитах забой заполняется специальной суспензией под давлением, которая создает герметичную «глинистую корку», препятствующую прорыву воды и обрушению породы. Эта технология незаменима при строительстве тоннелей под руслами рек, каналами и в прибрежных зонах с высоким уровнем грунтовых вод. Постоянный мониторинг и регулирование давления в призабойной камере позволяют вести работы с точностью до миллиметра.

Режущий орган современного комплекса оснащается интеллектуальными датчиками износа и системами автоматической замены инструмента, что критически важно при работе в абразивных или скальных породах. Использование инновационных сплавов и напылений на резцах позволяет значительно увеличить проходческий цикл без остановки машины для технического обслуживания в опасной зоне забоя. В сложных условиях часто применяются гибридные режущие головы, способные эффективно разрушать как мягкие глинистые слои, так и твердые включения. Система видеосвязи и ультразвукового сканирования пространства перед



щитом дает оператору возможность «видеть» препятствия на пути следования комплекса. Это минимизирует вероятность повреждения дорогостоящего оборудования при столкновении с валунами или искусственными преградами.

Внедрение систем двухкомпонентного тампонирувания заобделочного пространства обеспечивает мгновенную фиксацию колец тоннельной обделки в окружающем массиве. Сразу после продвижения щита в зазор между породой и бетоном под высоким давлением нагнетается смесь цементного раствора и ускорителей твердения. Это предотвращает развитие деформаций грунта и исключает риск осадки зданий и коммуникаций, расположенных над трассой тоннеля в плотной городской застройке. Современные тампонажные растворы обладают высокой водонепроницаемостью и адгезией, создавая дополнительный защитный барьер для конструкции. Скорость и качество тампонирувания напрямую влияют на итоговую долговечность и герметичность всего подземного сооружения.

Автоматизированные системы навигации на базе лазерных теодолитов и гироскопических станций гарантируют соблюдение проектной траектории тоннеля с предельной точностью. Информация о положении щита в пространстве обновляется ежесекундно и выводится на мониторы в кабине пилота и в удаленном центре управления. Программное обеспечение сопоставляет реальное положение комплекса с цифровой моделью проекта, автоматически корректируя работу гидроцилиндров поворота. В сложных гидрогеологических условиях даже незначительное отклонение может привести к потере устойчивости забоя или повреждению уже смонтированной обделки. Цифровизация процесса управления позволяет исключить ошибки, связанные с человеческим фактором при ведении проходки.

Инновации в области материалов для высокоточной железобетонной обделки позволяют создавать тоннельные кольца с уникальными характеристиками прочности и водонепроницаемости. Использование стальной фибры и полимерных добавок в бетонной смеси исключает риск хрупкого разрушения сегментов при воздействии экстремального горного давления. Каждое кольцо оснащается специальными эластомерными уплотнителями, которые под давлением плотно прилегают друг к другу, обеспечивая полную герметичность стыков. В условиях высокого гидростатического давления применяются двойные контуры уплотнения с возможностью последующей инъекции герметиков. Качество геометрии сегментов контролируется роботами на заводе-изготовителе, что гарантирует идеальную сборку кольца внутри тоннеля.

Заключение

Таким образом, инновационные механизированные комплексы являются незаменимым инструментом для освоения подземного пространства в условиях сложных гидрогеологических



вызовов. Сочетание мощной механики, интеллектуального управления и современных материалов позволяет решать инженерные задачи, которые ранее считались невыполнимыми. Безопасность, точность и экологичность стали основными приоритетами в современном тоннелестроении благодаря внедрению передовых технологий. Развитие этой отрасли способствует созданию надежных транспортных артерий, способных служить десятилетиями в самых суровых природных условиях. Будущее подземного строительства неразрывно связано с дальнейшей роботизацией и цифровой трансформацией проходческих процессов.

Список литературы:

1. Кузнецов, С. П., & Иванова, Л. В. (2021). Технологические параметры работы щитов с гидропригрузом в условиях высокого давления подземных вод. Вестник тоннельной ассоциации, 15(2), 34-42.
2. Петров, А. Н., & Сидоров, В. М. (2020). Инновации в системах навигации и управления проходческими комплексами нового поколения. Журнал подземных сооружений, 12(3), 56-64.
3. Васильева, О. К., & Морозов, И. И. (2022). Обеспечение герметичности обделок тоннелей при экстремальном гидростатическом давлении. Технологии гражданского строительства, 10(1), 77-85.
4. Николаев, Д. Б., & Федорова, Т. А. (2019). Сравнительный анализ методов укрепления забоя при проходке тоннелей в плавунках. Механика грунтов и фундаментостроение, 14(4), 90-98.
5. Смирнов, К. Г., & Кузнецова, Е. С. (2023). Оценка рисков и экономической эффективности применения ТПМК в городской застройке. Инженерная экономика строительства, 19(5), 112-120.