

## **Тема № 2. Свайные фундаменты**

- 1. Конструкция и область применения фундаментов с низким и высоким свайным ростверком.**
- 2. Требования норм проектирования к размещению свай в ростверках.**
- 3. Классификация свай.**
- 4. Конструкция свай.**

## **Литература:**

СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты

СНиП 2.05.03-84\* Мосты и трубы

СП 50-102-2003 Свод правил по проектированию и строительству  
"Проектирование и устройство свайных фундаментов"

(одобрен постановлением Госстроя РФ от 21 июня 2003 г. N 96)

ГОСТ 19804-91 Сваи железобетонные. Технические условия

ГОСТ 19804.2-79\* Сваи забивные ж.б. цельные сплошные квадратного сечения с поперечным армированием ствола с напрягаемой арматурой. Конструкция и размеры

ГОСТ 19804.3-80\* Сваи забивные железобетонные квадратного сечения с круглой полостью. Конструкция и размеры

ГОСТ 19804.4-78\* Сваи забивные железобетонные квадратного сечения без поперечного армирования ствола. Конструкция и размеры

ГОСТ 19804.5-83 Сваи полые круглого сечения и сваи-оболочки железобетонные цельные с ненапрягаемой арматурой. Конструкция и размеры

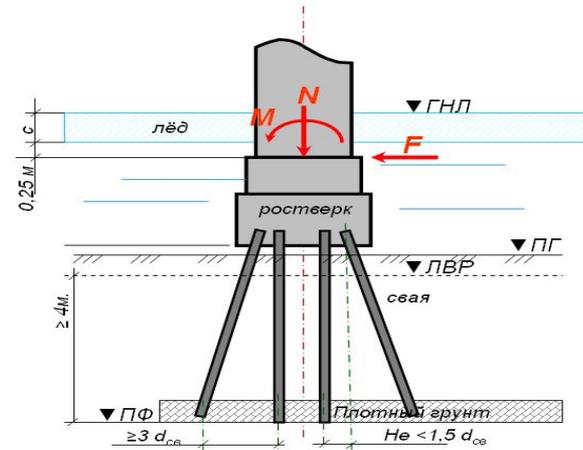
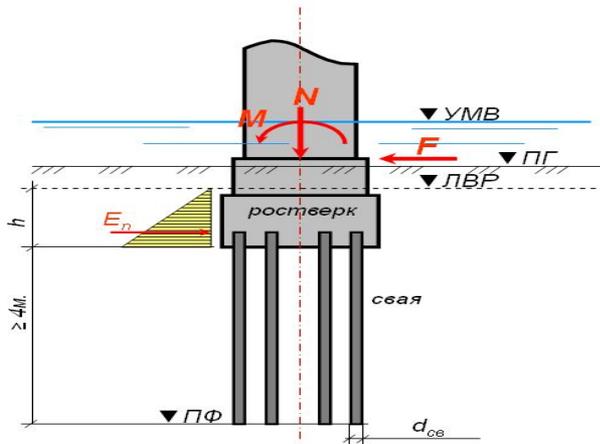
ГОСТ 19804.6-83 Сваи полые круглого сечения и сваи-оболочки железобетонные составные с ненапрягаемой арматурой. Конструкция и размеры

# КОНСТРУКЦИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ С НИЗКИМ И ВЫСОКИМ СВАЙНЫМ РОСТВЕРКОМ

Свая - это стержень, находящийся в грунте и передающий на него нагрузку от сооружения.

Ростверк - это объединяющая сваи плита.

По расположению плиты ростверка

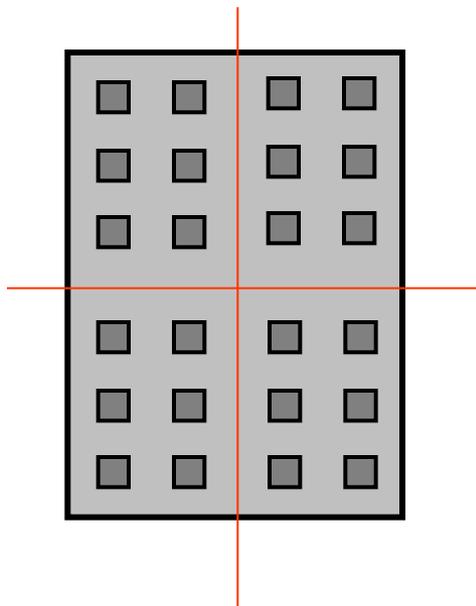


1. С низким ростверком (НСР);

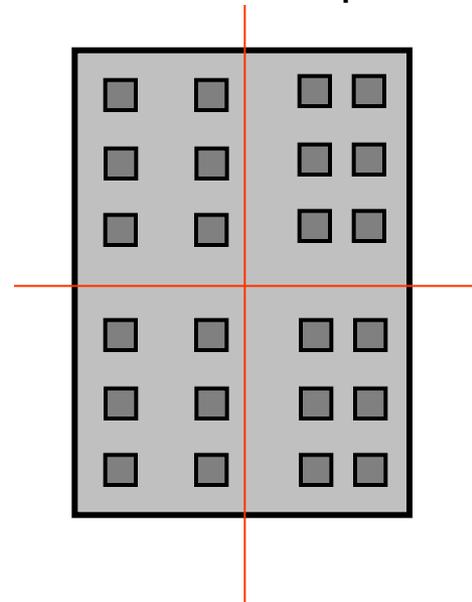
2. С высоким ростверком (ВСР);

