

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАВАЮЩИХ НАСЫПЕЙ НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ

ЖАРИЯЛАНДЫ  
20.06.2023

СІЛТЕМЕ  
<https://bilimger.kz/140442/>

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАВАЮЩИХ НАСЫПЕЙ НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ

Аннотация. Эти типы почвенных отложений часто встречаются вблизи устьев рек, по периметру заливов, под болотами или лагунами. Почвенные отложения с высоким содержанием органических веществ часто встречаются в этих низменных местах и могут быть особенно неприятными. Поскольку участки земли, на которых обычно встречаются эти проблемные почвы, расположены низменно, они подвержены затоплению. Следовательно, прежде чем на таких отложениях грунта можно будет построить здания или дороги, необходимо повысить уровень грунта путем добавления уплотненной насыпи. Однако добавление значительного количества уплотненной насыпи создает значительные нагрузки на почву, что может привести к значительным осадкам.

Ключевые слова. Плавающие насыпи, слабые основания, болота, почвы, грунты

Фундаменты на насыпных грунтах

Основания, сложенные насыпными грунтами, проектируются с учетом специфических особенностей этих грунтов, заключающихся в возможной значительной неоднородности по составу, толщине, неравномерной сжимаемости, самоуплотнения от собственного веса, особенно при вибрациях от работающего оборудования, городского и промышленного транспорта, при изменениях гидрогеологических условий, замачивании насыпных грунтов, разложении органических включений.

При определении несущей способности свайных фундаментов, прорезывающих сильносжимаемые грунты, следует учитывать явление отрицательного (негативного) трения. Так, М.Ю. Абелев приводит случаи аварий сооружений, расположенных на слое илов в Риге, Мурманске, Батуми, которые были запроектированы на сваях без учета отрицательного трения. Это привело к тому, что осадки сооружений, построенных на

сваях длиной до 18 м, превысили 40 см.

При проектировании фундаментов на основаниях, сложенных силь-носжимаемыми грунтами, для уменьшения осадок необходимо ограничивать величину передаваемых на основание давлений, применяя фундаменты с увеличенной площадью: плиты, балки, перекрестные ленты из монолитного железобетона.

При строительстве легких сооружений целесообразно применять способ устройства плавающих фундаментов. В этом случае вес извлекаемого грунта равен весу строящегося здания. Однако следует иметь в виду, что при этом способе будет происходить разуплотнение грунтов и возникнут дополнительные осадки.

Применение конструктивных мероприятий позволяет повысить пространственную жесткость здания и таким образом уменьшить неравномерность осадок за счет перераспределения усилий, возникающих в его элементах.

Чувствительность конструкций к неравномерным осадкам может быть снижена разрезкой здания на отдельные жесткие отсеки, разделенные осадочными швами. Эффективным способом увеличения жесткости зданий является устройство армированных швов и поясов в нескольких уровнях в несущих стенах.

Следует также предусматривать мероприятия по исправлению последствий возможных неравномерных деформаций: рихтовку подкрановых путей, оборудования, направляющих лифтов. Специальные требования должны соблюдаться при прокладке и вводе различных водонесущих коммуникаций.

При устройстве котлованов в слабых грунтах должны быть обеспечены устойчивость стенок котлована в процессе производства работ по устройству фундаментов, предохранение грунтов от атмосферных осадков и промерзания, защита грунтов основания от повреждения механизмами и подтопления подземными водами. При эксплуатации зданий и сооружений на слабых водонасыщенных глинистых и биогенных грунтах необходимо исключить понижение горизонта подземных вод. Это может вызвать дополнительные, медленно протекающие осадки, которые явятся причиной нарушения условий нормальной эксплуатации зданий и сооружений.

Рыхлые насыщенные песчаные отложения, расположенные в сейсмически активных районах, склонны к разжижению и оседанию при сильных движениях грунта. Классический пример — землетрясение в Ниигате в 1964 году в Японии. При этом многие здания, расположенные на рыхлых водонасыщенных песчаных отложениях, во время землетрясения осели более чем на 1 м, а другие (в частности жилой дом) опрокинулись на бок. (Многokвартирные дома не являются гидродинамически устойчивыми конструкциями, и когда почва разжижается, они «опрокидываются».

