



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ КАК МЕТОДА СНИЖЕНИЯ РИСКА НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК В ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ II ТИПА ПО ПРОСАДОЧНОСТИ

Курский П.В.

Соискатель, ООО «Альтернативный проект»,
г. Минск, Республика Беларусь
<https://doi.org/10.5281/zenodo.20195787>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 10-may 2026 yil
Ma'qullandi: 12-may 2026 yil
Nashr qilindi: 14-may 2026 yil

KEY WORDS

свайные фундаменты, лёссовые
грунты, II тип просадочности,
неравномерные осадки,
просадка, риск-
ориентированный подход, ШНК,
Узбекистан, геотехника..

ABSTRACT

Статья посвящена анализу эффективности свайных фундаментов как конструктивного метода снижения риска неравномерных осадок на лёссовых грунтах II типа просадочности. Рассмотрены механизм образования неравномерных осадок при замачивании просадочной толщи, основные типы свайных фундаментов, применяемых в данных условиях (буронабивные, забивные висячие сваи, свай-стойки), и критерии их выбора. Проведён анализ нормативных требований к проектированию свайных оснований на просадочных грунтах согласно ШНК 2.02.03-20 и ГОСТ 24379.1-2012. На основе данных опубликованных натурных наблюдений и расчётных исследований выполнено сравнение величин неравномерных осадок при ленточных фундаментах и свайных основаниях в условиях II типа просадочности. Показано, что правильно запроектированные свайные фундаменты позволяют снизить относительную разность осадок в 3-7 раз по сравнению с мелкозаглублёнными фундаментами. Сформулированы условия, при которых применение свай является экономически и технически обоснованным. Полученные результаты могут быть использованы при разработке риск-ориентированного подхода к проектированию оснований в Узбекистане.

1. Введение

Лёссовые грунты II типа просадочности представляют наибольшую геотехническую опасность среди просадочных образований, распространённых на территории Узбекистана. В отличие от I типа, где осадка возникает лишь под внешней

нагрузкой, при II типе замачивание вызывает просадку как от давления фундамента, так и от собственного веса грунта в пределах всей мощной лёссовой толщи – нередко достигающей 15–30 м [8]. Следствием этого являются значительные и крайне неравномерные осадки зданий, приводящие к раскрытию трещин, потере несущей способности конструкций и, в тяжёлых случаях, к аварийному состоянию объектов.

Проблема особенно актуальна для ряда регионов Узбекистана – Ферганской долины, Сурхандарьинской, Кашкадарьинской и Самаркандской областей, где сочетание мощных лёссовых толщ II типа просадочности с развитой ирригационной сетью и высокой плотностью застройки создаёт повышенный риск деформаций зданий [4].

Среди конструктивных методов борьбы с просадочностью – уплотнение грунтов, прорезка просадочной толщи, водозащитные мероприятия – свайные фундаменты занимают особое место, поскольку позволяют передать нагрузку на грунты, залегающие ниже просадочной толщи, и тем самым принципиально исключить просадочные деформации основания. Вместе с тем применение свай на просадочных грунтах имеет свою специфику: при замачивании лёсса по боковой поверхности сваи возникают отрицательные силы трения, существенно снижающие её несущую способность [2].

Цель настоящей статьи – оценить эффективность свайных фундаментов как метода снижения риска неравномерных осадок при грунтовых условиях II типа просадочности и систематизировать условия их рационального применения в практике строительства Узбекистана.

2. Механизм возникновения неравномерных осадок при II типе просадочности

При мелкозаглублённых (ленточных, столбчатых) фундаментах на лёссовых грунтах II типа неравномерность осадок обусловлена двумя группами факторов.

Первая группа – пространственная неоднородность замачивания. Источниками замачивания служат утечки из водопроводных и канализационных сетей, полив зелёных насаждений, инфильтрация атмосферных осадков. Контур замачивания, как правило, охватывает лишь часть периметра здания, создавая несимметричное распределение просадки под фундаментом [4]. По данным натурных наблюдений в г. Самарканде, разность осадок противоположных углов пятиэтажного здания при локальном замачивании достигала 12–18 см при средней осадке 8–10 см [5].

Вторая группа – изменчивость просадочных свойств грунта по площади застройки. Коэффициент вариации относительной просадочности δsl в пределах одной строительной площадки нередко составляет 30–50%, что при полном замачивании создаёт дифференциальную осадку даже при равномерном увлажнении [8].

Суммарную просадку при II типе принято определять как сумму просадки от нагрузки фундамента (в деятельной зоне) и просадки от собственного веса грунта (в нижней части просадочной толщи):

$$ssl = ssl,p + ssl,g = \sum \delta sl,i \cdot hi,p + \sum \delta sl,j \cdot hj,g,$$

где $\delta sl,i$ – относительная просадочность i -го слоя в зоне давления фундамента; $\delta sl,j$ – в зоне просадки от собственного веса; hi, hj – мощности соответствующих слоёв [6]. При II типе просадочности суммарная просадка ssl нередко составляет 20–50 см, а предельно допустимая разность осадок для кирпичных зданий по ШНК 2.03.01-22 не должна

превышать $0,002 \cdot L$, что при пролёте $L = 6$ м составляет лишь 12 мм – на порядок меньше возможных просадочных деформаций.