## Размещение свай в плане:

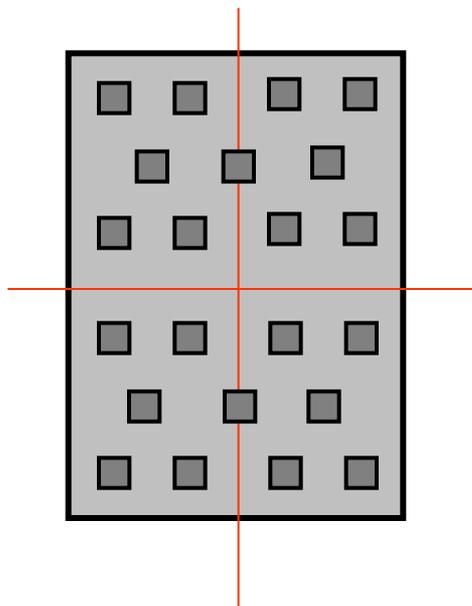
1. Рядовое симметричное



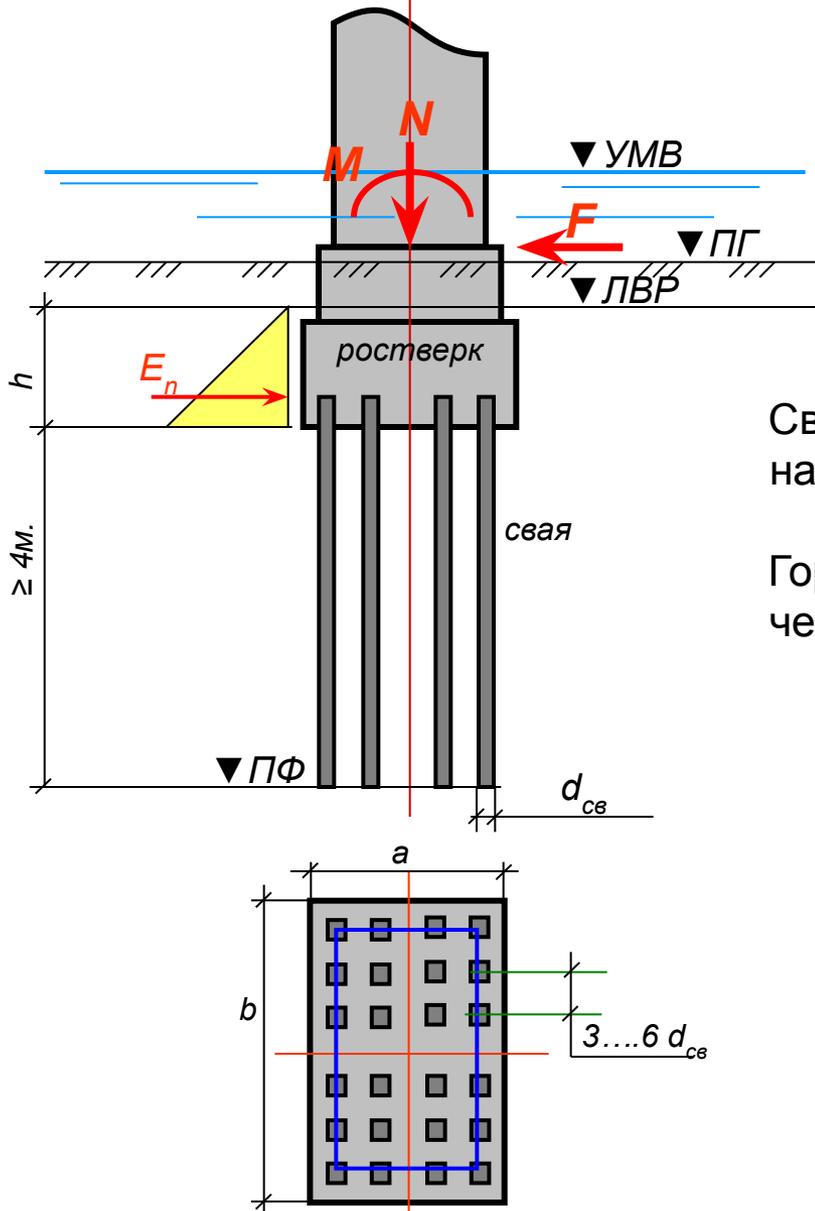
2. Рядовое несимметричное



3. Шахматное.



# Конструкция фундаментов с низким ростверком



Сваи передают на грунт только вертикальные нагрузки.

Горизонтальные нагрузки передаются на грунт через боковые грани плиты ростверка.

### **Недостатки фундаментов с НСР:**

- *дополнительные затраты на сооружение плиты в ограждаемом котловане.*

### **Область применения НСР:**

*а) на реках с тяжелым ледовым режимом для обеспечения нормального пропуска ледохода (исключается прямое воздействие льдин на сваи);*

*б) по условиям обеспечения лесосплава или пропуска селевых потоков;*

*в) при необходимости заглубления свай ниже зоны интенсивного истирающего воздействия перемещающихся наносов из песчаных и гравийно-галечниковых грунтов;*

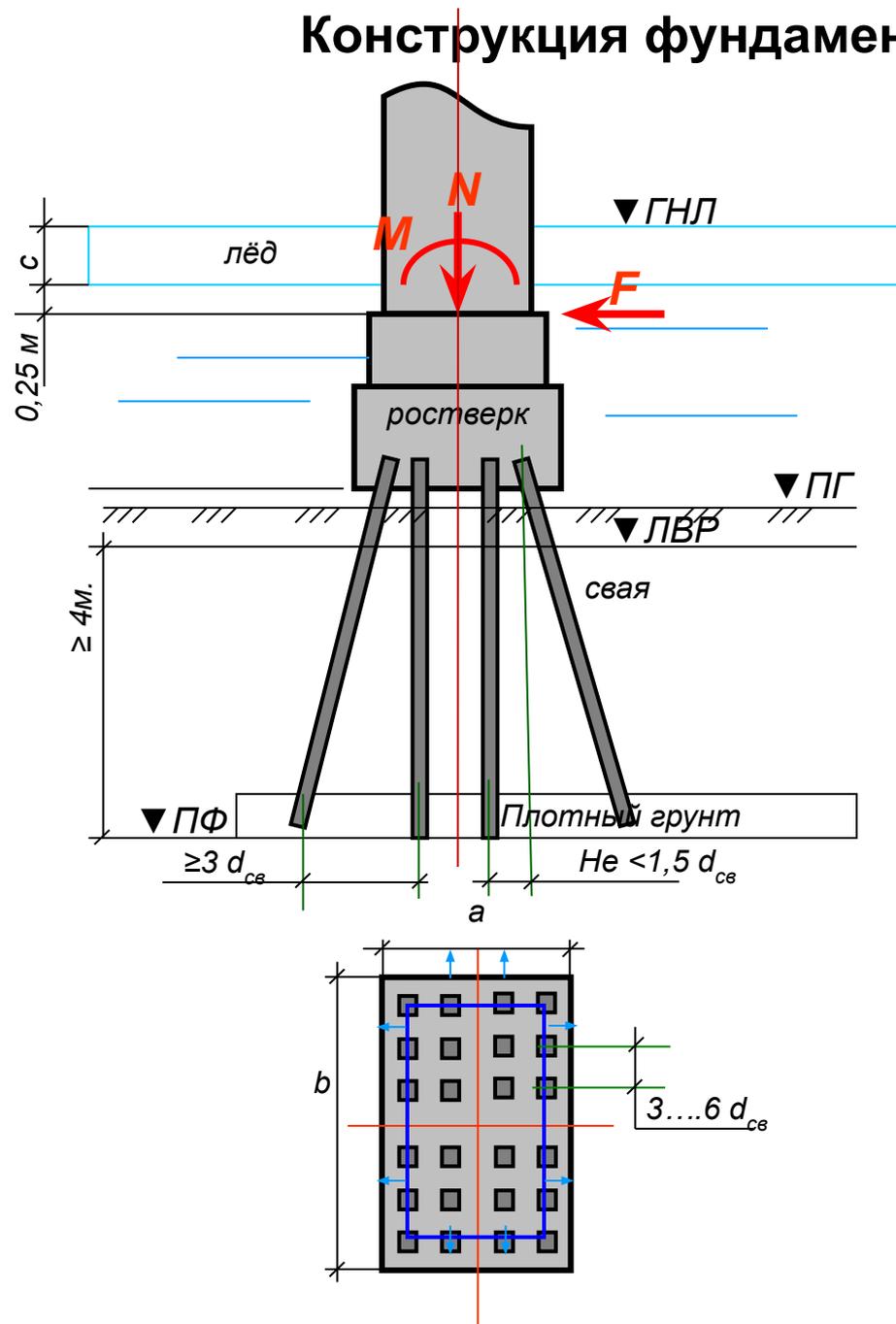
*г) для устоев на косогорах;*

*д) когда плиту нельзя располагать над грунтом или поверхностью воды по эстетическим требованиям.*

**Вывод:** *1) фундаменты с НСР рекомендуются в виде исключения;*

*2) подавляющее большинство русловых опор больших мостов в РФ и за рубежом построены и строятся с высокорасположенной плитой.*

# Конструкция фундаментов с высоким ростверком



1. Имеет подошву плиты обычно выше дна водотока. При этом величина "h" заглабления недостаточна для передачи горизонтальной нагрузки на грунт.
2. На суходоле подошва плиты ВСР располагается не менее 0,5 м от поверхности грунта после планировки.

