

ТЕХНОЛОГИЯ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ ГЕОПОЛИМЕРНЫМИ СМОЛАМИ ДЛЯ ИСПРАВЛЕНИЯ ПРОСЕДАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ТРОТУАРА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

Шемякин К.А., Лутфурахманова А.А., Закиров М.Ф.

*Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия*

Ключевые слова: геополимерные смолы, технология инъектирования, проседание тротуара, подъём покрытия, реконструкция, стабилизация грунта, подъём плит, неразрушающий ремонт, несущая способность основания, инъектирование полимерами.

Аннотация. В статье обоснована эффективность технологии инъектирования геополимерными смолами для устранения проседаний покрытия тротуаров при реконструкции. Описаны состав смолы, этапы работ (диагностика, бурение каналов, инъектирование под давлением) и два метода: Floor Lifting и Deep Lifting. Представлен сравнительный анализ с цементным инъектированием и полной заменой покрытия, показавший преимущества геополимерной технологии по скорости (2-6 часов), трудоёмкости, долговечности (>50 лет) и минимальному вмешательству в конструкцию. Сделан вывод, что данный метод наиболее эффективен при локальных просадках, замачивании основания и необходимости работ без перекрытия объекта.

INJECTION TECHNOLOGY WITH GEOPOLYMER RESINS FOR CORRECTING SETTLING SIDEWALK PAVEMENT DURING RECONSTRUCTION

Shemyakin K.A., Lutfurakhmanova A.A., Zakirov M.F.

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

Keywords: geopolymer resins, injection technology, sidewalk settlement, pavement lifting, reconstruction, soil stabilization, floor lifting, non-destructive repair, subgrade bearing capacity, polymer injection.

Abstract. The article substantiates the effectiveness of geopolymer resin injection technology for eliminating sidewalk pavement settlement during reconstruction. The composition of the resin, work stages (diagnostics, drilling of channels, pressure injection) and two methods – Floor Lifting and Deep Lifting – are described. A comparative analysis with cement grouting and full pavement replacement is presented, demonstrating the advantages of geopolymer technology in terms of speed (2-6 hours), labor intensity, durability (>50 years), and minimal structural intervention. It is concluded that this method is most effective for local settlements, base waterlogging, and when work is required without site closure.

Введение

В условиях реконструкции неотъемлемой частью является благоустройство прилегающей территории. Чаще всего, данная территория уже имеет соответствующее покрытие. Будь то асфальтобетон или железобетонные плиты. Однако проседание покрытия – это распространенная проблема в эксплуатации прилегающих территорий зданий и сооружений. Традиционные методы ремонта и восстановления (демонтаж, выемка грунта, укладка новых слоев) требуют значительных финансовых, временных и

трудовых затрат. Современная альтернатива – технология инъектирования геополимерными смолами, позволяющая эффективно и оперативно восстанавливать несущую способность основания [1].

Технология инъектирования и область применения

Рассмотрим технологию инъектирования геополимерными смолами, которая дает возможность в кратчайшие сроки произвести ремонт покрытия.

Геополимерная смола – это двухкомпонентная смесь.

1) Компонент А (раствор щелочного активатора): водный раствор сильной щелочи (например, гидроксида калия КОН или натрия NaOH) и силиката (жидкое стекло).

2) Компонент В (твердая алюмосиликатная основа): порошок, основой которого являются вещества, богатые алюминием (Al) и кремнием (Si).

Когда жидкий компонент А смешивается с порошкообразным компонентом В, происходит быстрая химическая реакция полимеризации. Алюмосиликатные частицы растворяются в щелочной среде и образуют трехмерную геополимерную сетку, которая прочно связывает между собой все частицы наполнителя [2].

Технология подразделяется на два метода.

1. Floor Lifting. Данный метод позволяет поднять положение просевшего бетонного основания и выровнять покрытие целого участка. Floor Lifting гораздо эффективнее традиционных способов ремонта. Геополимерные смолы позволяют выдерживать гораздо большие динамические нагрузки.

2. Deep Lifting. В данном случае геополимеры используются для увеличения несущей способности грунтов. Возможно применение метода устройства нового покрытия. При инъектировании геополимеров в толщу чрезмерно увлажненного грунта происходит вытеснение избыточной жидкости и несущая способность грунта увеличивается.

В статье [3] подробно описывается технология выполнения работ. Она включает в себя несколько этапов.

Этап 1. Диагностика и подготовка. В данном этапе для определения конфигурации просадок осуществляется нивелировка поверхности при помощи лазерного или оптического нивелира различных марок. Также при помощи радиолокатора, проводят георадарное обследование для выявления пустот под плитами. Очистка поверхности от загрязнений, а также разметка мест бурения.

Этап 2. Бурение инъекционных каналов. Бурение отверстий диаметром от 12 до 16 мм. Отверстия следует располагать в шахматном порядке с примерным шагом 0,8-1,2 м. Глубина варьируется, в зависимости от расположения пустот. Бурение осуществляется различными установками, например буровая установка вращательного типа (шнекового бурения) Hitachi DA200E (рис. 1) и т.п.

