

Инновационные методы упрочнения грунтов оснований фундаментов в г. Санкт-Петербурге

К.А. Мальцева

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

Обоснование. С 90-х годов в Санкт-Петербурге успешно применяются инъекционные технологии для закрепления слабых водонасыщенных грунтов [1]. Это особенно актуально для усиления оснований исторических объектов. Традиционные растворы, разработанные в XX в., в данных грунтовых условиях не эффективны, и необходимы новые пути решения этой проблемы [2–4].

Цель — научное обоснование наиболее оптимального варианта закрепления различных типов слабых водонасыщенных грунтов оснований фундаментов инновационными типами инъекционных растворов для улучшения их прочностных и деформационных характеристик.

Методы. Исследуются три типа инновационных инъекционных растворов: микроцементные, органосиликатные и акрилатные. На основе анализа современной научно-технической литературы изучены состав, физико-химические особенности взаимодействия растворов с грунтами основания и их свойства, а также определены ведущие отечественные производители [5–9].

Результаты.

1. Микроцементные растворы

Состав: портландцемент ультратонкого помола (размер частиц <10–20 мкм), вода, добавки (пластификаторы, стабилизаторы).

Физико-химические особенности и свойства: гидратация цемента обеспечивает высокую прочность (5–10 МПа) и сцепление с песчаными/супесчаными грунтами. Средняя проникающая способность (размер пор более 10–20 мкм), низкая эластичность (0–5 %), усадка при твердении (2–5 %). Устойчивы к сульфатам, но возможно выщелачивание в кислотных средах. Время твердения: начальное 1–2 часа, полное 5–6 суток.

Ведущие производители: «Resmix» (Санкт-Петербург), «БурИнжСтрой» (Москва), «ПроектДон» (Ростов-на-Дону).

2. Органосиликатные растворы

Состав: силикаты натрия или калия, органические добавки, вода.

Физико-химические особенности и свойства: гелеобразование обеспечивает адгезию к глинистым грунтам и высокую проникающую способность (поры более 1–5 мкм). Прочность 1–3 МПа, эластичность 10–50 %, усадка менее 1 %. Высокая экологичность, устойчивость к большинству химических сред, но чувствительность к кислотам (рН <5). Время твердения от 30 мин до 2 часов.

Ведущие производители: ООО «Силор» (Новосибирск), «Геострой» (Москва), «Кремний ЭЛ» (Казань), ООО «Русские инъекционные технологии» (Москва), «ПроектДон» (Ростов-на-Дону).

3. Акрилатные растворы

Состав: акриловые мономеры ($C_5H_8O_2$ или C_3H_5NO в виде водного раствора), инициатор полимеризации персульфаты, например, $(NH_4)_2S_2O_8$, катализаторы (амины), добавки, вода, модификаторы.

Физико-химические особенности и свойства: быстрая полимеризация (10 с — 30 мин) обеспечивает высокую эластичность (100–200 %) и проникающую способность (размер пор более 0,5–2,0 мкм). Прочность 0,5–2,0 МПа; адгезия — лучше к песчаным грунтам, чем к глинистым. Устойчивы к сульфатам, но чувствительны к щелочам (рН > 12). Низкая экологичность из-за риска загрязнения грунтовых вод до полимеризации.

Ведущие производители: ООО «ПолимерТех» (Екатеринбург), «ИнжГеоТех» (Санкт-Петербург), «Гидро-СпецПроект» (Москва), ООО «Силор» (Новосибирск), «Геострой» (Москва).

По результатам аналитического сравнения инновационных инъекционных растворов была составлена табл. 1, позволяющая наглядно оценить предполагаемую степень эффективности каждого из них.

Таблица 1. Качественная сравнительная оценка свойств инновационных химических растворов

Сравниваемый параметр	Типы инъекционных растворов		
	Микроцементные	Органосиликатные	Акрилатные
Прочность на сжатие	Высокая	Низкая	Низкая
Вязкость	Средняя	Низкая	Очень низкая
Проникающая способность	Средняя	Высокая	Очень высокая
Связь с грунтом	Хорошая	Средняя	Средняя
Устойчивость к усадке	Низкая	Высокая	Высокая
Температурная устойчивость	Средняя	Средняя	Низкая
Эластичность	Низкая	Умеренная	Высокая
Химическая совместимость с грунтом	Хорошая	Хорошая	Средняя
Время твердения	Длительное, до 6 суток	Среднее, до 2 часов	Быстрое, до 30 мин
Экологичность	Средняя	Высокая	Низкая

Выводы. Каждый из рассмотренных инновационных растворов имеет свои достоинства и недостатки. Разработка универсального подхода к выбору инъекционных растворов для укрепления грунтов под историческими объектами Санкт-Петербурга требует дальнейших лабораторных и полевых испытаний с учетом специфики местных геологических условий.

Ключевые слова: инъекционное закрепление грунтов; грунты основания; микроцементные растворы; органосиликатные растворы; акрилатные растворы; сравнительный анализ.

Список литературы

1. Мангушев Р.А., Шулятьев О.А. Геотехнические проблемы строительства в условиях Санкт-Петербурга. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2018. 180 с.
2. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. Москва: Стройиздат, 1965. 240 с.
3. Соколович В.Е. Технология силикатного закрепления грунтов // Строительные материалы. 1978. № 5. С. 12–15.
4. Ибрагимов М.Н. Инъекционные методы укрепления слабых грунтов / Геотехника. 1985. № 3. С. 20–25.
5. Сахаров И.И. Современные технологии инъекционного закрепления грунтов // Вестник СПбГАСУ. 2020. № 2. С. 45–52.
6. Техническая документация «ГидроЗО». Серия «МЦ-Гео». Москва, 2023.
7. Отчет по реконструкции второй сцены Мариинского театра. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2013.
8. Техническая документация «БАСФ Строй». Серия «MasterRoc». Москва, 2024.
9. Калач Ф.Н. Акрилатные растворы в геотехническом строительстве // Геотехнические инновации. 2022. № 1. С. 30–35.

Сведения об авторе:

Ксения Андреевна Мальцева — аспирант кафедры геотехники, учебная группа 1-ОФПСа-1, строительный факультет; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ksenia2300@mail.ru

Сведения о научном руководителе:

Рашид Абдуллович Мангушев — заслуженный деятель науки РФ, чл.-корр. РААСН, доктор технических наук, доцент; профессор кафедры геотехники; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ramangushev@yandex.ru