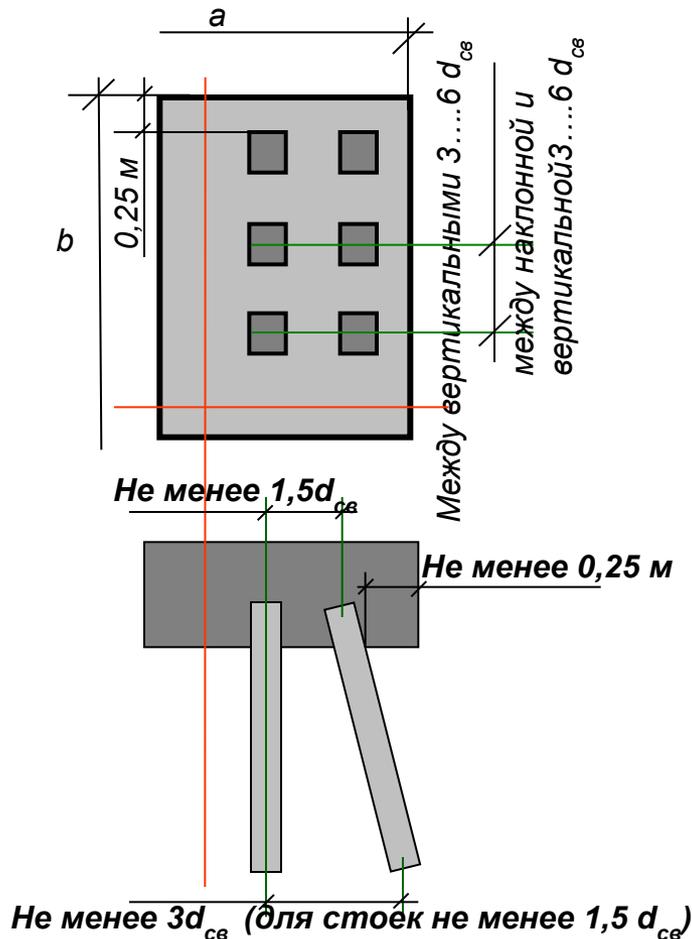
### **Достоинства фундаментов с ВСП:**

- а) при равной с НСП несущей способностью и жесткости затраты труда и материалов на возведение ВСП меньше;*
- б) отпадает необходимость разработки котлована ниже уровня воды;*
- в) вместо дорогого шпунтового ограждения используются перемычки разных конструкций;*
- г) вместо монолитных плит возможны сборные из ж.б.;*
- д) уменьшается местный размыв дна у опор;*
- е) применение наклонных свай и оболочек позволяет получить фундаменты, равные по жесткости фундаментам с заглубленной плитой.*

# ТРЕБОВАНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ И ЗАДЕЛКЕ СВАЙ В РОСТВЕРКЕ

Нормы проектирования:

- СНиП 2.05.03-84. "Мосты и трубы". гл. 7 "Основания и фундаменты".
- СНиП 2.02.03-84. Свайные фундаменты



1. Расстояние между осями висячих свай в плане должно быть:

- в уровне острия свай - не менее  $3d_{cb}$ ,
- где  $d_{cb}$  - диаметр или сторона квадратного сечения сваи;
- в уровне подошвы плиты - не менее  $1,5d_{cb}$ .

Расстояние между осями свай-стоек в уровне острия сваи ( $\nabla OC$ ) - не менее  $1,5d_{cb}$ .

2. Расстояние в свету между сваей и вертикальной гранью плиты ростверка:

- не менее 25 см;
- при сваях-оболочках диаметром свыше 2 м - не менее 10 см.



## Требования к армированию плиты ростверка:

- из железобетона - по расчету;
- из бетона - армирование выполняется конструктивно в его нижней части в промежутках между сваями.

Площадь поперечного сечения стержней арматуры вдоль и поперек оси моста не менее 10 см на 1 п.м ростверка.

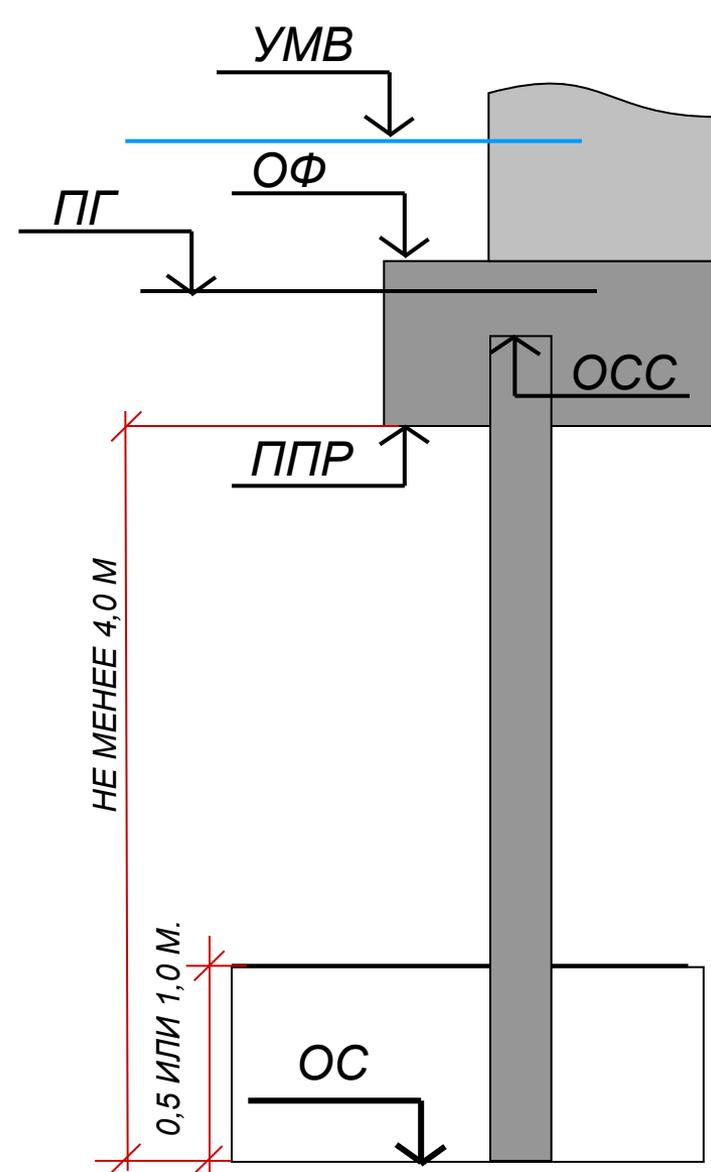
Тампонажный слой бетона, уложенного подводным способом, запрещается использовать в качестве рабочей (несущей) части ростверка.

Слой бетона над головой сваи должен быть не менее 50...75 см. При этом он проверяется расчетом. При недостатке сопротивления бетона укладываются 1-2 арматурных сетки.

Заглубление свай в грунты, принятые за основание под их нижние концы, д.б. не менее:

- в крупнообломочные грунты, гравелистые, крупные и средней крупности пески и глинистые грунты с  $J_L < 0,1$  - не менее 0,5 м;
- в прочие грунты - не менее 1 м.

Глубина забивки свай от уровня дна после размыва или уровня срезки грунта (дна котлована) - не менее 4 м (для постоянных мостов).