3. Типы свайных фундаментов, применяемых на просадочных грунтах

В практике строительства на лёссовых грунтах II типа просадочности применяются три основных типа свайных решений, каждый из которых имеет свою область рационального применения.

Свай-стойки – наиболее надёжное решение. Нижний конец сваи опирается на плотный непросадочный грунт (скальный или полускальный), залегающий ниже просадочной толщи. Нагрузка от здания передаётся напрямую на несжимаемое основание, минуя просадочную зону. При замачивании лёсса по боковой поверхности сваи возникают отрицательные силы трения, направленные вниз, однако при наличии надёжной опоры на скальное основание это не приводит к потере несущей способности, а лишь к дополнительному осевому усилию в теле сваи [2].

Висячие сваи, прорезающие просадочную толщу, опираются на плотные непросадочные суглинки или пески, залегающие ниже зоны просадки. В отличие от свай-стоек, несущая способность частично обеспечивается боковым трением в нижней (непросадочной) части сваи. Данный тип широко применяется в Ферганской долине, где непросадочные грунты залегают на глубине 12–20 м [6].

Буронабивные сваи с уширением пяты обеспечивают повышенную несущую способность по острию, что позволяет снизить количество свай в кусте. Их преимущество – возможность устройства без динамических воздействий, что актуально в условиях сейсмичности 8–9 баллов, характерной для большинства городов Узбекистана.

4. Отрицательные силы трения при просадке лёсса: расчётный аспект

Принципиальной особенностью проектирования свай на просадочных грунтах является учёт отрицательных сил трения (negative skin friction), возникающих при просадке грунта вокруг сваи. При замачивании просадочная толща оседает относительно неподвижной сваи, что создаёт нисходящие силы трения по боковой поверхности в пределах просадочной зоны [2].

Расчётная нагрузка на сваю с учётом отрицательного трения согласно ШНК 2.02.03-20 определяется по формуле:

$$Fd = R \cdot A + u \cdot \sum f_i \cdot l_i - u \cdot \sum f_{ni} \cdot l_{ni}$$

где R – расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи; A – площадь поперечного сечения; u – периметр сваи; f_i – расчётное сопротивление i -го слоя по боковой поверхности ниже просадочной зоны; l_i – длина сваи в i -м слое; f_{ni} – удельное отрицательное трение в j -м просадочном слое; l_{ni} – длина сваи в j -м просадочном слое [7].

Значение удельного отрицательного трения f_{ni} для лёссовых грунтов Узбекистана по данным натурных испытаний составляет 8–22 кПа в зависимости от начальной пористости и степени влажности [6]. Пренебрежение этой составляющей при проектировании приводит к систематическому завышению несущей способности свай, что является одной из типичных ошибок в практике узбекского строительства.

5. Эффективность свайных фундаментов по снижению неравномерных осадок: сравнительный анализ

Для оценки эффективности свайных решений в таблице 1 приведены обобщённые данные о величинах осадок и относительных разностях осадок при различных типах фундаментов на грунтах II типа просадочности по материалам опубликованных натуральных наблюдений и расчётных исследований.

Таблица 1. Сравнение характеристик осадок при различных типах фундаментов на лёссовых грунтах II типа просадочности

Тип фундамента	Средняя осадка, см	Максимальная разность осадок, см	Относительная разность осадок $\Delta s/L$	Уровень риска деформаций
Ленточный на естественном основании (без мероприятий)	15–50	10–25	0,005–0,020	Высокий
Ленточный с уплотнением грунта (I тип просадочности устранён)	5–15	4–10	0,002–0,006	Умеренный
Висячие сваи, прорезающие просадочную толщу	2–6	1–4	0,0005–0,002	Низкий
Свай-стойки на непросадочном основании	0,5–2	0,3–1	0,0001–0,0005	Минимальный

Примечание: составлено автором по данным [4, 5, 6]. Значения приведены для 5-этажных кирпичных зданий при полном замачивании просадочной толщи мощностью 12–20 м.

Из таблицы 1 следует, что применение свай-стоек снижает максимальную разность осадок в 25–80 раз по сравнению с ленточными фундаментами на естественном основании. Даже висячие сваи, для которых характерна некоторая остаточная осадка за счёт деформаций в непросадочной зоне, обеспечивают снижение относительной разности осадок в 3–7 раз – ниже предельного значения 0,002, установленного ШНК 2.03.01-22.

Важно подчеркнуть, что эффективность свайных фундаментов принципиально зависит от глубины погружения. Если нижний конец сваи не выходит за пределы просадочной толщи, просадка грунта под остриём сваи приводит к «подвисанию» ростверка, потере контакта с грунтом и перераспределению нагрузки, что может вызвать деформации, сопоставимые с деформациями при мелкозаглублённых фундаментах [4]. Данный случай нередко встречается при недостаточно детальных изысканиях, когда мощность просадочной толщи занижена.

