

# Фундаменты на структурно-неустойчивых грунтах

раздел 6 СП 22.13330.2016

***К структурно-неустойчивым грунтам относят :***

- ***лессовые просадочные грунты,***
- ***слабые водонасыщенные,***
- ***пылевато-глинистые засоленные и заторфованные грунты;***
- ***мерзлые и вечномерзлые грунты;***
- ***в определенной мере сюда могут быть отнесены насыпные грунты.***

***Несмотря на различие в условиях образования грунтов этой группы их объединяет общее свойство :***

***– в природном состоянии эти грунты обладают структурными связями, которые при определенных воздействиях резко снижают свою прочность или полностью разрушаются (это может быть от быстро возрастающих, динамических, вибрационных нагрузок или физических процессов – повышение температуры мерзлых грунтов, обводнение лессовых или засоленных грунтов и т.п.)***

***Структурно-неустойчивые грунты часто называют региональными, т.к. эти грунты группируются преимущественно в определенных географо-климатических зонах (регионах).***

**При строительстве на структурно - неустойчивых грунтах кроме общепринятых для обычных условий решений требуется проведение комплекса специальных мероприятий, учитывающих их особые свойства**

**Эти мероприятия разделяются на четыре группы:**

**1 группа: меры, предпринимаемые для исключения неблагоприятных воздействий на грунты.**

**2 группа: способы искусственного улучшения структурных свойств оснований, с помощью которых нейтрализуются последствия воздействия неблагоприятных факторов.**

**3 группа: конструктивные мероприятия, понижающие чувствительность зданий к неравномерным деформациям основания.**

**4 группа: применение специальных типов фундаментов.**

# Просадочные грунты



**6 июня 1997 года. Оползень в Днепропетровске на  
жилом массиве Тополь , вызванный глобальной  
просадкой грунта**

**Ослабленный грунт начал рушиться со скоростью примерно 25  
метров в час, образуя воронку с грязью, глубиной 20 метров,  
куда и упали 2-ух подъездный девятиэтажный дом, школа и частично  
2 детских сада.**





*Капитальное кирпичное здание, построенное по типовому проекту школы на 1000 мест*

*К 10 утра начало рушиться первое левое крыло здания школы*





*Скорость оползня постепенно снижалась. Обломки зданий уплотняли жидкий грунт, который был на дне воронки. Меньше часа прошло, как первое левое крыло полностью рухнуло и утонуло в грунте.*





*Здание школы  
полностью исчезло с  
лица земли около 6  
вечера*





*К этому моменту оставался целым еще детский сад. Но без фундамента он долго простоять не смог. Через пол часа обрушился корпус детского сада — последнее строение, которое уничтожил этот оползень, спровоцированный просадкой грунта*



***Просадочные деформации в Киевской области***



***В Кривом Роге рынок ушел под землю на десятки метров***



***Разрушение дороги, вызванное просадкой грунта***



***Обвал грунта на Ленинградском проспекте в Москве***



***На трассе в Краснодарском крае просела половина проезжей части***





***Просадочные явления в Днепропетровске***



# Просадочные грунты – лёсс и торфяные грунты

Лессовые грунты залегают на значительной части территории России, более 16% континентальной поверхности (Нижний Дон, Предкавказье, Заволжье, юг Западной Сибири, ряд других степных районов).

Значительные площади заняты ими на юге Украины, в Молдове, Восточной Европе, в Китае, Средней Азии, Монголии и во многих других районах мира

- Из инженерной геологии известно, что лёсс
  - - эолового происхождения
  - - содержит соли  $\text{CaCO}_3$ ;  $\text{CaSO}_4$ 
    - - мало влажен
    - - довольно однороден
- - характерная особенность - наличие макропор.

Предполагается, что пылевато-глинистые мелкие частицы, наносимые ветром, постепенно откладывались слоями и прорастали растительностью. Постепенно растительность сгнивала, вода испарялась, а соли кальция (по результатам гниения растительности) оставались. Поскольку водно-коллоидные связи, оставшейся пленочной воды, прочны и могут выдержать большую нагрузку, то грунт не уплотнялся. Коэффициент пористости такого грунта практически оставался постоянным  $e \approx \text{const}$  (отсюда определение не уплотненный грунт) – наличие большого количества макропор. Количество макропор в верхних слоях лёсса увеличивается из-за наличия землероев.

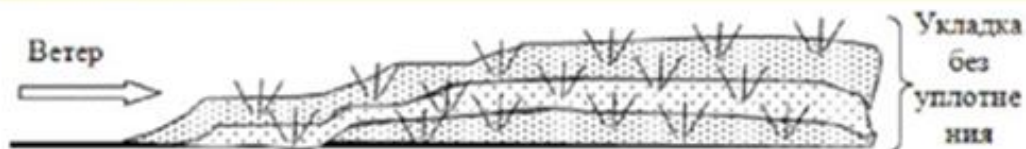


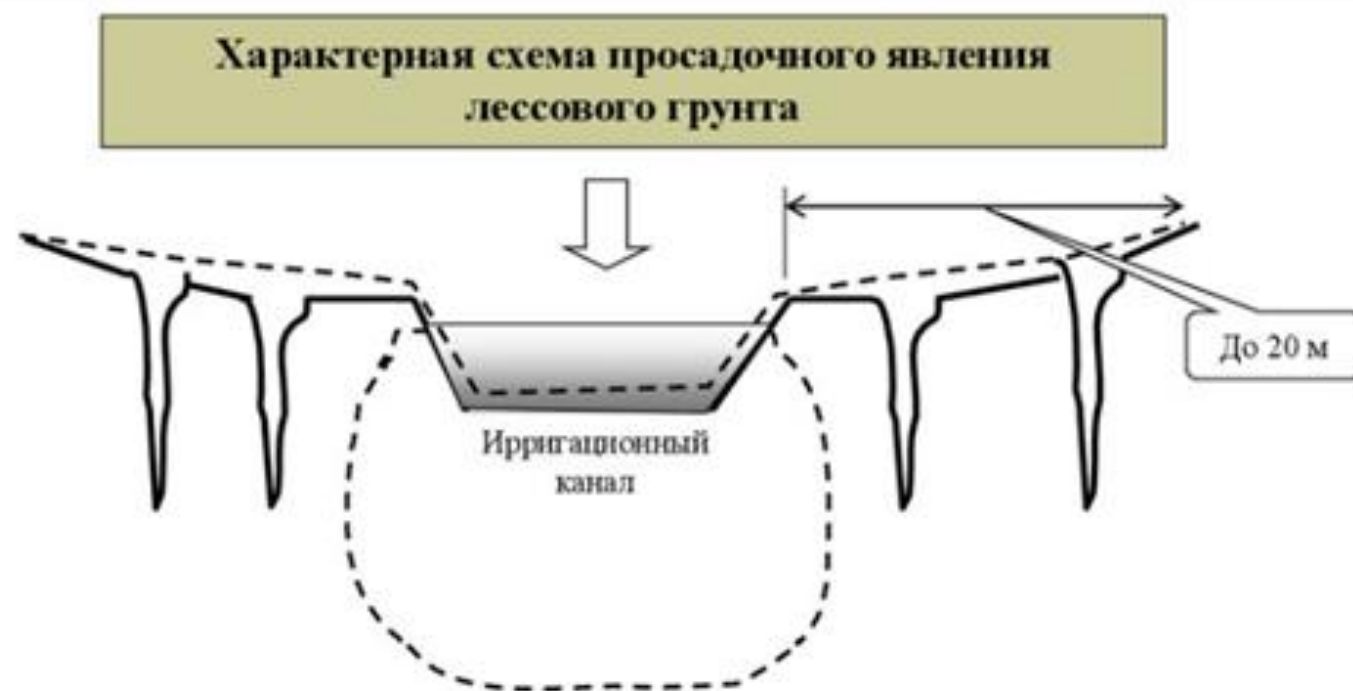
Схема образования лёссового грунта по эоловой теории происхождения