#### а. Стратегии

#### а. Глубокие основы

Одним из вариантов является опора конструкций на глубокие фундаменты (сваи или кессоны), которые проникают в слабые/сжимаемые грунты. Однако даже при использовании глубоких фундаментов обычно необходимо импортировать засыпку, чтобы поднять уровень грунта выше уровня затопления. Таким образом, глубокие фундаменты должны использоваться в сочетании с засыпкой, размещенной на слабых/сжимаемых грунтах. Это деликатная ситуация, которую должен осознавать инженер-геотехник. (Рисунок 1)

Потенциальная трудность заключается в том, что после возведения глубоких фундаментов слабый/сжимаемый грунт с уложенной на него насыпью будет продолжать подвергаться значительной осадке. Когда почва оседает, она имеет тенденцию опускаться на глубокие фундаменты за счет «отрицательного поверхностного трения» или «нисходящего сопротивления». Это может привести к значительной осадке глубоких фундаментов и возможности значительной дифференциальной осадки. Если используются наголовники для свай, это может привести к выдергиванию некоторых свай из наголовников. Если эта потенциальная проблема ожидается, можно предпринять многочисленные шаги, чтобы избежать ее.

а) Сваи (если они используются) можно покрыть смазкой, чтобы уменьшить трение о грунт. (Это не сработает с фундаментами пирсов или кессонов).

б) Сваи можно забивать в предварительно просверленные стволы большого диаметра, но это предполагает, что грунт не будет прогибаться.

в) Трубчатые сваи большого диаметра с малым смещением можно забивать в слабые/сжимаемые грунты. Затем можно удалить внутреннюю грунтовую пробку и забить концевые несущие сваи меньшего диаметра внутри свай с открытой трубой в нижние пласты. Это изолирует внутренние сваи от оседающего грунта.

#### б. Неглубокие фундаменты

Если мелкозаглубленные фундаменты сооружаются на насыпях на слабых/сжимаемых грунтах, основной проблемой будут большие осадки. Эту проблему можно решить путем предварительной загрузки слабой/сжимаемой залежи перед началом строительства.

Однако из-за низкой проницаемости глинистых отложений это может занять много лет. Для ускорения этого процесса обычно используют песчаные дренажи. В качестве альтернативы можно построить конструкции, устойчивые к поселениям, для размещения потенциально больших поселений. Примером устойчивого к оседанию здания на насыпи, расположенной над слабыми/сжимаемыми отложениями, является Терминал 1 авиакомпании US Airways, построенный в аэропорту (рис. 2). Чтобы поднять уровень выше, чем у залива это сооружение было построено на 9-метровой насыпи из

сожженных отходов, которая лежит над 24-метровым отложением мягкой органической глины. Во время строительства отложения мягкой глины осел примерно на 2 м из-за 9 м насыпи, и ожидалось, что к 1999 г. произойдет осадка еще на 0,45 м.

Рис. 2. Схема терминала US Airways, построенного на фундаментах мелкого заложения, опирающихся на сильно сжимаемые слои грунта.

Однако любой дифференциал в этих осадках, используя выравнивающие домкраты между этажами и в фундаментах.

#### Улучшение почвы

Среди различных стратегий, используемых при обнаружении чрезвычайно слабых или сжимаемых слоев грунта, можно выделить следующие:

- Удаление и замена. Этот метод можно использовать, когда: бедные отложения почвы относительно невелики; уровень грунтовых вод относительно глубокий; и хорошая заполняющая почва легко доступна.

- Временные доплаты. Идея заключается в том, чтобы предварительно нагрузить слабый/сжимаемый грунт временной дополнительной нагрузкой. Нижележащий слабый/сжимаемый грунт может консолидироваться под надбавкой (опять же дренажи песка ускоряют процесс). Надбавка снимается до начала строительства предлагаемого здания. Так как здание построено на сверхконсолидированном грунте, перемещения значительно уменьшаются.

- Виброуплотнение. Это особенно эффективно для рыхлых песчаных почв.