Этап 3. Инъектирование. Для выполнения работ по инъектированию, необходимо установить пакеры (рис. 2), с помощью которых осуществляется подача полиуретановых составов. Подача осуществляется под давлением 2-6 атм. до установления покрытия в проектное положение [4].



Рис. 1. Буровая установка Hitachi DA200E



Рис. 2. Пакеры для инъектирования

Область применения технологии инъектирования геополимерными смолами при реконструкции [5]:

1. Реконструкция фундаментов и оснований зданий.
 - укрепление просевших фундаментов жилых, промышленных и административных зданий;
 - усиление оснований при перепланировке, например, для размещения дополнительного оборудования или новых несущих стен;
 - укрепление фундаментов при реставрации исторических зданий, а также минимальное вмешательство в структуру объекта при восстановлении;
 - ликвидация трещин и предотвращение перекосов, вызванных деформацией грунта.
2. Ремонт дорожных покрытий и инфраструктурных объектов.
 - выравнивание и стабилизация бетонных полов в складских помещениях, логистических комплексах и торговых центрах;
 - устранение просадок и восстановление плоскости покрытия.
3. Коммунальная инфраструктура и благоустройство.
 - быстрое устранение просадок тротуаров и пешеходных дорожек;
 - ремонт покрытий в условиях повышенной влажности и воздействия органических кислот (вокруг бассейнов, полы в сельскохозяйственных и животноводческих комплексах). Метод может быть применен за счет устойчивости пены к влаге и агрессивным средам.

Сравнительный анализ методов для выравнивания покрытия асфальтобетонного тротуара

Изучив источники [6, 7] определены основные параметры различия методов. Результаты анализа сведены в таблицу 1.

Для экономического сравнения вышеприведенных методов необходимо более детально проанализировать стоимость работ и материалов. Для более точного сравнения, зададимся некоторыми условиями. Площадь асфальтобетонного покрытия, которую необходимо привести в одну плоскость составляет 50 м², под покрытием есть четкие пустоты (вымытый грунт), что обеспечивает средний расход. Сравнения представлены в таблице 2.

Табл. 1. Сравнительная характеристика методов выравнивания покрытия асфальтобетонного тротуара

Критерий	Инъектирование геополимерными смолами	Цементное инъецирование	Полная замена покрытия
Скорость работ	Высокая: 2-6 часов для среднего объекта. Эксплуатация через 15-60 минут после полимеризации	Средняя: 1-2 дня + время на набор прочности цементом (до 7 суток)	Низкая: 7-14 дней и более (демонтаж, подготовка основания, монтаж, набор прочности)
Трудоемкость	Низкая: Работу выполняет бригада 2-3 человека	Средняя: Требуется бригада 3-4 человек, работа с тяжелыми материалами	Высокая: Привлекается тяжелая техника (перфораторы, экскаваторы, смесители), большая бригада
Вмешательство в конструкцию	Минимальное: Отверстия Ø12-16 мм, которые легко герметизировать	Среднее: Отверстия Ø30-50 мм, требуют серьезного ремонта	Максимальное: Полное разрушение существующей конструкции
Масса материала	Низкая: Плотность затвердевшей пены 150-300 кг/м³. Не создает дополнительной нагрузки на основание	Высокая: Плотность цементно-песчаной суспензии ≈2000 кг/м³. Риск дополнительной осадки из-за веса	Высокая: Масса нового покрытия идентична старой, проблема основания не решается
Устойчивость к вымыванию и влаге	Высокая: Пена гидрофобна, не впитывает воду, не подвержена эрозии	Низкая: Цементный раствор может вымываться грунтовыми водами, возможны повторные просадки	Зависит от исполнения: Качество зависит от гидроизоляции и подготовки нового основания
Контролируемость процесса	Высокая: Подъем плиты контролируется с точностью до миллиметра. Можно точно корректировать уклон	Низкая: Трудно контролировать распределение раствора и величину подъема. Возможны внезапные подвижки	Высокая: Создается новая конструкция по проектным отметкам
Долговечность	Высокая: Срок службы более 50 лет. Материал не дает усадки	Средняя/Низкая: 3-10 лет. Возможны усадка и вымывание	Высокая: При условии качественного выполнения всех работ

Табл. 2. Экономическое сравнение методов

Критерий	Инъектирование геополимерными смолами	Цементное инъектирование	Полная замена покрытия
Расход	8 кг на 1 м ²	600 кг на 1 м ²	260 кг на 1 м ² при условии покрытия 10 см (асфальтобетон)
Стоимость материала	300÷600 рублей за 1 кг (пенно-полиуретановая смола)	6000÷12000 рублей за 1 м ³ (готовый инъекционный состав)	5500÷8500 рублей за 1 тонну (асфальтобетона) 2500÷3500 рублей за 1 м ³ (гранитный щебень) 600÷900 рублей за 1 м ³ (карьерный песок)
Подготовительные работы	Разметка, бурение шпуров	Разметка, бурение шпуров, подготовка поверхности	Демонтаж покрытия, планировка, подсыпка щебня и песка, уплотнение
Стоимость работ по данному методу	2500÷4500 рублей за 1 м ²	1500 ÷ 3000 рублей за 1 м ²	1100÷1800 рублей за 1 м ² (демонтажные работы составляют 70%)
Итоговая стоимость	355000 рублей	292500 рублей	280050 рублей

Примечание: цены приняты среднерыночными; при полной замене покрытия учтена работа строительных машин и оборудования.