## Просадочность и ее характеристики

- **Просадочностью называется способность лессового макропористого грунта очень быстро размокать и уплотняться под нагрузкой.**

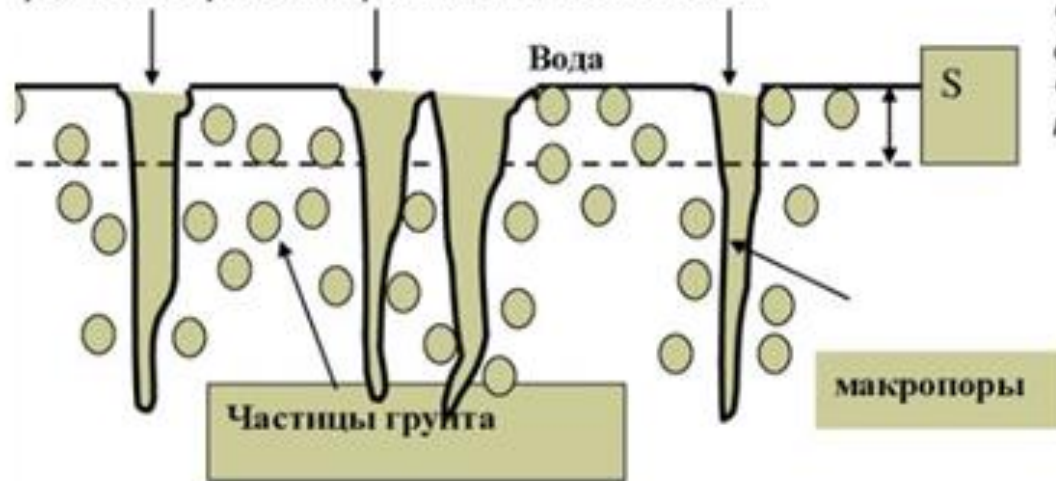


Ширина раскрытия трещин составляет 30 – 40 см, а величина просадки 0,3 – 2 м.

## Отчего происходит просадка?

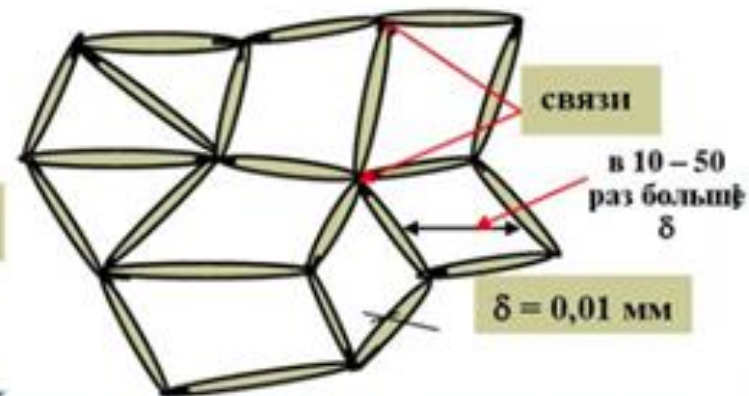
- **Лесс имеет преимущественно такие характеристики:**
- 1.  $\gamma = 14...16$  кН/м<sup>3</sup>;
- 2.  $W = 6 - 15$  % (вода в виде пленочной влаги);
- 3.  $n = 45 - 55$  %.
- **Большое наличие макропор в виде трубчатых канальцев  $\varnothing = 0.1 ... 4$  мм (преимущественно вертикальное положение)**

Схема макроструктуры лёссового грунта и возможности развития просадки при попадании в неё воды



Макроструктура лёссового грунта

Микроструктура ячеисто-решетчатая, состоящая из вытянутых минеральных частиц, соединённых по концам связями на основе кальция. Расстояния между частицами в данной структуре в 10...50 раз превышает их толщину.



Микроструктура лёссового грунта

Такая система находится в равновесии и превосходно воспринимает статическую нагрузку в 2 – 3 кг/см<sup>2</sup>, подобно пространственной конструкции

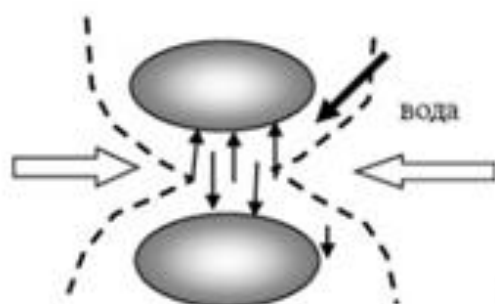
## Структура развития просадки лесса

При замачивании происходят резкие местные провальные осадки (с разрушением структуры грунта) – просадки  
– в результате - **неравномерные деформации** зданий и сооружений.

Грунт увлажняется,  
Известь ( $\text{CaCO}_3$ )  
растворяется



Толстые пленки воды  
– оказывают  
расклинивающее  
действие



При замачивании

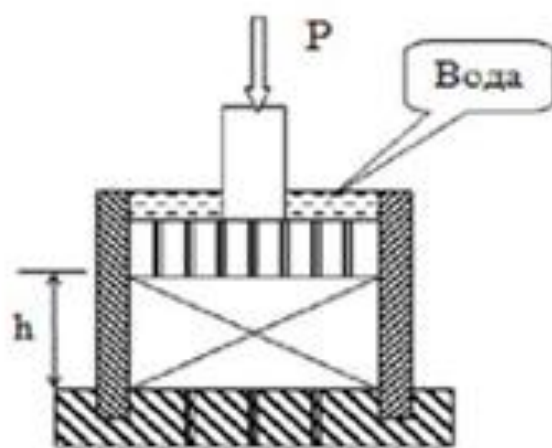
Роль узлов в решетчато-ячеистой структуре заменяют связи, состоящие из кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ) - вяжущего вещества, а также склеивающие свойства пленочной воды глинистых частиц.

