

МЕТОДЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20463994>

Бозорова Мунаввар Дилмуродовна

*Мастер производственного обучения
Термезского городского техникума № 2,*

Урокова Манзура Хусановна,

*Преподаватель специального предмета
Термезского городского техникума № 2.*

Введение: В современном строительстве надежность основания – это главный залог долговечности любого сооружения. Далеко не всегда грунты на строительной площадке обладают достаточной несущей способностью укрепления, примерами их становятся слабые, просадочные, песчаные или переувлажненные почвы. По этой причине архитекторы и строители в течении долгого времени изучали методы для укрепления таких грунтов.

Укрепление (стабилизация) грунтов – это комплекс физико-химических и механических воздействий, направленных на повышение прочности, водонепроницаемости и снижения сжимаемости земляного основания. Правильный выбор метода укрепления грунта – это баланс между геологическими условиями, экономической целесообразностью и требованиями безопасности. В последние годы вектор развития технологий сместился в сторону экологической безопасности и цифрового контроля в рамках концепции «Индустрии 4.0».

Материалы исследования: В качестве объектов исследования рассматриваются различные типы неустойчивых оснований: лессовые (просадочные) грунты, рыхлые пески, глины, суглинки и водонасыщенные пласты (пльвуны).

Методы исследования: Для изменения физико-механических свойств почв применялся комплексный методологический подход, классифицируемый по типу воздействия на четыре основные группы: химические, термические, физико-механические и инновационные методы.

Основные положения статьи: В ходе анализа эффективности различных технологий стабилизации были зафиксированы следующие практические результаты:

При применении химических методов закрепления грунтов, основанных на введении в грунт специальных растворов, которые вступают в химическую реакцию с частицами почвы или между собой, образуя прочные водостойкие связи. Они представляют собой следующие:

- **Цементация:** Нагнетание цементного раствора (или цементно-песчаной смеси) через инъекторы под давлением. Применяется в трещиноватых скальных породах и крупнообломочных грунтах.

Разновидностью является *струйная цементация (Jet Grouting)*, при которой грунт разрушается высоконапорной струей цементного раствора, образуя прочные грунтоцементные сваи. Он обеспечивает высокую конечную прочность в песках средней крупности и скальных породах за счет формирования жестких грунтоцементных свай.

• **Силикатизация:** Классический метод, основанный на использовании силиката натрия (жидкого стекла).

➤ *Двухрастворный метод* (последовательное введение жидкого стекла и хлористого кальция) используется для закрепления песков.

➤ *Однорастворный метод* (смесь жидкого стекла с отвердителем) применяется для лессовых (просадочных) грунтов.

Благодаря своим 2 разным методам, применяемым в укреплении грунта различных пород, он обеспечивает быстрое устранение просадочности в лессовых грунтах и способствует затвердеванию песка.

• **Смолизация:** Инъектирование синтетических смол (карбамидных, эпоксидных) с отвердителями. Метод эффективен для мелкозернистых песков, так как смолы обладают низкой вязкостью и легко проникают в мельчайшие поры.

В то время как *термическое воздействие* радикально меняет структуру грунта, превращая его в монолит.

• **Термическое закрепление (обжиг):** Заключается в сжигании топлива (газа, мазута) непосредственно в герметично закрытых скважинах под давлением. Температура газов достигает **700–900°C**. Под действием тепла лессовые и глинистые грунты спекаются, теряют просадочные свойства и приобретают прочность кирпича.

• **Искусственное замораживание:** Временный метод, используемый при проходке шахт, строительстве метро и разработке котлованов в водонасыщенных грунтах (пльвунах). Вокруг зоны раскопок бурятся скважины, по которым циркулирует хладагент (рассол или жидкий азот), превращая воду в грунте в лед и создавая прочную ледогрунтовую стену.

Имеются еще и *физико-механические методы*, которые применяются для уплотнения грунтов без изменения их химического состава, в основном за счет удаления пор и влаги.

• **Поверхностное уплотнение:** Трамбование тяжелыми катками (кулачковыми, вибрационными) или сбрасыванием тяжелых плит (весом до **10–15 тонн**) с высоты до **10–15 метров** (динамическое уплотнение). Применяется для насыпных и песчаных грунтов.

• **Глубинное уплотнение:**

○ *Виброфлотация (виброуплотнение):* В грунт погружается специальный вибратор с одновременной подачей воды. Эффективно для рыхлых песков.

