

Петрияненко Сергей Николаевич

студент магистратуры
Кубанский государственный аграрный
университет им. И.Т. Трубилина
Краснодар, Россия

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГЛУБОКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ
В УПРАВЛЕНИИ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ РИСКАМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ****Аннотация**

Рассмотрено применение метода глубокого перемешивания (DSM) как средства управления инвестиционными рисками при строительстве на слабых грунтах. Описаны технологические особенности формирования грунтоцементных колонн, их инженерные параметры и зависимость характеристик от состава грунтовой смеси. Проведён анализ влияния технологии на снижение технической неопределённости, временных и финансовых потерь. DSM представляется не только как метод усиления оснований, но и как инструмент формирования устойчивой инвестиционной модели при проектном финансировании. Особое внимание уделено взаимосвязи инженерных и экономических эффектов, подтверждённых экспериментальными и полевыми данными. Делается вывод о возможности включения DSM в комплексные стратегии минимизации рисков при реализации строительных проектов различного масштаба.

Ключевые слова: глубокое перемешивание, инвестиционные риски, проектное финансирование

Современное строительство сталкивается с необходимостью реализации масштабных инвестиционных проектов в условиях инженерной и экономической неопределённости. Ускоренный ввод объектов, использование проблемных территорий со слабыми грунтами и ужесточение нормативных требований повышают риски как на техническом, так и на инвестиционном уровне. Особенно уязвимы этапы, связанные с устройством оснований зданий и сооружений – их надёжность напрямую определяет устойчивость всего проекта, а ошибки или непредвиденные обстоятельства на этом этапе зачастую приводят к критическим отклонениям по срокам и бюджету.

В условиях, когда повышение предсказуемости и управляемости строительных процессов становится стратегическим приоритетом, возрастает интерес к технологиям, способным одновременно решать задачи технической надёжности и снижать уровень инвестиционного риска. Одной из таких технологий является метод глубокого перемешивания (DSM – Deep Soil Mixing), представляющий собой процесс механического смешивания грунта с вяжущими материалами непосредственно в массиве основания. В результате формируются грунтоцементные колонны с заданными геометрическими и физико-механическими характеристиками, что позволяет существенно повысить несущую способность слабых грунтов без необходимости полного удаления или замены естественного основания.

Метод DSM отличается высокой гибкостью в проектных решениях, возможностью работы в водонасыщенных и техногенно нарушенных слоях, а также технологической совместимостью с другими системами усиления грунтов. При этом эффективность применения метода напрямую зависит от точного расчёта параметров грунтоцементных элементов, соблюдения режимов перемешивания и корректного учёта характеристик исходного грунта, что требует согласованного инженерного и управленческого подхода. С технической точки зрения DSM позволяет формировать сплошные укрепленные массивы или решётчатые основания с контролируруемыми деформационными характеристиками. С позиции инвестора или девелопера – технология обеспечивает минимизацию издержек, связанных с переработкой проектных решений, вынужденными переделками и страховыми событиями.

Не менее важно и то, что технология глубокого перемешивания становится частью инструментов управления рисками при проектном финансировании, особенно в рамках жилищного и инфраструктурного строительства. Применение данной технологии способствует снижению вероятности финансовых потерь за счёт повышения предсказуемости хода работ и уменьшения вероятности геотехнических осложнений. Она позволяет формировать обоснованные параметры инвестиционной модели, сокращает время на подготовку строительной площадки и повышает устойчивость графика выполнения ключевых этапов.

На этом фоне возникает необходимость системной оценки потенциала DSM как механизма управления инвестиционными рисками. Требуется определить не только инженерные возможности технологии, но и её влияние на ключевые экономические показатели инвестиционного проекта. Особое внимание при этом следует уделить вопросу, насколько использование метода DSM влияет на вероятность соблюдения проектных сроков, снижение затрат на устранение дефектов и возможность прогнозирования инвестиционного результата в условиях нестабильной внешней среды.

Целью исследования является анализ использования метода глубокого перемешивания в качестве средства минимизации инвестиционных рисков при строительстве. Задача состоит в рассмотрении технических характеристик DSM, его роли в управлении геотехническими и временными рисками, а также в определении его влияния на экономическую устойчивость инвестиционно-строительного проекта.