Разрушение  
макроструктуры

Частицы грунта падают в промежутки, заполняя макропоры, грунт уплотняется

## **Характеристика просадочности лёссовых грунтов**

*Для определения просадки лёссового грунта в лабораторных условиях проводят компрессионные испытания. Образец лёссового грунта помещают в одометр, уплотняют давлением  $P_1$ , а затем через пористый диск поршня выполняют замачивание водой*



- 1 – компрессионная кривая лёссового грунта до замачивания;  
2 – то же, после замачивания водой.*

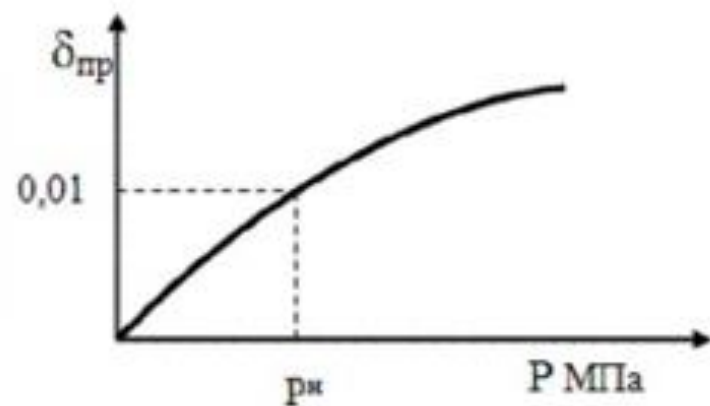
**коэффициент относительной просадочности :**

$$\delta_{\text{прос}} = \frac{h - h^I}{h_0}$$

$h$  – высота (см) образца природной влажности обжатого давлением  $P_1$  равным давлению от всего сооружения и собственного веса вышележащего грунта.

$h^I$  – высота (см) того же образца грунта после полного водонасыщения водой при сохранении давления  $P_1$

$h_0$  – высота (см) того же образца грунта природной влажности, обжатого давлением, равным природному.



*Если  $\delta_{\text{пр}} < 0,01$  – лесс не просадочный  
Если  $\delta_{\text{пр}} > 0,01$  – лесс просадочный*

**$P^I$  – начальное просадочное давление**

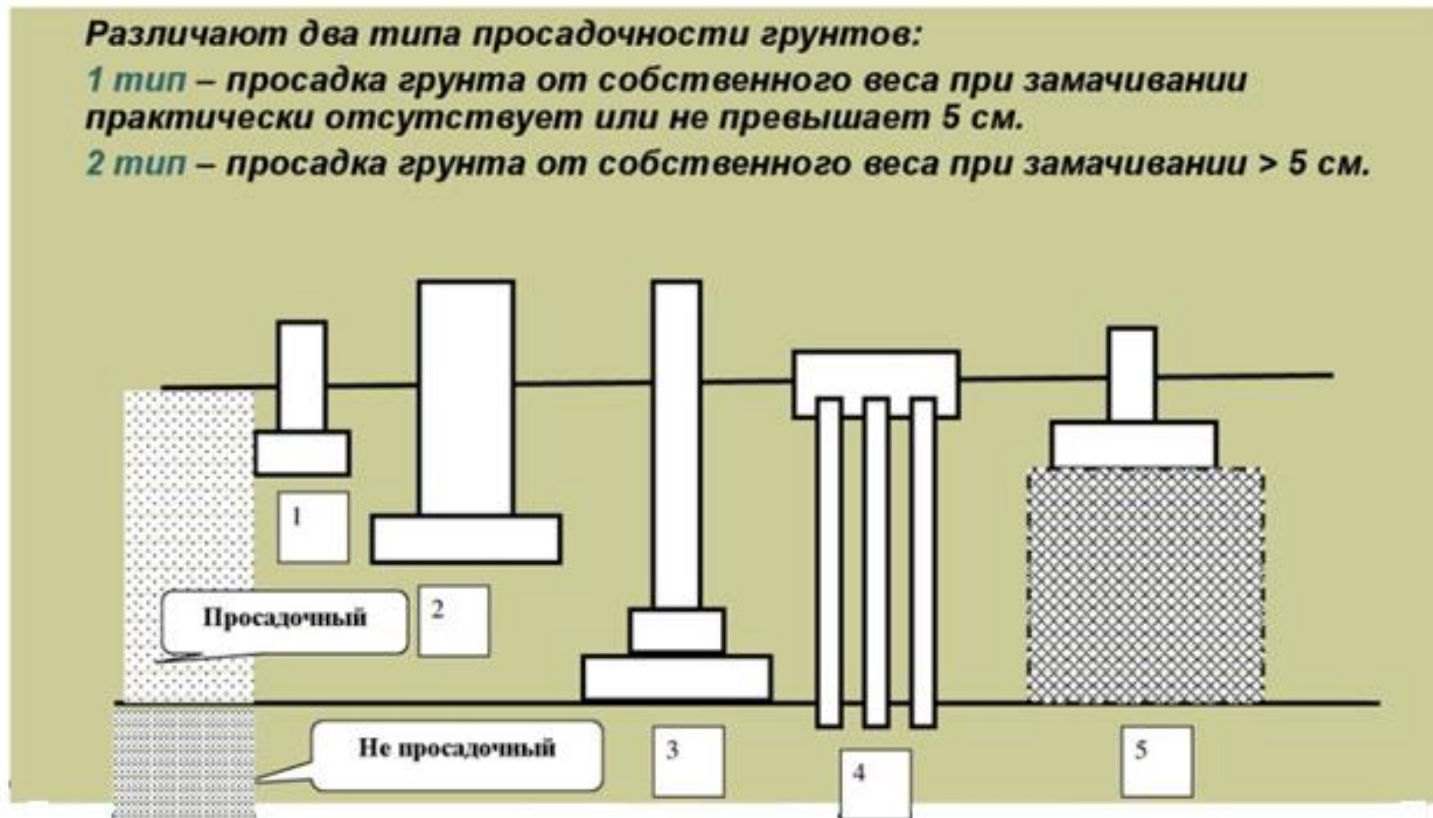
**0 -  $P^{\text{II}}$  – лессовый грунт не просадочен – связи точные**

## Проектирование фундаментов на просадочных макропористых грунтах

Различают два типа просадочности грунтов:

**1 тип** – просадка грунта от собственного веса при замачивании практически отсутствует или не превышает 5 см.

**2 тип** – просадка грунта от собственного веса при замачивании > 5 см.



1 – фундамент не проходит  $S_{пр} > S_u$ ;

2 – увеличиваем глубину заложения фундамента;

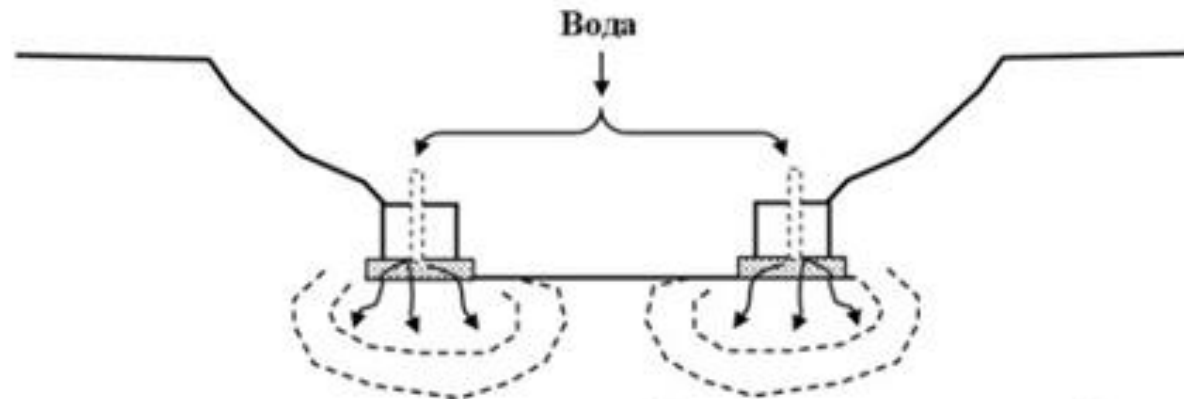
3 – фундамент глубокого заложения – просадки вообще нет;