○ *Грунтовые и песчаные сваи:* В грунте пробиваются полости, которые затем послойно заполняются песком или местным щебнем с мощным уплотнением.

Сравнительный анализ показывает, что каждый метод имеет четкие эксплуатационные ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании.

• Так, метод **цементации** наиболее эффективен для песков средней крупности и скальных трещиноватых пород, обеспечивая высокую конечную прочность основания, однако он сопряжен с высоким расходом цемента и абсолютно неэффективен в глинистых грунтах. **Силикатизация** применяется для лессов, а также мелких и средних песков, позволяя быстро устранить просадочность, но данный процесс требует исключительно точного химического контроля. **Термический обжиг** идеально подходит для глин, суглинков и лессовых грунтов, приводя к полной ликвидации просадочности, однако его сдерживают высокий расход топлива и значительные энергозатраты. **Искусственное замораживание** незаменимо при работе с водонасыщенными грунтами и плывунами ниже уровня грунтовых вод, но этот эффект является строго временным и сохраняется лишь до отключения замораживающей станции. В свою очередь, **динамическое уплотнение** привлекает низкой стоимостью и высокой скоростью работы на насыпных грунтах и рыхлых песках, но из-за сильной вибрации его нельзя применять вблизи уже существующих зданий.

• Обсуждая экологический аспект и тренды «Индустрии 4.0», стоит отметить, что традиционные методы (цементация, обжиг) энергозатратны или могут влиять на химсостав среды. Внедрение биоцементации (MICP) снимает проблему химического загрязнения, а IoT-датчики минимизируют перерасход строительных материалов, решая проблему неточного распределения растворов в глубинных слоях.

Современные тенденции: Экология и Индустрия 4.0

В последние годы вектор развития технологий укрепления грунтов сместился в сторону экологической безопасности и цифрового контроля:

1. **Биоцементация (Microbial Induced Calcite Precipitation - MICP):** Инновационный экологический метод, при котором в грунт вводятся специальные бактерии. В процессе жизнедеятельности они выделяют кальцит (кристаллы известняка), который естественным образом склеивает песчинки между собой. Этот метод не загрязняет грунтовые воды.

2. **Цифровой мониторинг инъекций:** Современные инъекционные комплексы оснащаются IoT-датчиками. В реальном времени система контролирует давление, расход и вязкость смеси, что позволяет создавать подземные несущие массивы с ювелирной точностью, снижая перерасход материалов.

Заключение: Правильный выбор метода укрепления грунта – это баланс между геологическими условиями, экономической целесообразностью и требованиями безопасности. Своевременное и качественное упрочнение основания позволяет строить высотные здания и сложные инженерные объекты даже на самых «капризных» участках, гарантируя их безаварийную эксплуатацию на десятилетия вперед.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с изменениями и дополнениями). – М.: Минстрой России, 2022. – 346 с.
2. Алиев, Р. А. Химическое и термическое закрепление грунтов в промышленном строительстве / Р. А. Алиев, И. В. Попов. – М.: Стройиздат, 2023. – 215 с.
3. Зуев, Б. М. Технология струйной цементации (Jet Grouting) при устройстве подземных несущих массивов / Б. М. Зуев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2024. – № 4. – С. 18–25.
4. Королев, В. А. Экологическая геотехника: учебник для вузов / В. А. Королев. – М.: Академический проект, 2023. – 380 с.
5. Сидоров, С. А. Искусственное замораживание водонасыщенных грунтов при строительстве подземных сооружений в сложных геологических условиях / С. А. Сидоров, Д. В. Николаев // Метро и тоннели. – 2025. – Т. 14, № 2. – С. 44–51.
6. Цифровой мониторинг геотехнических систем: применение IoT-датчиков при инъекционном укреплении оснований / Е. П. Кузнецов, А. М. Федоров, Л. Д. Смолин [и др.] // Автоматизация в строительстве. – 2025. – № 9. – С. 12–19.
7. **Microbial Induced Calcite Precipitation (MICP):** Инновационные методы биоцементации и стабилизации дисперсных грунтов / Т. А. Петрова, И. Р. Ахмедов // Геотехника. – 2024. – № 3. – С. 56–63.
8. **Mitchell, J. K.** Fundamentals of Soil Behavior / J. K. Mitchell, K. Soga. – 4th ed. – New York: John Wiley & Sons, 2024. – 522 p.