Метод глубокого перемешивания грунта (DSM) представляет собой инженерное решение, направленное на стабилизацию слабых оснований путём создания в массиве вертикальных грунтоцементных колонн. Суть технологии заключается в механическом смешивании естественного грунта с вяжущим веществом непосредственно на глубине, без изъятия породы. Процесс реализуется с помощью специализированного бурильного оборудования, оснащённого смесителями с лопастями и системой подачи раствора. В зависимости от инженерно-геологических условий используется либо сухой, либо мокрый способ перемешивания. Диаметр образуемых колонн варьируется от 400 до 2000 мм, а глубина достигает 25-70 м при использовании специального оборудования [1]. Технология обеспечивает высокую равномерность укрепления и позволяет применять её в условиях водонасыщенных, неоднородных и просадочных грунтов. Преимущество метода заключается в точном контроле параметров колонн: прочности, плотности, однородности, что делает DSM удобным инструментом в геотехническом проектировании.

Для повышения эффективности проекта решающее значение имеет подбор состава цементогрунта. Исследования показывают, что механические свойства итогового материала напрямую зависят от гранулометрического состава и пластичности исходного грунта. В случае с лессовыми грунтами оптимизация состава достигается за счёт введения песчаной фракции. При добавлении 25 % песка к суглинку прочность на сжатие достигает 7 МПа и остаётся стабильной до уровня 80 % добавки. Показатель хрупкости, определяемый через анализ кривой зависимости напряжения от деформации, служит критерием оценки надёжности полученного (рис. 1) [2].

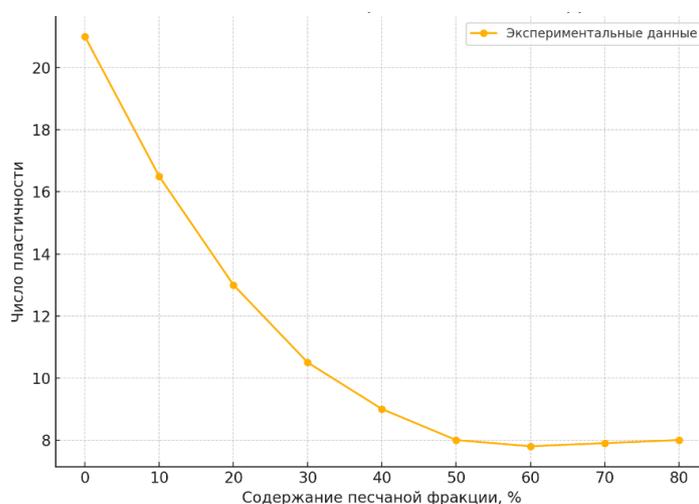


Рисунок 1 – Зависимость числа пластичности от содержания песчаной фракции в цементогрунте

Инженерная предсказуемость метода DSM способствует сокращению инвестиционных рисков на стадии реализации строительного проекта. Устранение вероятности неравномерных осадок, провалов и деформаций позволяет избежать затрат на переделку конструкций и минимизирует вероятность выхода за пределы графика. Результаты полевых испытаний в Новосибирске подтверждают стабильность получаемого модуля деформации. Проведённые штамповые испытания грунтоцементных колонн диаметром 400 мм показали фактическое значение модуля деформации 30,2–31,4 МПа на 14 сутки, при том что проектное значение составляет 40,9 МПа. При этом учитывается, что полное твердение происходит к 56 дню, что объясняет расхождение значений и подчёркивает необходимость контроля сроков твердения при расчётах [3].

Реализация инвестиционного проекта с использованием DSM требует чёткого взаимодействия технической и экономической частей. Ключевым преимуществом метода выступает снижение уровня неопределённости в проектировании. Процедура усиления основания с помощью DSM даёт возможность заранее задать деформационные характеристики и включить их в расчёт финансовой модели. По данным анализа рисков в инновационно-инвестиционной деятельности, степень влияния рисков на стоимость компании зависит от вероятности изменений денежных потоков и требует строгой классификации. Модель оценки, основанная на показателях Net Profit, EBIT, FOCF, позволяет учесть возможное отклонение от ожидаемой стоимости проекта в условиях нестабильной среды [4].