- Химическая стабилизация. В прошлом слабые глины и ил часто смешивали с известью и существующей поровой жидкостью почвы, чтобы склеить зерна почвы вместе, делая почву более прочной и менее сжимаемой. В настоящее время тенденция в геотехническом проектировании заключается в отказе от использования извести и переходе на пылевидную летучую золу (PFA), которая является переработанным отходом электростанций, работающих на угле. Опять же, эффект состоит в том, чтобы цементировать зерна почвы вместе, увеличивая прочность почвы и уменьшая как ее сжимаемость, так и потенциальное расширение.

#### 1. Общие характеристики

Просадочные почвы — это те, которые кажутся прочными и устойчивыми в своем естественном (сухом) состоянии, но быстро уплотняются при увлажнении, образуя большие и часто неожиданные осадки. Это может привести к катастрофическим последствиям для сооружений, невольно построенных на таких отложениях. Такие грунты часто называют «просадочными» или «метастабильными», а процесс их обрушения часто называют «гидроконсолидацией», «гидроуплотнением» или

«гидрообрушением». Как жители Айовы, вы должны быть особенно хорошо осведомлены об этой проблеме, поскольку в Айове (наряду с Небраской, Иллинойсом, Колорадо и Миссури) есть обширные залежи «лесса», который признан потенциально разрушающимся. Просадочные грунтовые отложения имеют две основные характеристики: (i) это рыхлые цементированные отложения; и (ii) они, естественно, довольно сухие. Лессовые грунты состоят в основном из илистых частиц, свободно расположенных в цементированную ячеистую структуру (рис. 3). Рыхлая структура скрепляется небольшими количествами водоумягчителей или водорастворимых вяжущих веществ, таких как глинистые минералы и  $\text{CaCO}_3$ . Введение воды растворяет или размягчает связи между частицами ила и позволяет им принять более плотную упаковку при любых видах сжимающих нагрузок.

а)

Рис. 3. Гидропросадочный грунт до (а) и после (б) затопления водой.

## 2. механизмы

Поскольку просадочные почвенные отложения обязательно являются «рыхлыми», они обычно создаются механизмами отложения, которые приводят к образованию рыхлых отложений. Например, аллювиальные (отложенные водой) и делювиальные (отложенные под действием силы тяжести) почвы обычно отлагаются рыхло и находятся в насыщенном состоянии. По мере того, как вода в конечном итоге стекает с этих почв, последние количества влаги капиллярно притягиваются к точкам контакта между зернами. Когда вода испаряется, минералы остаются в точках контакта с почвой, скрепляя их вместе. Просадочные коллювиальные и аллювиальные почвенные отложения

распространены в пустынных частях юго-запада США. Отложения могут располагаться на глубине от нескольких метров до десятков метров. Обычны обрушения на 2 или 3 фута, а сообщалось о до 15 футов. Ветроотложенные (эоловые) почвы представлены мелкими песками, туфами вулканического пепла и лёссами. В частности, лёсс состоит из покрытых глиной или связанных частиц размером с ил. Просадочные лёссовые отложения характеризуются высокой пористостью  $\geq 50\%$  и низким удельным весом в сухом состоянии ( $\rho_d=70-90$  фкф или 11-14 кН/м<sup>3</sup>). Мощные лёссовые отложения высотой до 60 м не являются чем-то необычным. Другими отложениями почвы, которые потенциально могут обрушиться, являются остаточные почвы, образованные в результате интенсивного выветривания исходных материалов. Например, выветривание гранита может привести к образованию рыхлых просадочных почвенных отложений.

## 3. Тестирование и идентификация

Как только инженер-геотехник осознает возможность наличия просадочных грунтов,

иногда проводятся испытания для количественной оценки потенциала обрушения грунтов. Если необходимо провести лабораторные испытания, необходимо получить «ненарушенные» образцы с использованием пробирок Шелби. После сбора ненарушенных образцов обычно проводятся два типа испытаний:

(а) двойные одометрические испытания; и (b) одиночные одометрические испытания. Как вы помните, одометр — это прибор, в котором на образцах грунта проводятся испытания на сжатие или консолидацию в условиях контролируемого напряжения в сухом или влажном состоянии.