# КЛАССИФИКАЦИЯ СВАЙ

А - по особенностям передачи нагрузки на грунт

- **сваи-стойки;**
- **висячие;**
- уплотнения;
- трения

Б - по способу заглубления или устройства свай в грунте

- изготавливаемые заранее и погружаемые в готовом виде;
- изготавливаемые в проектном положении;
- комбинированные

В - по материалу:

деревянные, бетонные, ж.б., стальные,  
грунтовые (песчано-гравийные), комбинированные.

**Сваи-стойки** передают нагрузку на грунт в основном нижним концом на малосжимаемые грунты (скальные, крупнообломочные с песчаным заполнителем, твердые глины).

**Висячие сваи** передают нагрузку на любые грунты нижним концом и за счет сил трения по боковой поверхности.

## **Классификация свай по неосновным признакам:**

### **1. по форме поперечного сечения:**

- круглые;     - многогранные;
- квадратные;     - трубчатые;
- прямоугольные;     - крестовые;
- треугольные;     - и т.д.

### **2. по форме продольного сечения:**

- цилиндрические (призматические);
- конические;
- пирамидальные;
- с рифленой поверхностью.

### **3. по характеру действующего усилия:**

- сжатые;
- растянутые;
- изгибаемые.

### **4. по расположению в фундаменте:**

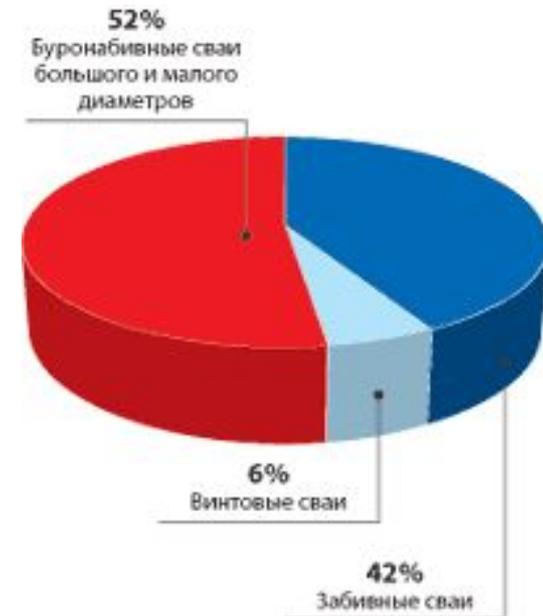
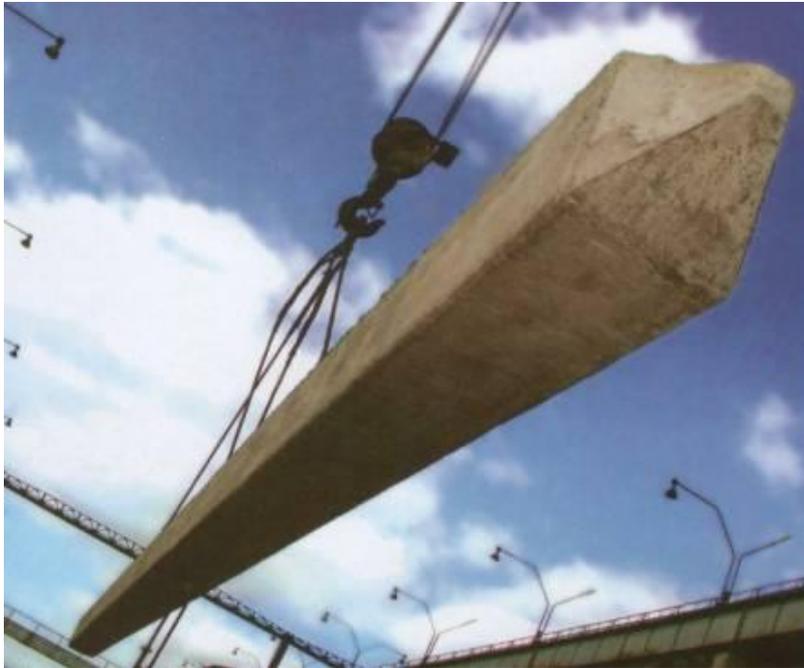
- вертикальные;
- наклонные.

### **5. по способу погружения:**

- забивные;
- завинчиваемые;
- вибропогружаемые;
- погружаемые в лидерные скважины.

# КОНСТРУКЦИИ СВАЙ

## Железобетонные призматические сваи



## Забивные железобетонные призматические сваи

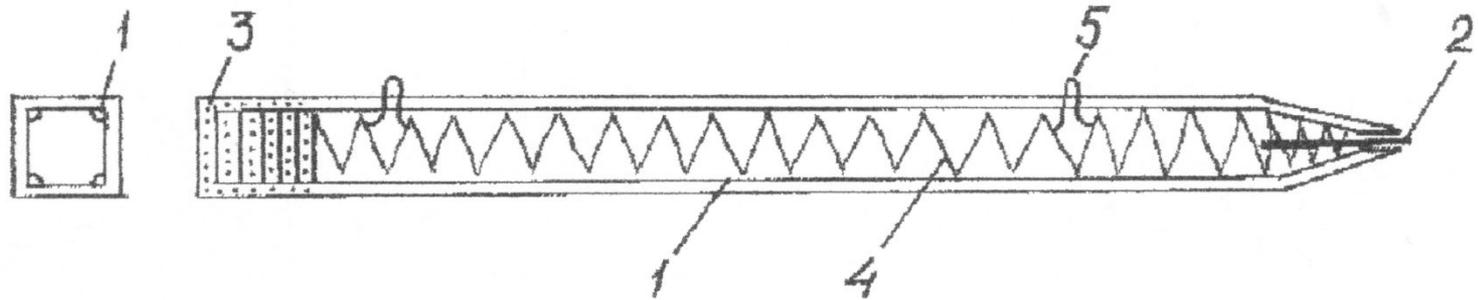


Рис. 1. Схема армирования:

- 1 – продольная рабочая арматура ( $\varnothing 12\text{АII} \div \varnothing 32\text{АII}$ ) -  $\varnothing \varnothing 12, 16, 20, 25, 28, 32$
- 2 – стержень острия сваи ( $\varnothing 28\text{АII}$ )
- 3 – сетки сварные из арматуры  $\varnothing 6\text{AI}$  – 6 шт.
- 4 – хомуты в виде непрерывной спирали с различным шагом из арматуры  $\varnothing 6\text{AI}$  кл. ВСтЗсп
- 5 – строповочные петли.

# Железобетонные трубчатые сваи

В зависимости от размера нужного диаметра имеют название:

1. Полые круглые сваи (тип. проект инв. №1241/2 изг. на ж.б. заводах).
2. Сваи-оболочки (тип. проект инв. №1241/2 изг. на ж.б. заводах).
3. Колодцы-оболочки.