4 - прорезка просадочного грунта сваями (необходимо учитывать отрицательное трение);

5 – сжимаемую зону под фундаментом делаем не просадочной;

## Устранение просадочности лессовых грунтов

- А) Предварительное замачивание лессовых грунтов



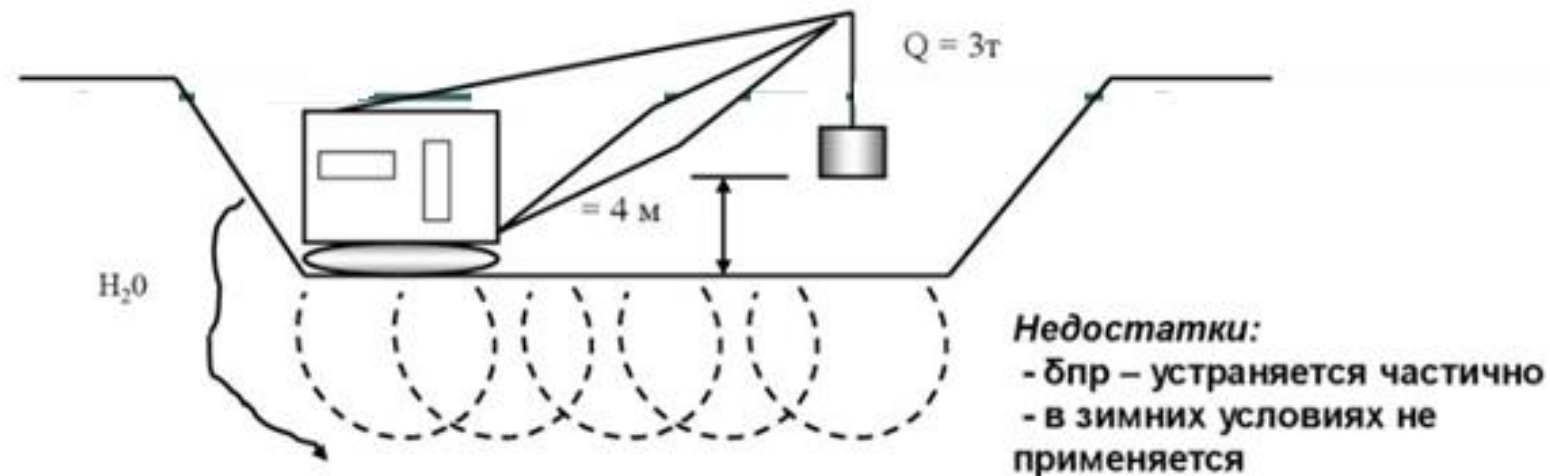
- в основании сооружения укладывают песчаный слой (до 20 см);
- первые ряды блоков возводят в сухом котловане;
- в блоки закладываются трубы;
- производится боковая засыпка, затем в слой песка по трубам подается вода.

Обжатие происходит интенсивно под весом сооружения и боковой засыпки.

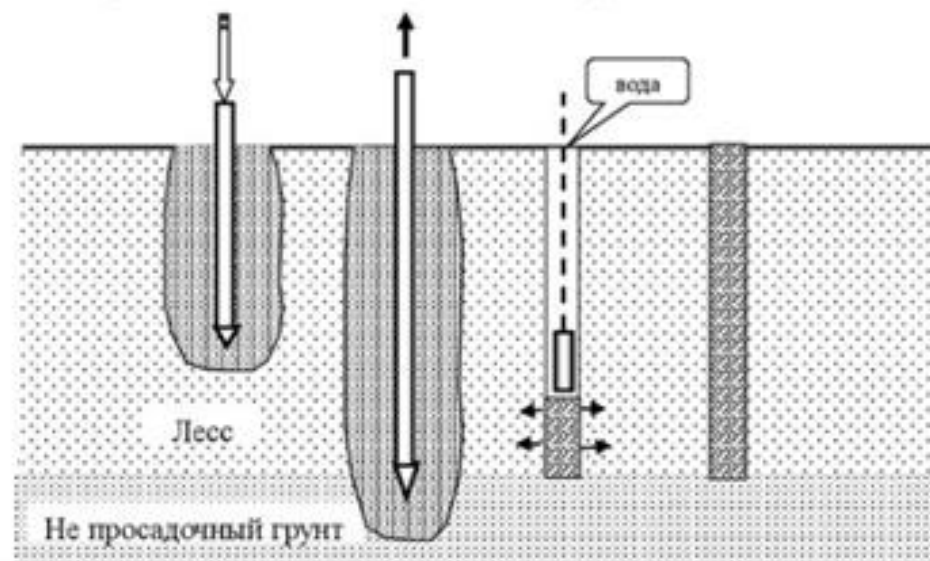
Осадки сооружения в строительный период не страшны и всегда могут быть легко выровнены.



**Б) Поверхностные уплотнения грунтов (возможно, поскольку лес имеет крупные поры)**

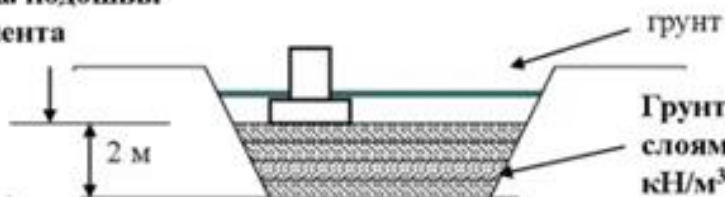


**В) Глубинное уплотнение лесса грунтовыми сваями**



### Г) Устройство грунтовых подушек

Отметка подошвы  
фундамента



Грунт уплотняется  
слоями по 0,5 м, ( $\gamma_d \geq 16,5$   
кН/м<sup>3</sup>),  
а затем устанавливают  
фундамент

### Д) Конструктивные мероприятия

- дренаж вокруг сооружения (повышенные требования);
- прокладка инженерных коммуникаций по схеме труба в трубе (снижение риска замачивания лёссового грунта в случае возможной протечки);
- повышенные требования к планировке застраиваемой территории (расположение сооружений с повышенным риском утечки воды – водонапорных башен в пониженных местах);
- различные мероприятия, уменьшающие возможность замачивания грунта под фундаментами (уширенная отмостка вокруг здания, повышенный уклон от здания самотечных инженерных трубопроводов и т.д.).



### • Е) Силикатизация грунтов

### Ж) Термическая обработка грунта

## ***Пучинистые и набухающие грунты***

**Известны два вида грунтов,  
увеличивающих свой объем при внешних  
воздействиях и затем снижающих его при  
уменьшении этих воздействий:  
*пучинистые и набухающие.***

Пучинистые грунты увеличивают свой объем при сезонном промерзании и резко уменьшают его при оттаивании

(к ним относятся пески мелкие и пылеватые, суглинки, глины и увлажненные крупнообломочные грунты с содержанием более 30% частиц размером менее 0,1 мм).

Набухающие грунты (некоторые глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции) увеличивают свой объем (набухают) при замачивании водой и растворами серной кислоты. При снижении влажности набухающие грунты дают усадку, уменьшая свой объем.

Напряжения при пучении грунтов велики, они вызывают подъем зданий и сооружений с последующей мгновенной (катастрофической) осадкой, ведущей к деформациям, трещинам, кренам и др.

