

**Проектирование и
исследования по профилю
ПОДГОТОВКИ
(курс «Основания и фундаменты в
сложных грунтовых условиях и при
особых видах загрузки»)**

**(лекции, практические занятия,
курсовой проект)
форма контроля – зачет**

Список литературы

- 1. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. -М.: Издательство стандартов, 2020.*
- 2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. - М.: Минрегионразвития, 2016.*
- 3. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. -М.: Минрегионразвития, 2011.*

4. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. -М.: Минрегионразвития,2011.

5. СП 21.13330.2010. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.09-91. -М.: Минрегионразвития,2010.

6. СП 25.13330.2010. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. -М.: Минрегионразвития,2010.

7. СП 26.13330.2012. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87. -М.: Минрегионразвития, 2012.

8. Б.И.Далматов. Механика грунтов, основания и фундаменты. -М. : Лань, 2012.

9. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения/М.И.Горбунов-Посадов и др. Под общ. редакцией Е.А.Сорочана и Ю.Г.Трофименкова. -М.: Стройиздат, 1985.

Введение.

План курса лекций.

Общие термины и определения.

Виды грунтов:

– *просадочные*

Просадочными *при замачивании грунтами называют грунты, способные при воздействии воды коренным образом изменять свою структуру за счет разрушения (ослабления) связей между частицами и приводить к дополнительным деформациям основания и фундамента.*









– набухающие

Набухающими грунтами называют грунты *набухающие (увеличивающиеся в объеме) при увлажнении и претерпевающие усадку (уменьшение объема) при высыхании.*

– насыщенные органикой (органоминеральные) и органические

Органоминеральными и органическими грунтами называют грунты содержащие в своем составе органические остатки: органоминеральные (илы, сапропели, заторфованные грунты) и органические грунты (торфы), отличающиеся большой сжимаемостью, существенной анизотропией характеристик и изменением их во времени.





– пучинистые при промерзании

Пучинистыми *грунтами называют грунты способные при промерзании увеличиваться в объеме (за счет расширения воды при превращении её в лёд в порах грунта) и смерзаясь с телом фундамента приводить к деформированию основания и фундаментной конструкции (отрицательные деформации).*









– засоленные и закарстованные

Засоленными называются грунты, содержащие солевые включения в количестве, влияющем на физико-механические и электрохимические свойства, и являющиеся объектом инженерно - строительной деятельности человека. Присутствие в рыхлых раздробленных горных породах (грунтах) растворимых солей обуславливает их специфические свойства.