Название	Диаметр Ø, м	Толщина стенки, см	Длина звена, м
Полые круглые сваи	0,4	8	4÷12 м, через 2 м
	0,6	10	
Сваи-оболочки	1,2	12	6÷12 через 4÷12 2 м 6
	1,6		
	3,0		
Колодцы- оболочки	3÷5	до 20	6÷8

# Стальные сваи: забивные

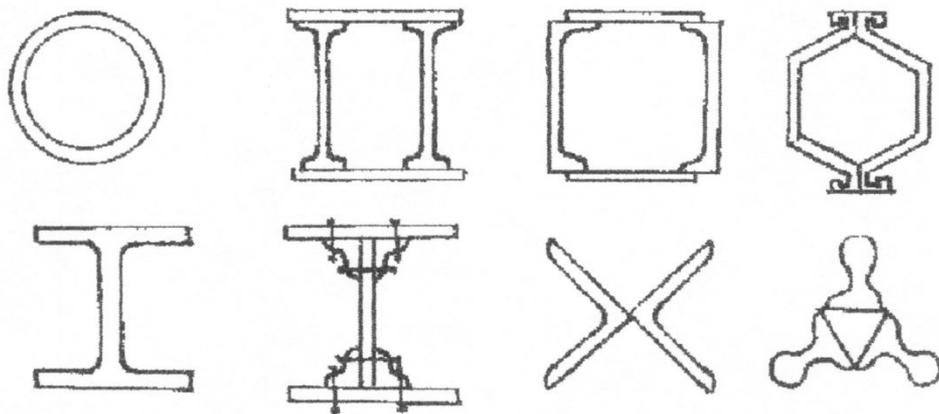


Рис. 4. Типы поперечных сечений стальных свай.



# Стальные сваи: винтовые

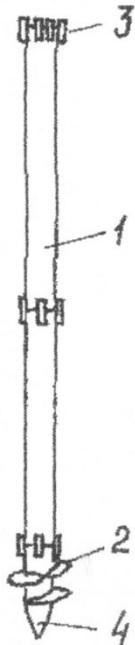


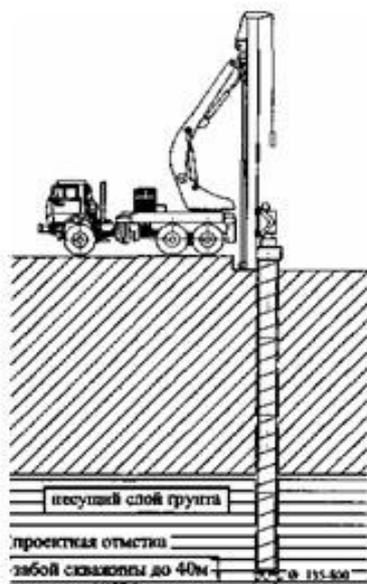
Рис. 5. Винтовая свая из металлической оболочки:

1 – ствол; 2 – винтовая лопасть;

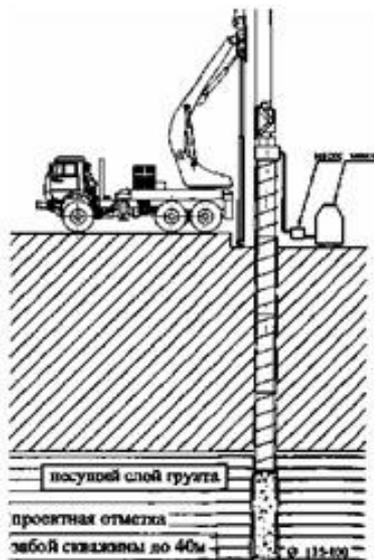
3 – оголовок; 4 – наконечник.

# Сваи изготавливаемые в проектном положении

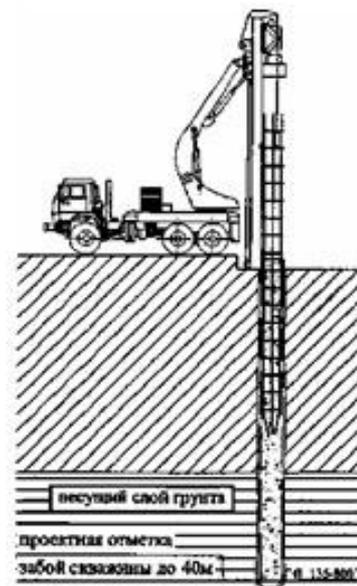
БУРЕНИЕ СКВАЖИНЫ



ЗАПОЛНЕНИЕ СКВАЖИНЫ  
МЕЛКОЗЕРНИСТЫМ БЕТОНОМ



УСТАНОВКА АРМОКАРКАСА



# НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СВАЙ

1. Активная зона основания сваи
2. Теоретический метод определения несущей способности сваи
3. Испытание свай статическими нагрузками
4. Испытание свай динамическими нагрузками

*Несущая способность сваи* – наибольшее силовое воздействие, которое может воспринять свая. Зависит от прочности материала сваи и несущей способности грунтов, в которые она погружена.

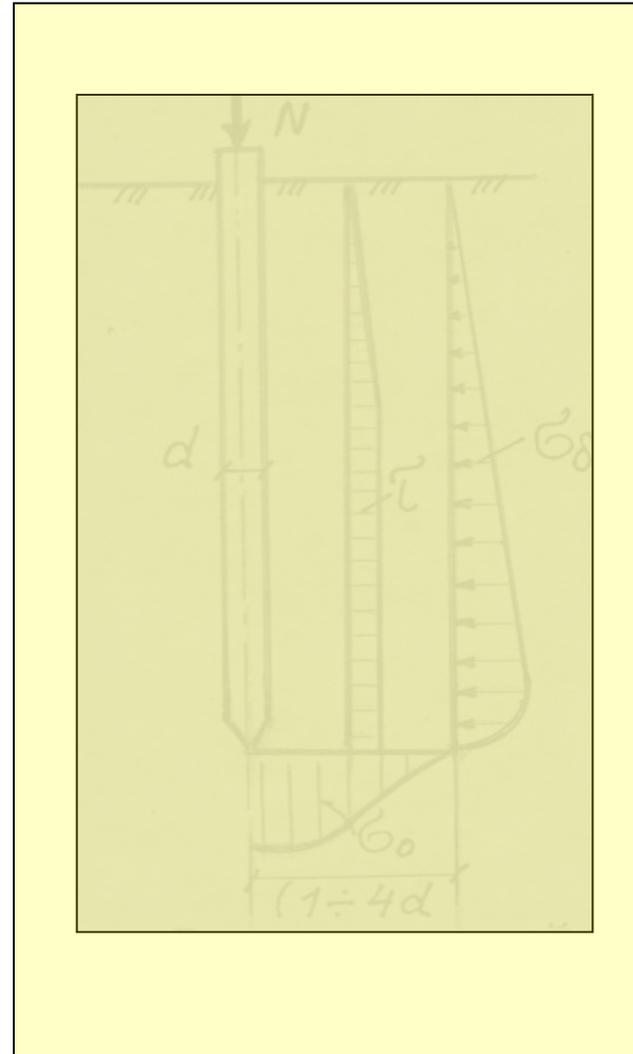
Определяют:

- несущую способность сваи по материалу;
- несущую способность сваи по грунту

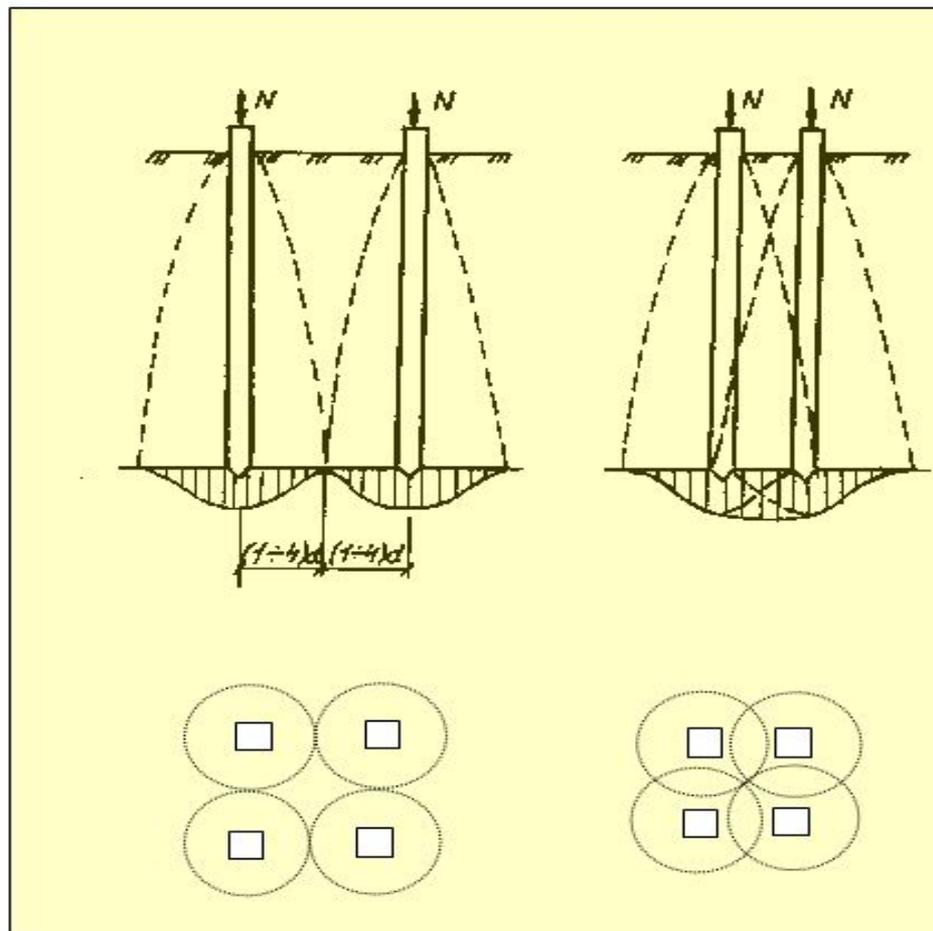
# 1. АКТИВНАЯ ЗОНА ОСНОВАНИЯ СВАЙ

Несущая способность сваи по грунту  $F_d$  при действии центрально приложенной вдавливающей силы складывается из сопротивления грунта  $\sigma_0$  под ее нижним концом и сопротивления грунта  $\sigma_b$  по боковой поверхности сваи

Массив грунта, окружающий сваю, в котором возникают перечисленные напряжения ( $\sigma_0$ ,  $\sigma_b$  и  $\tau$ ) называют **активной зоной**.



Группу свай в фундаменте  
принято называть  
**кустом.**



## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ

- 1. **Теоретический** – несущая способность определяется как сумма сил сопротивления грунта вдоль боковой поверхности и сопротивления грунта под торцом;
- 2. **Метод пробных статических нагрузок** – по графикам зависимости осадки от нагрузки и осадки во времени; нагрузка на сваю передается домкратами.
- 3. **Динамический метод** – несущая способность сваи определяется в зависимости от погружения сваи от одного удара молота.

**В расчетах несущую способность сваи следует принимать наименьшую из трех значений:**

- по условию сопротивления грунта основания (несущая способность сваи "по грунту");
- по условию сопротивления материала сваи (несущая способность сваи "по материалу");
- по возможностям сваебойной техники, имеющейся у строителей.

# Несущая способность забивных свай (по грунту) (п. 4.1-4.2 СНиП "Свайные ф-ты").

- Свай-стоек

$$F_d = \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot \gamma_{cR} \cdot R \cdot A$$

- Висячих свай

$$F_d = \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot \left( \gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i \right)$$

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы сваи в грунте;

$\gamma_n$  - коэффициент надежности сооружения;

$R$  - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, (тс/м<sup>2</sup>);

$A$  - площадь опирания на грунт сваи, м<sup>2</sup>,

$u$  - наружный периметр поперечного сечения сваи, м;

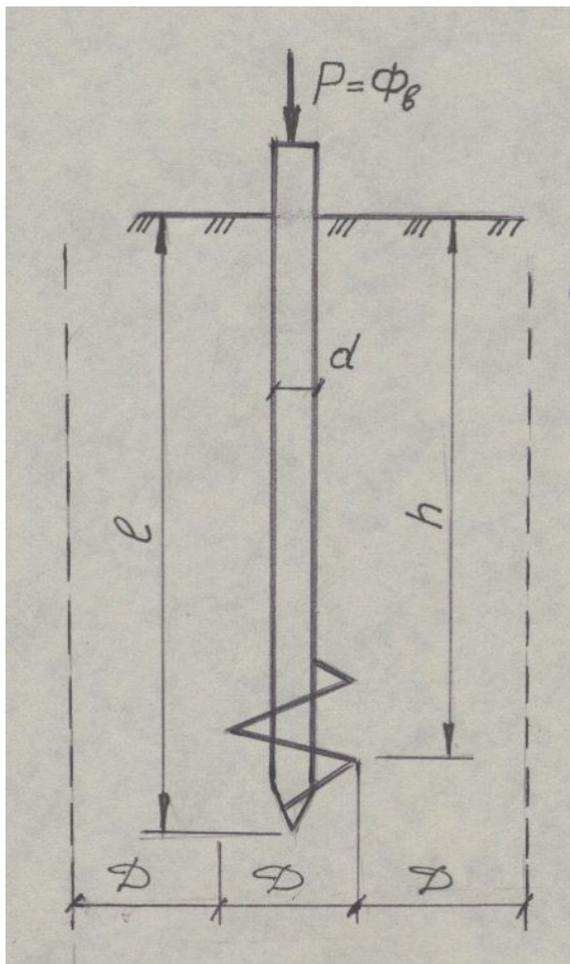
$f_i$  - расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, (тс/м<sup>2</sup>);

$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

$\gamma_{cR}, \gamma_{cf}$  - коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи;

# Несущая способность винтовых свай (п. 4.10 СНиП "Свайные ф-ты").

$$F_d = \gamma_c [(\alpha_1 c_1 + \alpha_2 \gamma_2 h_2)A + u f_i (h - d)],$$



$\gamma_c$  - коэффициент условий работы, зависящий от вида нагрузки, действующей на сваю, и грунтовых условий;

$\alpha_1, \alpha_2$  - безразмерные коэффициенты, зависящие от расчетного значения угла внутреннего трения грунта в зоне  $\Phi$ , слое грунта толщиной, равной  $d$ );

$c_1$  - расчетное значение удельного сцепления пылевато-глинистого или параметр линейности песчаного грунта в рабочей зоне, ( $\text{тс}/\text{м}^2$ );

$\gamma_1$  - осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше лопасти сваи;

$h_1$  - глубина залегания лопасти сваи от природного рельефа, м;

$A$  - проекция площади лопасти,  $\text{м}^2$ ,

$f_i$  - расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности ствола винтовой сваи, ( $\text{тс}/\text{м}^2$ ),

$u$  - периметр ствола сваи, м;

$h$  - длина ствола сваи, погруженной в грунт, м;

$d$  - диаметр лопасти сваи, м.