Деформация дома на пучинистом грунте

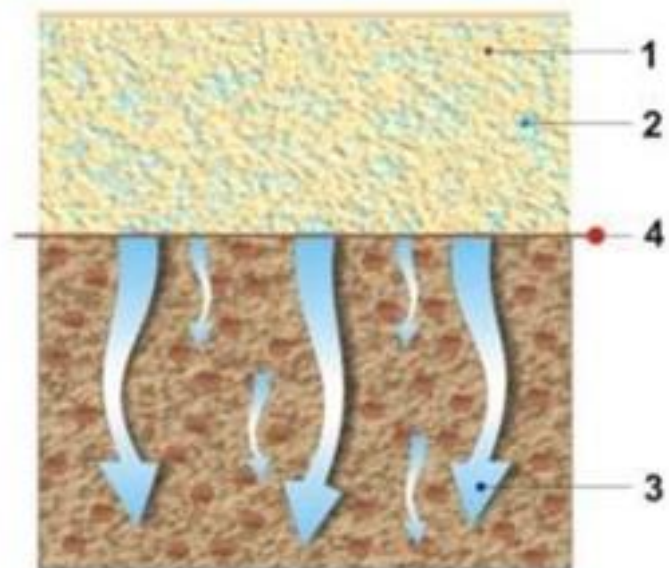


Пучинистость грунта определяется его составом, пористостью, а также уровнем грунтовых вод (УГВ). Так и глинистые грунты, мелкие и пылеватые пески относятся к пучинистым грунтам, а крупнозернистые песчаные и гравийные грунты - к непучинистым.

Пучинистость глинистых мелких грунтов можно пояснить тем, что в мелких песках и глине достаточно высоко поднимается влага относительно уровня грунтовых вод из-за капиллярного эффекта и отлично удерживается в данном грунте, как, к примеру, в губке. В крупнозернистых песках не поднимается влага, и грунт увлажняется исключительно в пределах уровня грунтовых вод. Вывод таков, что чем меньше структура грунта, тем выше поднимается уровень влаги, и состав становится тем больше пучинистым.



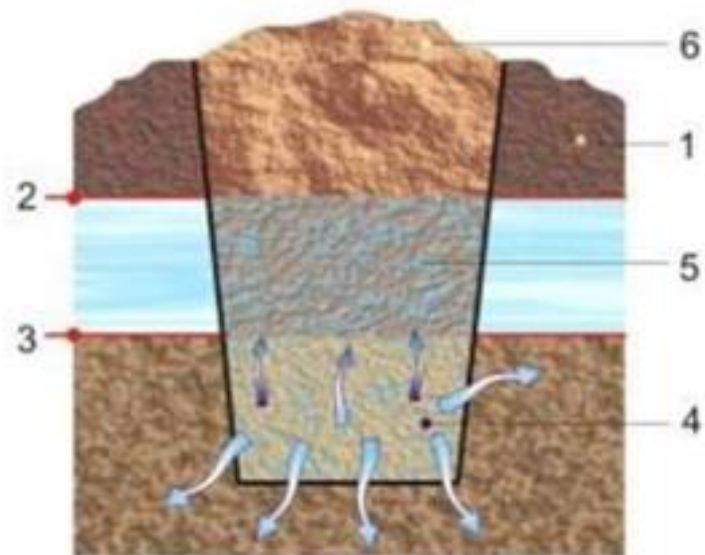
### Грунт на границе промерзания



1. Песок
2. Лед
3. Вода
4. Граница промерзания

Сквозь глину влага уйти не успевает, и такой грунт становится пучинистым.

### Песок в замкнутом объеме (пучинистый)



1. Глина
2. Уровень грунтовых вод
3. Граница промерзания
4. песок + вода
5. Лед + песок
6. Песок

Грунт из крупнозернистого песка, помещенный в замкнутый объем, которым может оказаться скважина в глине, поведет себя как пучинистый.

## ***Выдавливание грунта***

Выдавливание - наиболее ощутимая причина деформации и разрушения фундамента, заложенного выше глубины промерзания.

Выдавливание обязано суточному прохождению границы промерзания мимо нижней опорной плоскости фундамента, которое совершается значительно чаще, чем подъем опор от боковых сил сцепления, имеющих сезонный характер.

Мерзлый грунт представим в виде плиты. Дом или любое другое строение зимой оказывается надежно вмороженным в эту камнеподобную плиту.

Плита мерзлого грунта ночью



В звездную ночь ранней весной особенно холодно. Грунт под свесом крыши сильно промерзает. У плиты мерзлого грунта снизу вырастает выступ, который мощью самой плиты сильно уплотняет грунт под собой за счет того, что влажный грунт при замерзании расширяется. Силы подобного уплотнения грунта огромны.

Плита мерзлого грунта ночью



Плита мерзлого грунта толщиной 1,5 м размерами 10x10 м будет весить более 200 т. Примерно с таким усилием и будет уплотняться грунт под выступом. После подобного воздействия глина под выступом "плиты" становится очень плотной и практически водонепроницаемой.



Днём темный грунт у дома особенно сильно прогревается солнцем.

С повышением влажности увеличивается и его теплопроводность. Граница промерзания поднимается (под выступом это происходит особенно быстро). С оттаиванием грунта уменьшается и его объем, грунт под опорой разрыхляется и по мере оттаивания падает под собственным весом пластами. Образуется множество щелей в грунте, которые заполняются сверху водой и взвесью глинистых частиц. Дом при этом удерживается силами сцепления фундамента с плитой мерзлого грунта и опорой по остальному периметру.