Интеграция технологии DSM в модель риск-менеджмента проектного финансирования позволяет девелоперу или застройщику получить устойчивую основу для соблюдения обязательств перед финансовыми структурами. Банки и инвестиционные организации рассматривают наличие геотехнически контролируемого основания как фактор повышения надёжности инвестиционного проекта. Дополнительно, организация проектного цикла с учётом применения DSM может включать эксклюзивные партнёрства с финансовыми институтами, предоставляющими не только средства, но и сервисы по поиску клиентов, заключению сделок и сопровождению продаж. Такой подход снижает репутационные, рыночные и временные риски, ускоряет оборот средств и формирует предсказуемую экономическую траекторию развития проекта [5].

В контексте стратегического планирования метод DSM также может быть использован как инструмент устойчивого развития. Технология позволяет уменьшить выбросы углерода за счёт сокращения объёмов земляных работ и отказа от транспортировки массивов грунта. При этом сохраняется возможность индивидуального подбора состава и параметров колонн, адаптированных к конкретным грунтовым условиям. Это открывает путь к стандартизации инженерных решений и унификации экономических оценок, что крайне важно для крупных инфраструктурных и жилищных проектов.

В совокупности анализ показывает, что метод глубокого перемешивания обладает не только высокой инженерной эффективностью, но и значительным потенциалом в качестве инструмента управления инвестиционными рисками на всех стадиях строительного проекта.

Метод глубокого перемешивания (DSM) доказал свою эффективность как инструмент снижения инженерной неопределённости при строительстве на слабых грунтах. Его применение обеспечивает формирование оснований с прогнозируемыми прочностными и деформационными характеристиками, что существенно снижает вероятность технических сбоев в реализации инвестиционных проектов.

Формируемые колонны демонстрируют стабильные результаты при испытаниях и позволяют контролировать параметры основания без значительного увеличения стоимости строительства. Это даёт основания включать DSM в стандартные геотехнические решения для объектов с повышенными требованиями к надёжности и срокам реализации.

Экономический эффект от применения DSM выражается в снижении риска перерасхода средств, отклонения от графика и потери стоимости проекта. Возможность интеграции технологии в инвестиционную модель, её предсказуемость и совместимость с банковскими механизмами проектного финансирования позволяют рассматривать DSM не как вспомогательный инженерный приём, а как активный элемент системы управления рисками.

Использование данной технологии способствует формированию более устойчивых бизнес-моделей в строительной отрасли и даёт основание для масштабируемости подхода в рамках стратегических и инфраструктурных проектов. Это открывает перспективы для разработки универсальных нормативных решений, учитывающих как техническую, так и инвестиционную природу строительного риска.

Список использованных источников

1. Герасимов, И. В. Технологические особенности глубинного грунтоперемешивания / И. В. Герасимов // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 24–29 апреля 2023 года / Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 43–45. – EDN UEMMNW.

2. Серегин Н.Г., Запруднов В.И. Определение оптимальных составов цементогрунтов при устройстве свайных фундаментов бурсмесительным способом // Вестник МГУЛ. – Лесной вестник. – 2021. – №5. – С. 106-110. – DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-106-110. – EDN: HSCBSO.

3. Гребенников, И.О. Особенности проектирования усиления грунтовых оснований зданий и сооружений армированием грунтоцементными колоннами // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – №2 (61). – С. 123-130. – DOI: 10.52170/1815-9265_2022_61_123. – EDN: OJYJNU.

4. Селютина, Л. Г. Учет рисков при обосновании эффективности управления инновационно-инвестиционной деятельностью в строительстве / Л. Г. Селютина // Управление рисками: проблемы и решения (РИСК'Э-2022) : материалы VIII научно-практической конференции с зарубежным участием, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2022 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2022. – С. 159-163. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id22-331. – EDN YCUUGK.

5. Литвин, Е. А. Разработка инструмента управления рисками при проектном финансировании в жилищном строительстве / Е. А. Литвин // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития : материалы XI Международ. научно-практической онлайн-конференции, Томск, Иркутск, Братск, 24–25 апреля 2024 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 164-171. – EDN JLMAZD.