### **3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЯ НАГРУЗКОЙ**

**Полевые контрольные испытания свай при строительстве проводят с целью проверки соответствия несущей способности свай расчетным нагрузкам, установленным в проекте свайного фундамента.**

**Испытания свай статической и динамической нагрузками следует производить, соблюдая требования ГОСТ 5686-94**

**Для определения несущей способности свай по результатам полевых исследований для каждого здания или сооружения должно быть проведено не менее:**

- статических испытаний свай и свай-штампов 2**
- динамических испытаний свай 6**
- испытаний грунтов эталонной сваей 6**
- испытаний свай-зондов 6**
- испытаний статическим зондированием 6**

**Испытания грунтов сваями проводят на участке, отведенном под строительство проектируемых зданий или сооружений, на расстоянии не более 5 м и не менее 1 м от выработок, из которых отобраны монолиты грунтов для лабораторных испытаний и где выполнено статическое зондирование. Испытания должны быть выполнены на участках, где выявлены слабые грунты, а также грунты, характерные для данной площадки.**

**Испытания свай в связных грунтах следует производить после того, как закончатся процессы упрочнения грунтов**

в супесях – 5 суток;

в суглинках – 15 суток;

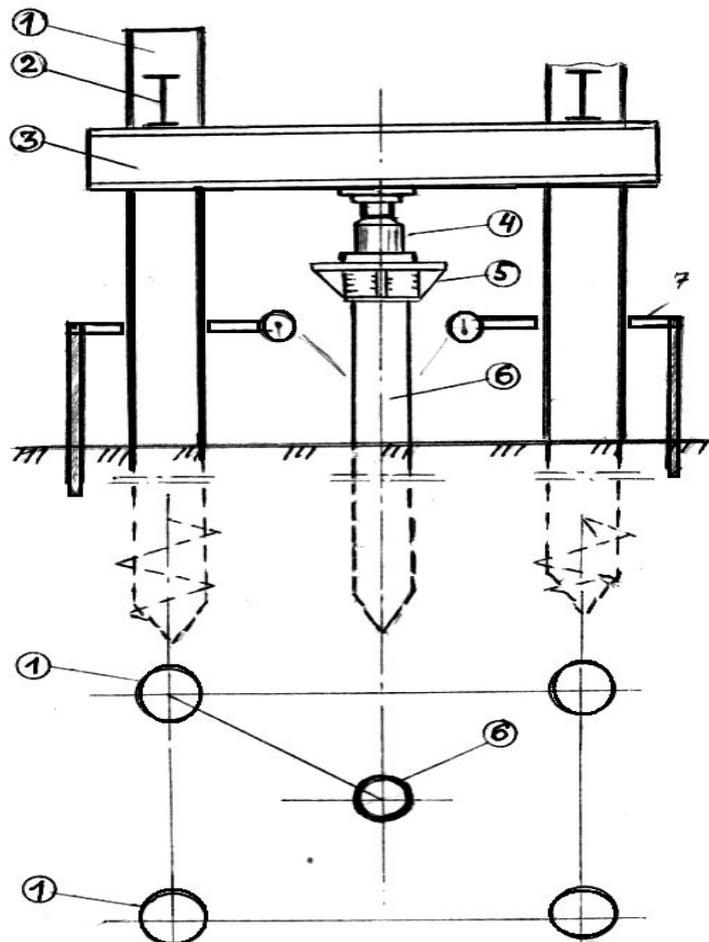
в глинах – 25 и более суток.

Несущая способность сваи за это время может повыситься в 1,5-6,0 раз.

**В песках:** в пылеватых, мелких песках, особенно, если есть примеси коллоидных частиц характерно то же явление.

**Чистые пески** – в них несущая способность сваи с течением времени уменьшается (процесс разупрочнения занимает 2-3 суток после погружения сваи).

# Схема установки для испытания сваи статической нагрузкой:



- 1 – анкерные сваи;
- 2 – распределительные балки;
- 3 – наддомкратная упорная балка;
- 4 – домкрат 150-200 т
- 5 – домкратный столик;
- 6 – испытываемая свая
- 7 – реперная система с прогибомерами



График зависимости осадки сваи  $S$ , от нагрузки  $P$

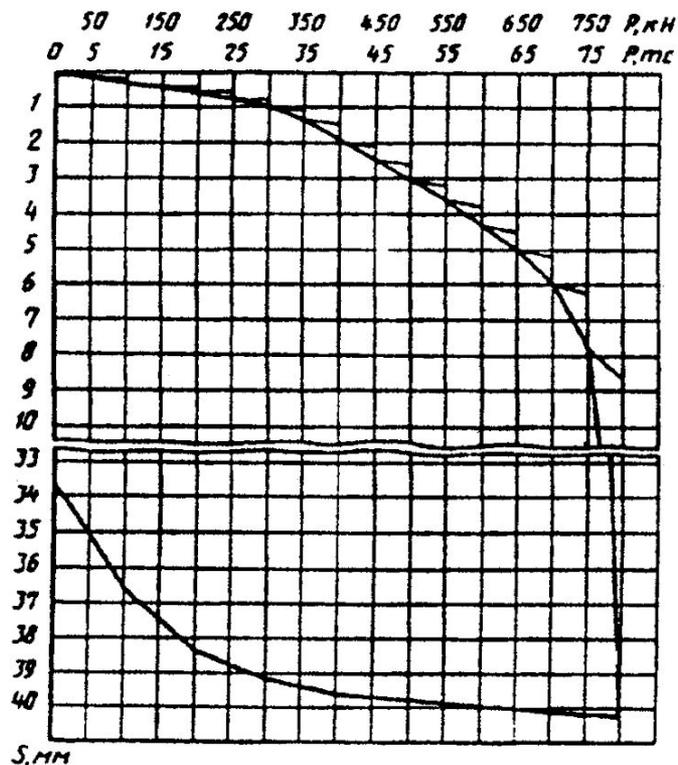
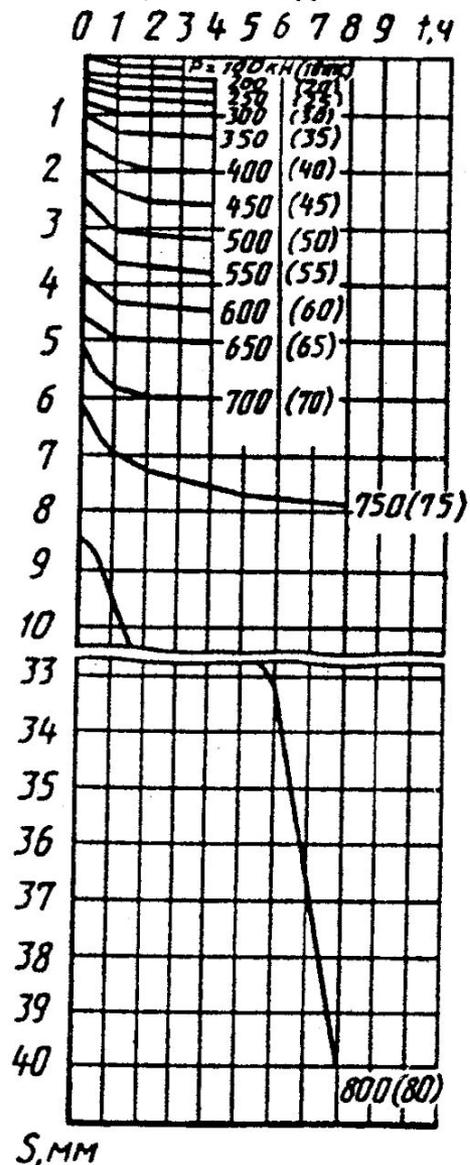


График изменения осадки сваи  $S$  во времени (по ступеням нагружения)



Результаты испытания грунтов сваей оформляют в виде графиков зависимости деформации (осадки, выхода, горизонтального перемещения) сваи или отдельных ее элементов (нижнего конца и ствола для эталонной сваи типов II и III) от нагрузки и измерения деформации во времени по ступеням нагружения

- Обычно нагрузку доводят до величины, при которой резко увеличивается осадка сваи. В этот момент в грунте будут преодолены сопротивления сдвигу у боковой поверхности ствола, а также значительно разовьются области предельного равновесия ниже подошвы сваи
- Несущую способность  $F_d$  (тс), свай по результатам их испытаний вдавливающей, выдергивающей и горизонтальной статическими нагрузками следует определять по формуле

$$F_d = \gamma_c \frac{F_{u,p}}{\gamma_g},$$

- $\gamma_c$  - коэффициент условий работы;
- $F_{u,p}$  - нормативное значение предельного сопротивления сваи, кН (тс);
- $\gamma_g$  - коэффициент надежности по грунту.