#### Двойной тест одометра

В этом испытании два «идентичных» образца грунта помещаются в одометры и подвергаются испытаниям на ограниченное сжатие. Один из образцов испытывается при естественном натурном содержании воды, которое, как правило, довольно низкое. Другой образец полностью насыщается перед началом испытания, а затем подвергается идентичному испытанию на сжатие. Будут построены две кривые зависимости напряжения от деформации: одна для «сухого» грунта, а другая для насыщенного грунта. Если почва сильно подвержена гидроразрушению, реакция напряжения-деформации для насыщенной кривой будет значительно отличаться от реакции сухой почвы (рис. 4). Для заданного приложенного напряжения  $\sigma$  смещение деформации  $w$  между двумя кривыми называется деформацией гидросмятия для этого уровня напряжения. Как правило, для сухого образца существует критическое напряжение  $\sigma_c$ , при котором рыхлая структура разрушается.

#### 4. Процессы смачивания

Часть очевидной проблемы с гидропросадочными грунтами заключается в том, что они, как правило, имеют относительно низкое естественное содержание воды на месте. При освоении таких почвенных отложений почва может подвергаться многочисленным источникам дополнительного увлажнения, что приведет к увеличению ее водности. Среди распространенных искусственных источников увлажнения, связанных с застройкой, можно назвать: (а) орошение ландшафтов и/или сельскохозяйственных культур; (b) утечки из необлицованных каналов, трубопроводов, плавательных бассейнов, резервуаров для хранения и т. д.; (c) септические системы; и d) изменения поверхностного стока дождевой воды. Незначительное искусственное увлажнение часто ограничивается только несколькими верхними футами почвы. Устойчивые, длительные утечки могут привести к увлажнению почвы глубоко под поверхностью, что в экстремальных обстоятельствах может быть весьма серьезным и привести к огромным осадкам. В качестве примера, исследование было опубликовано исследователем по имени Кертин в 1973 году, в котором участвовали крупномасштабные испытания на обрушение смачивания, проведенные на разрушающихся грунтах, расположенных в

долине Сан-Хоакин в Калифорнии. После применения непрерывного увлажнения 75-метровой просадочной породы в течение 484 дней фронт увлажнения продвинулся на глубину 45 м ниже уровня земли. В результате наблюдаемая осадка гидрообвала составила 4,1 м!

#### 5. Меры предосторожности

При работе с просадочными грунтами, которые будут подвергаться увлажнению на глубину  $\leq 2$  метров, общие меры включают:

- i. предварительно увлажнить почву;
- ii. уплотнить почву, используя тяжелые катки и сильную трамбовку.
- iii. обработайте почву растворами силиката натрия и/или хлорида кальция, чтобы обеспечить цементирование, которое не растворяется в воде.

При работе с просадочными грунтами, подверженными большой глубине увлажнения, обычно применяют глубокие фундаменты через просадочные грунты.

#### Список использованных источников

1. Шашенко А.Н. Механика горных пород / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтнеко // Учебное пособие для ВУЗов. – К.: Новий друк, 2044. – 400 с.
2. СНиП 2.01.09-2011. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах.
3. СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений.

#### DESIGN OF FLOATING STRUCTURES AND WEAK FOUNDATIONS

Abstract. These types of soil deposits are often found near river mouths, along the perimeter of bays, under lakes or lagoons. Soil deposits with a high content of organic substances are often found in these low places and can be particularly unpleasant. Since the areas of the land where these problem soils are usually found are low-lying, they are prone to flooding. Therefore, before it is possible to build buildings or roads on such soil deposits, it is necessary to raise the level of the soil by adding a compacted embankment. However, the addition of a significant amount of compacted embankment creates significant loads on the soil, which can lead to significant precipitation.

Key words. Floating bulk, weak foundations, steel, soil, soil

**ҚМ АА** Күәлік нөмірі: **KZ45VPY00102718** — ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі

© 2026 **Bilimger.kz** Ақпараттық-танымдық білім порталы. Барлық мазмұн авторлық құқықпен қорғалған.