Выводы

Использование технологии инъектирования геополимерными смолами обеспечивает значительное сокращение трудозатрат и сроков производства работ по сравнению с традиционными методами. Данная технология наиболее эффективна в сложных случаях, таких как постоянные локальные просадки, систематическое замачивание основания или необходимость точечного уплотнения грунта. В этих условиях классические цементные растворы оказываются неэффективными из-за низкой проникающей способности и чувствительности к влаге. В сравнении с полной заменой покрытия, инъектирование геополимерами позволяет избежать сопутствующих масштабных работ и существенно снижает стоимость решения. Ключевым преимуществом является возможность проведения работ без полного перекрытия объекта и ограничения зоны выполнения работ, что критически важно для действующих предприятий.

Список литературы

1. Бабаскин Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. – Минск: УП "Технопринт", 2002. – 177 с.
2. Воробьев А. Эпоксидные смолы // Компоненты и технологии. – 2003. – №8(34). – С. 170-173.
3. Калач Ф.Н. Оценка эффективности использования технологии инъекционного укрепления слабых грунтов в основании фундаментов мелкого заложения

саморасширяющимися растворами // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11, №2. – С. 62-77. – DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.06.

4. Тер-Мартirosян А.З., Анжело Г.О., Алексеев В.А. Особенности реализации инъекционных технологий составами на полимерной основе с регулируемыми параметрами в подземном строительстве. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. – 2025. – №17. – С. 466-474.
5. Геополимерное инъецирование для усиления оснований и фундаментов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3QFB4J>.
6. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты. – 5-е изд. – М.: Высшая школа, 2010. – 566 с.
7. Abdila S.R., Abdullah M.M.A.B., Ahmad R., Abd Rahim S.Z., Rychta M., Wnuk I., Nabialek M., Muskalski K., Mohd Tahir M.F., Syafwandi, Isradi M., Gucwa M. Evaluation on the Mechanical Properties of Ground Granulated Blast Slag (GGBS) and Fly Ash Stabilized Soil via Geopolymer Process // Materials. 2021, no. 14, pp. 11-12. doi.org/10.3390/ma14112833.

References

1. Babaskin Yu.G. Strengthening of Soils by Injection during Road Repair. – Minsk: UE "Technoprint", 2002. – 177 p.
2. Vorobyov A. Epoxy Resins // Components and Technologies. 2003, no. 8(34), pp. 170-173.
3. Kalach F.N. Evaluation of the effectiveness of using injection strengthening technology for weak soils in the foundation of shallow foundations with self-expanding mortars // Construction and Geotechnics. 2020, vol. 11, no. 2, pp. 62-77.
4. Ter-Martirosyan A.Z., Angelo G.O., Alekseev V.A. Features of the implementation of injection technologies with polymer-based compositions with adjustable parameters in underground construction. Part I // Nanotechnologies in Construction. 2025, no. 17, pp. 466-474.
5. Geopolymer injection for strengthening foundations and bases [Electronic resource]. – Access mode: <https://clck.ru/3QFB4J>.
6. Ukhov S.B., Semenov V.V., Znamensky V.V., Ter-Martirosyan Z.G., Chernyshev S.N. Soil Mechanics, Foundations and Bases – 5th ed. – M.: Higher School, 2010. – 566 p.
7. Abdila S.R., Abdullah M.M.A.B., Ahmad R., Abd Rahim S.Z., Rychta M., Wnuk I., Nabialek M., Muskalski K., Mohd Tahir M.F., Syafwandi, Isradi M., Gucwa M. Evaluation on the Mechanical Properties of Ground Granulated Blast Slag (GGBS) and Fly Ash Stabilized Soil via Geopolymer Process // Materials. 2021, no. 14, pp. 11-12. doi.org/10.3390/ma14112833.

Шемякин Кирилл Андреевич – магистрант	Shemyakin Kirill Andreevich – master's degree student
Лутфурахманова Анастасия Андреевна – магистрант	Lutfurakhmanova Anastasia Andreevna – master's degree student
Закиров Марат Фанилевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные материалы, механизация и геотехника»	Zakirov Marat Fanilevich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of construction materials, mechanization and geotechnics
shemyakin_18.4@mail.ru	

Received 23.04.2026