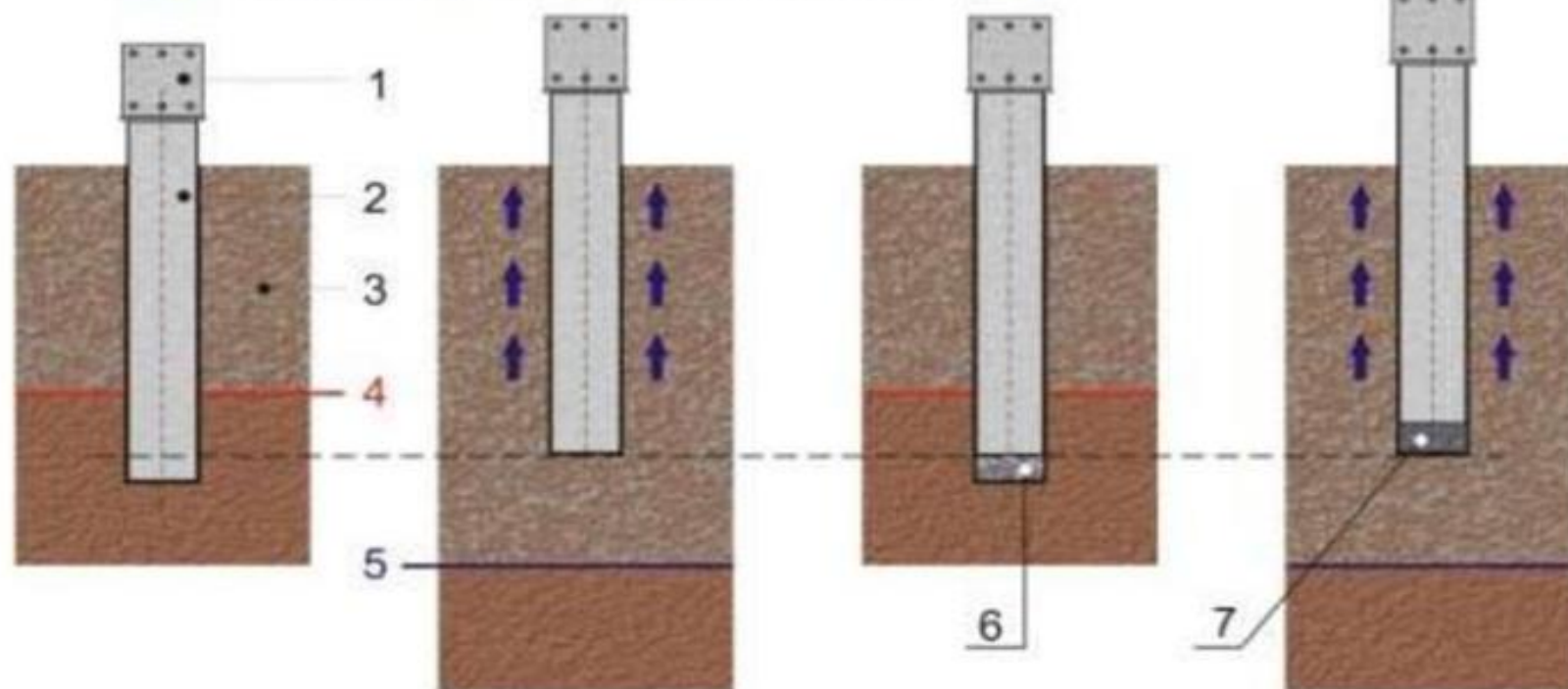
Плита мерзлого грунта днем



## Подъем фундаментного столба пучинистым грунтом

**А** Уровень границы промерзания

**В**



**Б** Уровень границы промерзания **Г**

1. Лента ростверк
2. Фундаментный столб
3. Мерзлый грунт
4. **А,В** Верхний уровень границы промерзания
5. **Б,Г** Нижний уровень границы промерзания
6. Смесь воды и глины
7. Смесь льда и глины



Для **набухающих** грунтов, кроме обычных физико-механических характеристик, определяют и специальные характеристики набухания и осадки.

**Набухающие** грунты характеризуются величинами:

- давления набухания  $P_{sw}$  ;
- влажности набухания  $W_{sw}$  ;
- относительной усадки при высыхании  $\varepsilon_{sh}$  ;
- относительное набухание  $\varepsilon_{sw}$  .

**Относительное набухание**  $\varepsilon_{sw}$  исследуется в компрессионных приборах и определяют при различных уплотняющих давлениях  $P$  .

**Давление набухания**  $P_{sw}$  соответствует давлению, возникающему при замачивании грунта в замкнутом объеме, т.е. при отсутствии деформации.

**Подъем основания при набухании** грунта определяется по формуле

$$h_{sw} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sw,i} \cdot h_i \cdot k_{sw,i},$$

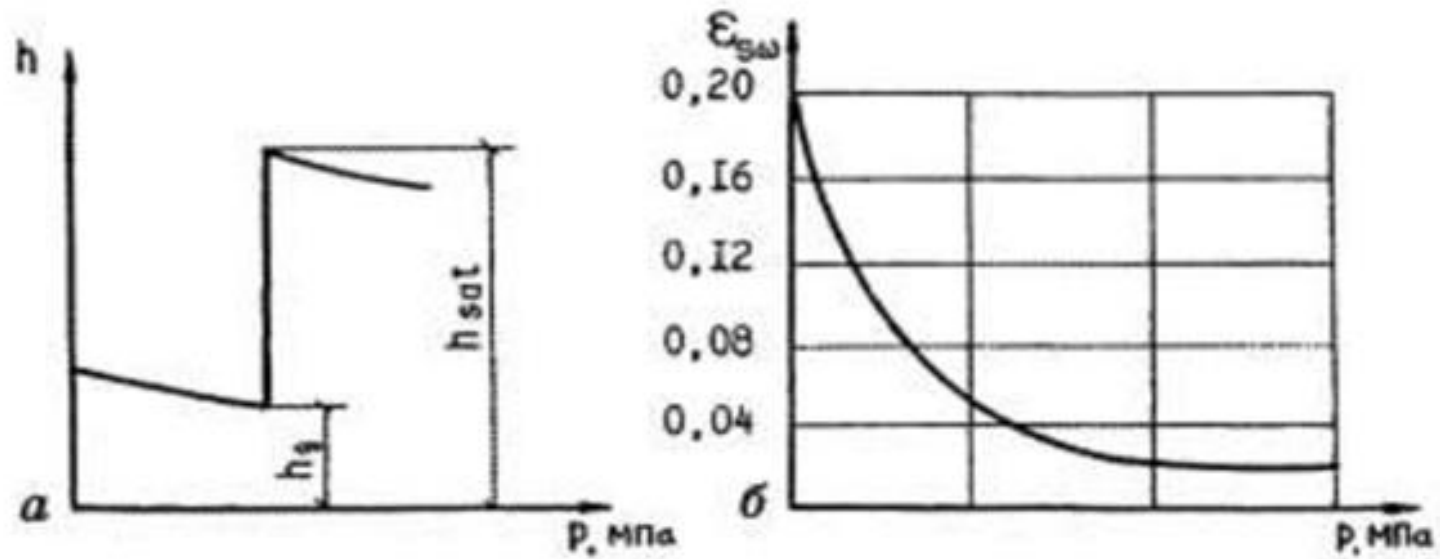
где  $\varepsilon_{sw,i}$  - относительное набухание грунта  $i$ -го слоя;

$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта;

$k_{sw,i}$  - коэффициент, принимаемый равным 0,8 при  $P=50$  кПа и 0,6 при  $P=300$  кПа, при промежуточных значениях – по интерполяции.

$n$  - число слоев, на которое разбита зона набухания грунта.

- **Набухающие грунты в зависимости от величины относительного набухания без нагрузки подразделяются на:**
- **слабонабухающие, если  $0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$  ;**
- **средненабухающие, если  $0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$  ;**
- **сильнонабухающие, если  $\varepsilon_{sw} > 0,12$  .**