## 4. ИСПЫТАНИЕ СВАИ ДИНАМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

- Испытания талых грунтов динамической (ударной или вибрационной) нагрузкой проводят забивными сваями для проверки возможности погружения свай на намечаемую глубину, для оценки несущей способности сваи, определяемой по значению отказа, а также для относительной оценки однородностей грунтов по их сопротивлению погружению.
- Для полевых испытаний грунтов динамическими нагрузками с помощью натуральных свай применяют то же оборудование, что было использовано для забивки свай.



## **Испытание сваи динамической нагрузкой должно включать:**

- - при забивке сваи - подсчеты количества ударов молота на каждый метр погружения и общего количества ударов, а на последнем метре - на каждые 10 см погружения;
- - при вибропогружении сваи - подсчеты времени на каждый метр погружения, а на последнем метре - времени на каждые 10 см погружения;
- - определение отказов сваи при забивке после "отдыха", т.е. после перерыва между окончанием забивки и началом добивки.

## **Продолжительность "отдыха" устанавливается**

в зависимости от состава, свойств и состояния прорезаемых грунтов и грунтов под нижним концом сваи, но не менее:

- 3 сут - при песчаных грунтах, кроме водонасыщенных мелких и пылеватых;
- 6 сут - при глинистых и разнородных грунтах.

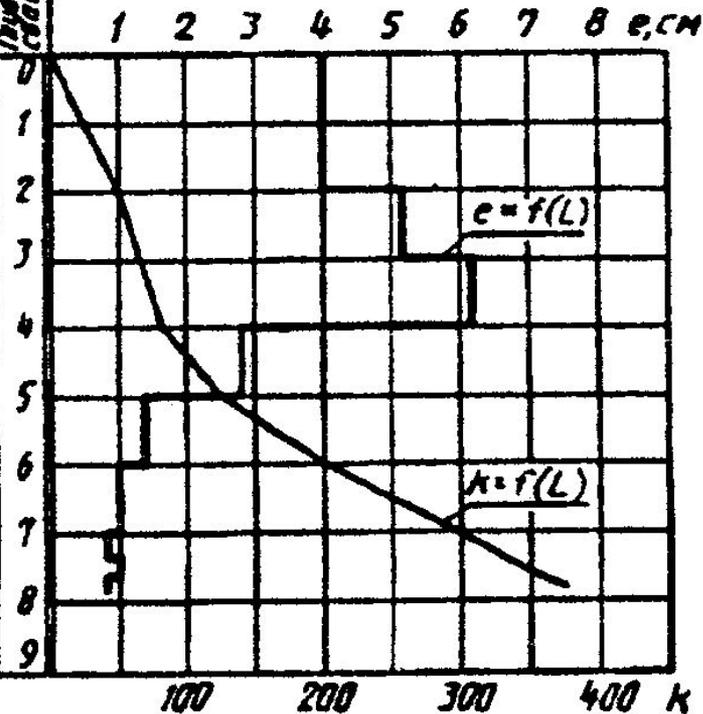
В процессе испытания ведут журнал испытания.

Результаты испытаний оформляют в виде графиков изменения отказов по глубине и зависимости общего количества ударов от глубины забивки сваи

# ОБРАЗЕЦ ГРАФИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВОГО ИСПЫТАНИЯ ТАЛЫХ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Номер слоя	Геологический шифр	Глубина слоя, м		Толщина слоя	Описание грунтов	Геологический разрез	Глубина от поверхности слоя, м
		Глубина	Абс. отп.				
1	гк	0,50	145,10	0,50	Насыщенный грунт	X X X	145,90 145,70
2	гп (гп-3)	3,20	142,50	2,60	Суглинок тугопластичный с линзами песка		
3		5,00	140,70	1,80	Глина мягкопластичная		
4	гп	9,00	136,70	4,00	Глина тугопластичная с включением дресвы, щебня		137,90

График зависимости числа ударов  $k$  и отказов  $e$  от глубины погружения  $L$



- Метод основан на зависимости между энергией, расходуемой сваебойным агрегатом на погружение сваи в грунт и ее несущей способностью.
- За отказ сваи принимают среднюю глубину погружения от одного удара молотом или глубину погружения от работы вибропогружателя за 1 мин, выраженные в сантиметрах .
- При забивке сваи энергия удара ( $E_d$ ) молота расходуется на сопротивление грунта погружению сваи и на непроизводительные потери – нагрев, трение в механизме, упругие деформации ствола сваи и грунта и пр.
- Если от одного удара молота погружение (отказ) сваи равен  $S_a$ , то

$$E_d = F_u \cdot S_a + E_{пот}$$

- $F_u$  - предельное сопротивление сваи;
- $S_a$  - отказ от одного удара (перемещение сваи);
- $E_{пот}$  - непроизводительные потери энергии
- $E_d$  – расчетная энергия удара (для дизель молотов (0,9НхQ)

Решение уравнения дает результат, с учетом непроизводительных потерь

$$F_u = \frac{\eta AM}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{4Ed}{\eta A s_a} \cdot \frac{m_1 + \varepsilon^2(m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}} - 1 \right].$$

$\eta$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от материала сваи, (тс/м<sup>2</sup>);

$A$  - площадь, поперечного сечения ствола сваи, м<sup>2</sup>;

$M$  - коэффициент, принимаемый при забивке свай молотами ударного действия равным единице, а при вибропогружении свай - в зависимости от вида грунта под их нижними концами;

$E_d$  - расчетная энергия удара молота, (тс·м), или расчетная энергия вибропогружателей;

$s_a$  - фактический остаточный отказ, равный значению погружения сваи от одного удара молота, а при применении вибропогружателей - от их работы в течение 1 мин, м;

$m_1$  - масса молота или вибропогружателя, т;

$m_2$  - масса сваи и наголовника, т;

$m_3$  - масса подбабка (при вибропогружении свай  $m_3 = 0$ ), т;

$m_4$  - масса ударной части молота, т;

$\varepsilon$  - коэффициент восстановления удара; при забивке железобетонных свай молотами ударного действия с применением наголовника с деревянным вкладышем  $\varepsilon_2 = 0,2$ , а при вибропогружателе  $\varepsilon_2 = 0$ ;

Из этой формулы следует выражение для расчетного отказа при котором обеспечивается несущая способность сваи

$$S_a \leq \frac{\eta \cdot A \cdot E_d}{\gamma \cdot F_u (\gamma \cdot F_u + \eta \cdot A)} \cdot \frac{m_1 + \varepsilon^2 (m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}$$

Отказ должен измеряться с точностью до 0,2 мм. Практически трудно замерить отказ от одного удара с такой точностью. Поэтому при забивке замеряют погружение сваи от нескольких ударов, называемых **залогом**. Обычно для дизель-молотов принимают залог равным 10 ударам.