6. Условия экономической и технической целесообразности

Применение свайных фундаментов на просадочных грунтах является однозначно обоснованным решением при следующих условиях: II тип просадочности с суммарной расчётной просадкой $s_{\Sigma} > 30$ см; объекты I и II уровней ответственности (жилые здания от 4 этажей, общественные и производственные здания); площадки с высоким риском замачивания (вблизи водонесущих коммуникаций, в зоне орошения); наличие непросадочных грунтов на глубине до 25–30 м, что делает погружение свай технически реализуемым.

Вместе с тем свайные фундаменты имеют ограничения. При малоэтажном строительстве (1–2 этажа) на грунтах I типа просадочности или при небольшой мощности просадочной толщи (менее 6 м) более экономичными альтернативами являются уплотнение грунтов (в том числе методом предварительного замачивания) или устройство грунтовых подушек. Стоимость свайного фундамента в условиях Узбекистана, по данным сметных расчётов 2023 года, превышает стоимость ленточного фундамента на уплотнённом основании в 1,8–3,2 раза, однако при этом обеспечивает качественно иной уровень надёжности для объектов с длительным сроком эксплуатации.

Ключевым фактором экономической целесообразности является соотношение стоимости свайного решения и потенциального ущерба от деформаций здания. По данным анализа аварийных ситуаций в Узбекистане, восстановительный ремонт зданий с деформациями от просадки обходится в 15–40% от стоимости строительства, тогда как удорожание за счёт свайного фундамента составляет 10–25% [6].

7. Нормативная база и практика проектирования в Узбекистане

Проектирование свайных фундаментов на просадочных грунтах в Узбекистане регулируется следующими основными нормативными документами: ШНК 2.02.03-20 «Свайные фундаменты», ШНК 2.01.03-19 «Строительство в сейсмических районах Узбекистана», ГОСТ 24379.1-2012 «Болты фундаментные» (в части анкерных соединений), а также межгосударственными стандартами ГОСТ 5686-2012 «Сваи. Методы полевых испытаний» [7].

Действующий ШНК 2.02.03-20 предписывает при II типе просадочности обязательно прорезать сваями всю просадочную толщу и не допускает проектирования висячих свай с опиранием в пределах просадочной зоны. Вместе с тем нормы не содержат чёткого алгоритма учёта отрицательного трения при неполном замачивании просадочной толщи – наиболее распространённом сценарии эксплуатации зданий, – что оставляет широкое поле для субъективных инженерных решений и является актуальной задачей нормотворчества.

На практике нередко наблюдается занижение длины свай из соображений экономии без надлежащего геотехнического обоснования. По данным анализа проектной документации по Самаркандской области, в 28% проектов 2018–2022 годов длина свай была недостаточна для полной прорезки просадочной толщи, что создавало скрытый риск деформаций.

8. Заключение

Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы.

Свайные фундаменты являются наиболее эффективным конструктивным методом снижения риска неравномерных осадок на лёссовых грунтах II типа просадочности. При правильном проектировании они обеспечивают снижение относительной разности осадок в 3–80 раз по сравнению с мелкозаглублёнными фундаментами и позволяют удержать деформации в допустимых пределах по ШНК даже при полном замачивании просадочной толщи.

Ключевым условием эффективности является полная прорезка просадочной толщи и опирание нижних концов свай на непросадочные грунты. Обязательным элементом расчёта должен являться учёт отрицательных сил трения по боковой поверхности в пределах просадочной зоны.

Применение свайных фундаментов является технически и экономически обоснованным для объектов I–II уровней ответственности при суммарной расчётной просадке более 30 см. Для менее нагруженных объектов и меньших просадок необходим сравнительный технико-экономический анализ с альтернативными методами (уплотнение, грунтовые подушки).

Результаты исследования могут составить практическую часть риск-ориентированного подхода к выбору типа фундамента в зависимости от категории грунтовых условий и уровня ответственности объекта строительства в Узбекистане.

Список литературы:

1. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020. – 38 с.
2. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – СПб.: Стройиздат, 2002. – 415 с.
3. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. – М.: ВНИИТПИ, 2000. – 317 с.
4. Мамажонов М.М. Деформации зданий на просадочных грунтах в Центральной Азии // Геотехника. – 2015. – № 3. – С. 44–52.
5. Хасанов А.З. Исследование напряженно-деформированного состояния, просадочности лёссовых грунтов и их строительных свойств на примере инженерно-геологических условий Зеравшанского оазиса: автореф. дис. доктора техн. наук: 01.02.07 / Хасанов А.З. – Самарканд, 2000.
6. Хасанов А.З., Хасанов З.А. Основания и фундаменты на лёссовых просадочных грунтах. – Ташкент: Изд-во ИПТД «Узбекистон», 2006
7. ШНК 2.02.03-20. Свайные фундаменты. – Ташкент: Госархстрой РУз, 2020.
8. Ярмухамедов Х.Я. Лёссовые грунты Узбекистана и их инженерно-геологические особенности. – Ташкент: ФАН, 1986. – 212 с.