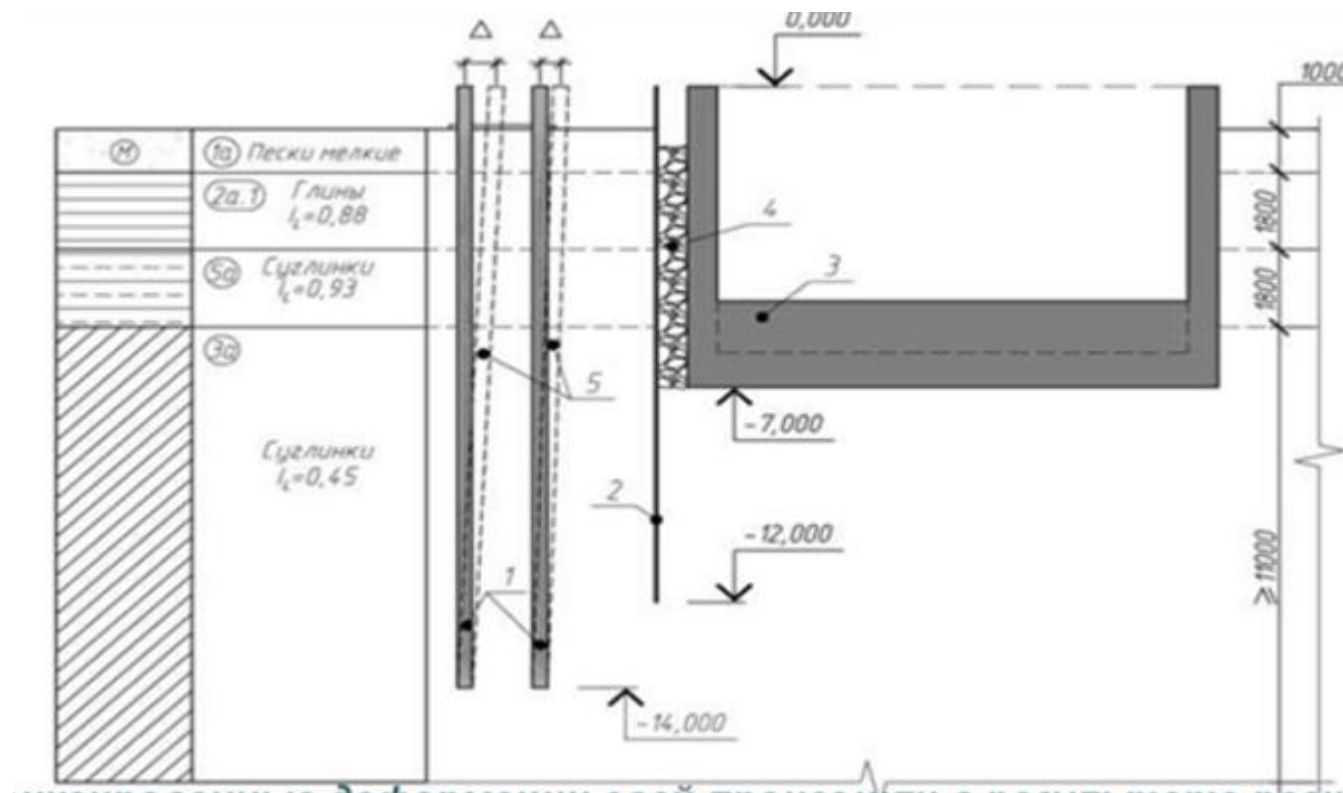


## **Пример смещения свай при проявлении тиксотропных свойств грунтов**

**ТИКСОТРОПНЫЕ ЯВЛЕНИЯ** В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ - способность тонкодисперсных грунтов под влиянием механического воздействия, например встряхивания, при определенных условиях разжижаться и переходить из гелеобразного состояния в золи или суспензии . Кроме механического воздействия, то же явление можно вызывать, например, ультразвуковыми волнами, электрическим током и т. д. После прекращения действия причины, вызвавшей тиксотропное превращение, грунт снова переходит из золя в гель (тиксотропное упрочнение, обусловленное формированием новых структурных связей, увеличением их количества и прочности ).

## Схема взаимного расположения конструкций в поперечном сечении с характерными геологическими условиями

- 1 – забивные ж/б сваи (35x35 см),  $l = 14$  м;
- 2 – металлический шпунт,  $l = 12$  м;
- 3 – монолитное ж/б заглубленное сооружение, глубина заложения 7 м;
- 4 – рыхлая обратная засыпка пазух котлована;
- 5 – отклонение сваи на величину  $\Delta$  от 15 до 90 см после вибродинамического извлечения шпунта (проявление тиксотропных свойств грунтов)



Зафиксированные деформации свай произошли в результате резкого изменения свойств тиксотропных грунтов вокруг свай

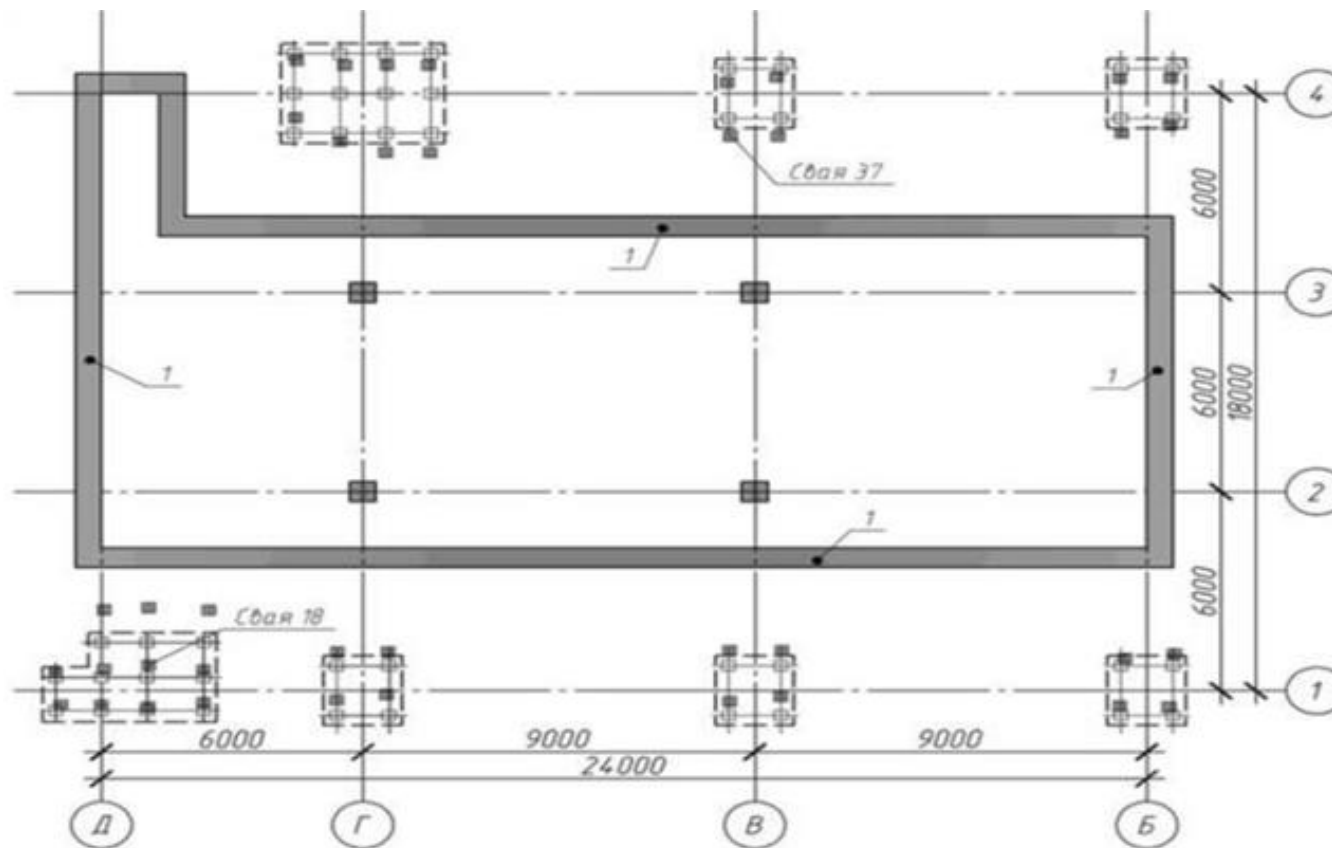


Схема-план проектного и смещенного свайного основания после виброизвлечения шпунта;  
 смещенное свайное поле на величину  $\Delta$  ; проектное положение свай; 1 – монолитное ж/б заглубленное  
 сооружение