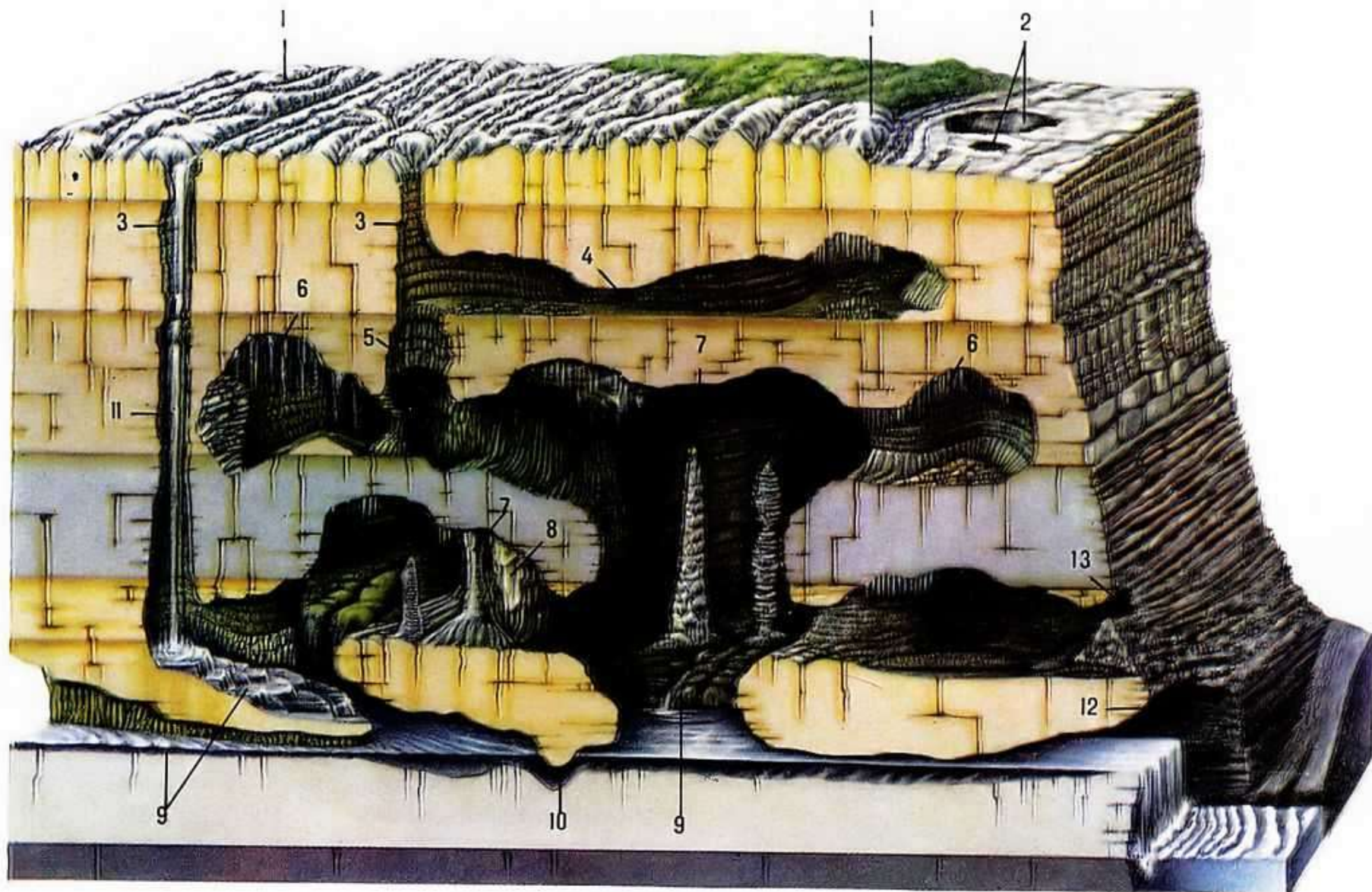






Закарстованными грунтами (основаниями, территориями) называют грунты содержащие в своем составе в значительном объеме (или полностью состоящие) из известняков, доломитов, мела, мергелей, гипсов, ангидридов, каменной и калийной солей. При растворении и выщелачивании поверхностными и подземными водами этих минералов на поверхности земли образуются воронки, провалы и другие формы рельефа, а в толще горных пород – разнообразные пустоты, каналы, пещеры. Все образующиеся таким путем поверхностные и подземные формы называются карстом.







– элювиальные (выветрелые)

Элювиальными *грунтами называют осадочные отложения, которые остались на месте выветривания и характеризуются высокой степенью неоднородности и изменчивости при возведении фундаментов и эксплуатации грунтового основания.*



**– сильносжимаемые и насыпные
(намывные)**

К сильносжимаемым грунтам обычно относят грунты, характерными признаками которых являются: высокая степень влажности $S_r \geq 0,80$ и большая сжимаемость $E \leq 5$ МПа (например, тонкослоистые ленточные глины, водонасыщенные лессовые грунты, рыхлые пески, насыпные и намывные грунты (прежде всего, пески), а также суглинки и биогенные глины с высоким коэффициентом пористости).



– вечномерзлые

К вечномерзлым грунтам относят грунты с отрицательной температурой, в которых часть поровой воды находится в замерзшем состоянии (в виде кристаллов льда) и, которые находящиеся в мерзлом состоянии в течение трех лет и более.

– грунты подрабатываемых территорий

Подрабатываемой территорией называется территория, подвергающаяся воздействию подземных горных работ по добыче полезного ископаемого, в результате которого в подрабатываемой толще могут возникать неравномерные оседания земной поверхности и сдвиг (смещение) грунтовых пластов.





Особые нагрузки:

- динамические (знакопеременные) нагрузки от машин и оборудования, выполняющих полезную работу,
- сейсмические нагрузки, вызванные резкими перемещениями участков земной коры,
- обратные (отрицательные, выдергивающие) нагрузки,
- значительные горизонтальные или наклонные нагрузки, передающиеся от грунта или строительных конструкций и т.д.

Основные термины:

- грунт (по ГОСТ 25100-2011) – любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и как часть геологической среды и изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека;

- основание – часть массива грунта, воспринимающего нагрузку (давление) от фундамента;
- фундамент – строительная конструкция служащая для передачи (распределения) нагрузки на грунтовое основание;

- нагрузка – силовое воздействие, передающееся на строительную конструкцию (в частности, на фундамент) – различают постоянные и временные в различных сочетаниях (основное, особое);
- давление (напряжение) – распределённая по площади нагрузка (например, под подошвой фундамента).