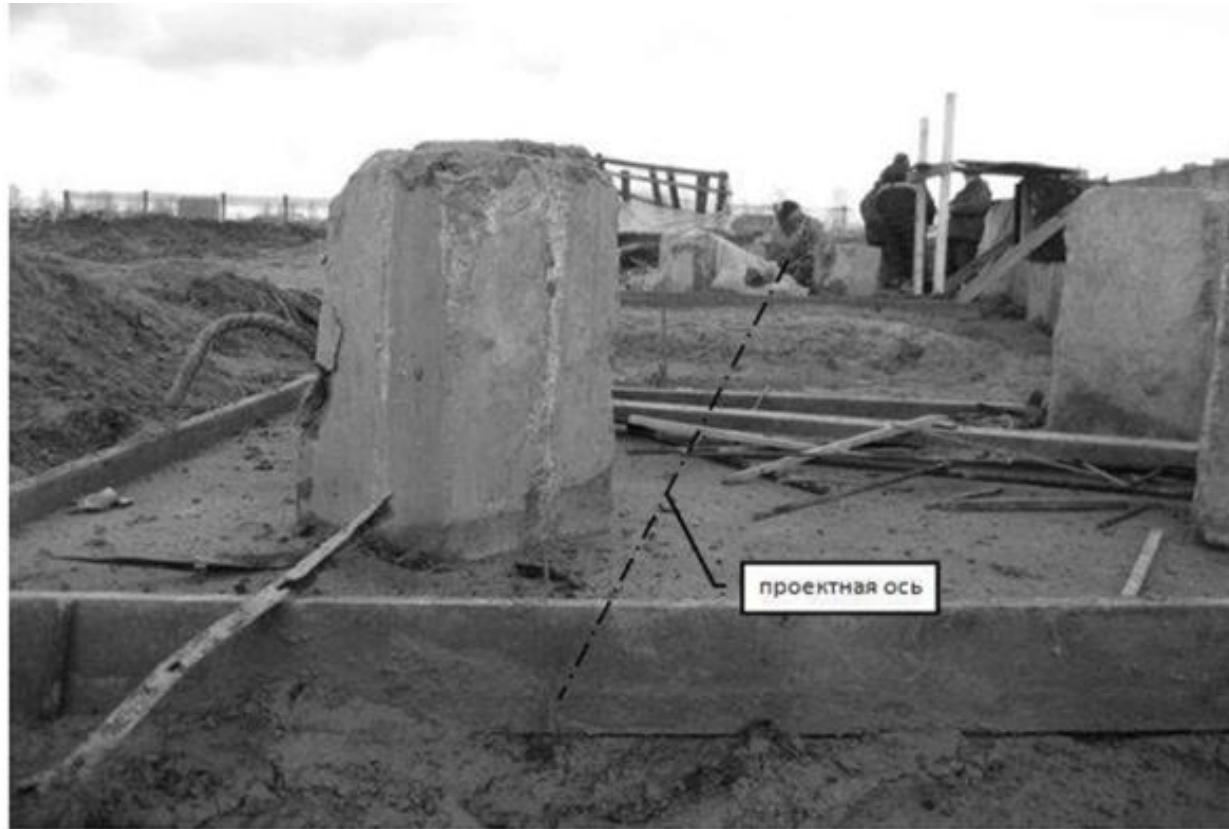


Фотография свайного куста под ростверк.

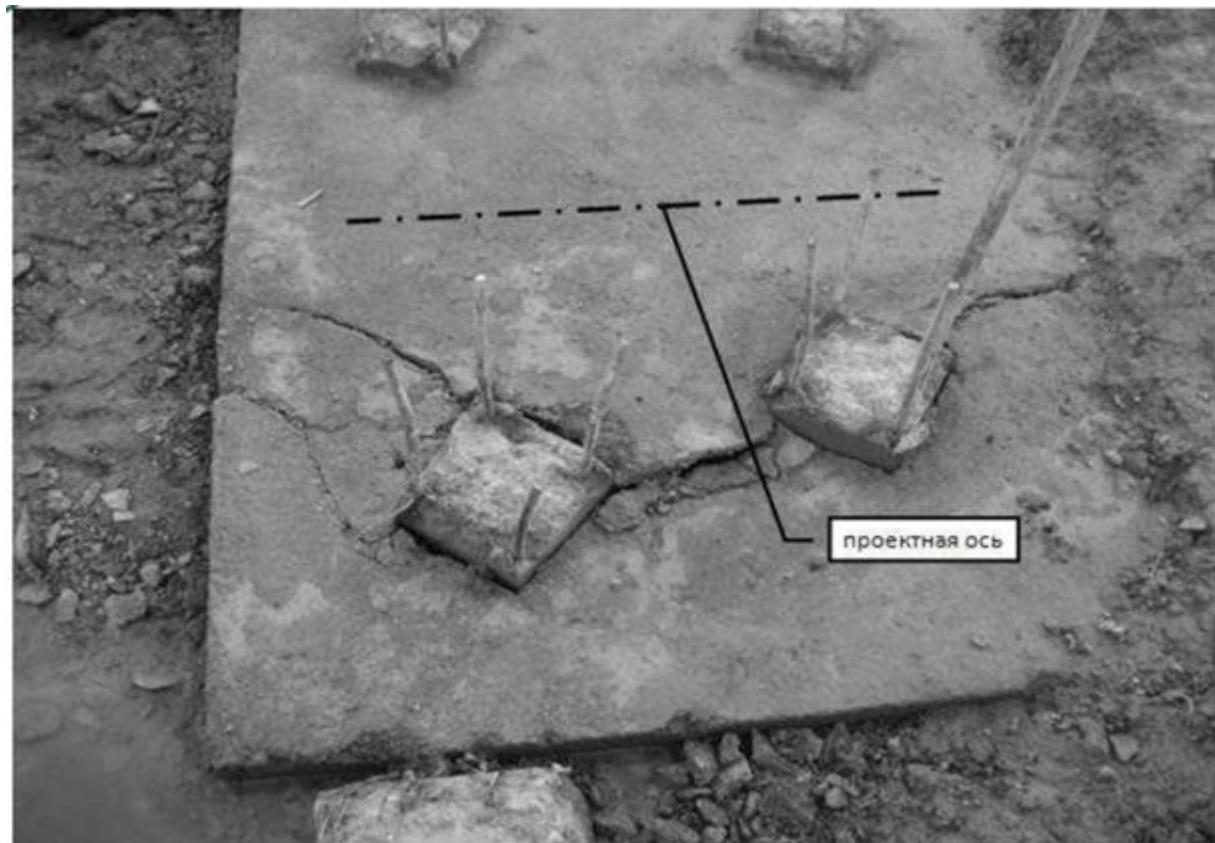
Смещение относительно цифровой оси, в сторону ж/б заглубленного сооружения



*Фотография смещенного свайного куста относительно проектной оси*



Фотография смещенного свайного куста относительно проектной оси



Фотография смещенного свайного куста с деформацией бетонной подготовки