**Лессовидные просадочные грунты,
расчет и проектирование
оснований и фундаментов**

Просадочность – *дополнительный вид деформации грунта, вызванный коренным разрушением структуры грунта при замачивании под нагрузкой.*

Признаки лессовидных просадочных грунтов:

- 1) макропористость грунта;***
- 2) грунт быстро размокает в воде;***
- 3) бурная реакция с соляной кислотой;***
- 4) малая влажность грунта ($S_r < 0,8$).***

Основным показателем просадочности лессовидных просадочных грунтов является относительная просадочность (ε_{sl}):

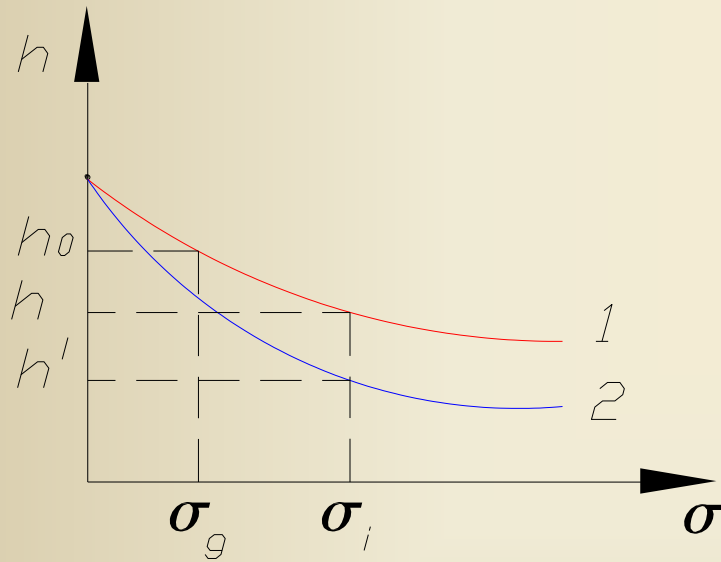
- при $\varepsilon_{sl} < 0,01$ – грунт непросадочный;*
- при $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$ – грунт просадочный.*

*Методы определения относительной просадочности
(в лабораторных условиях).*



одеметр

1. Метод «двух кривых».



1-при естественной влажности;

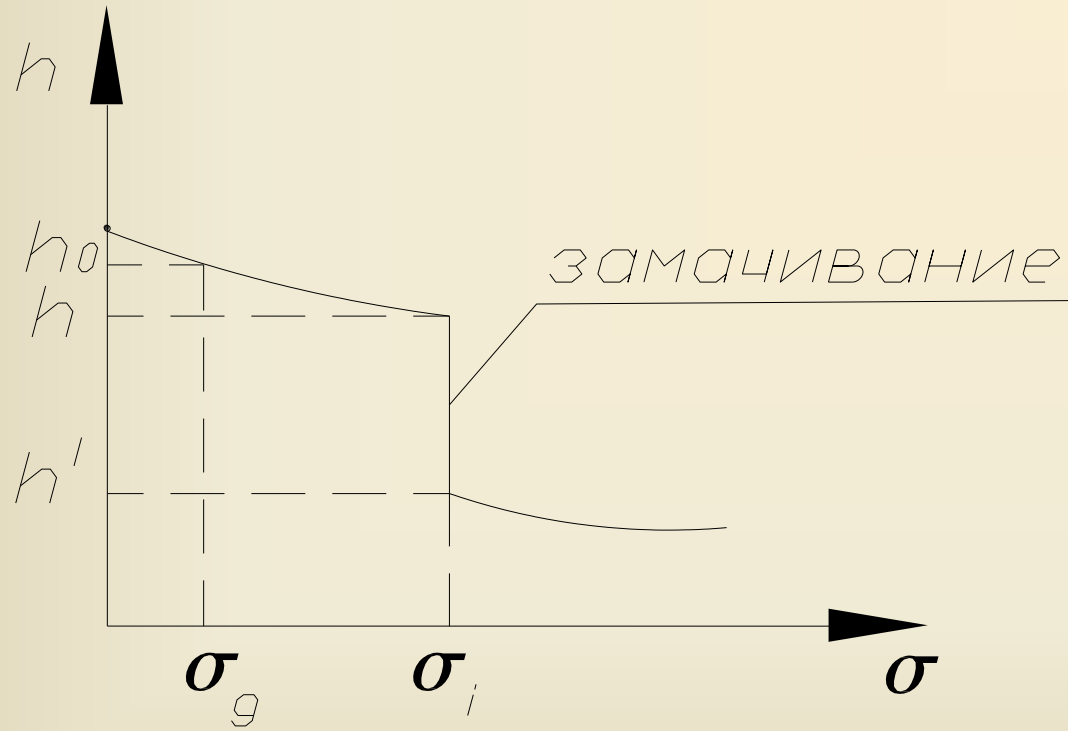
2-в водонасыщенном состоянии.

$$\varepsilon_{sl} = \frac{h - h'}{h_0} = \frac{h_{n,p} - h_{sat,p}}{h_{n,g}}$$

Данный метод позволяет определять относительную просадочность при всем диапазоне давлений.

По сравнению со вторым методом является менее точным.

2. Метод «одной кривой».

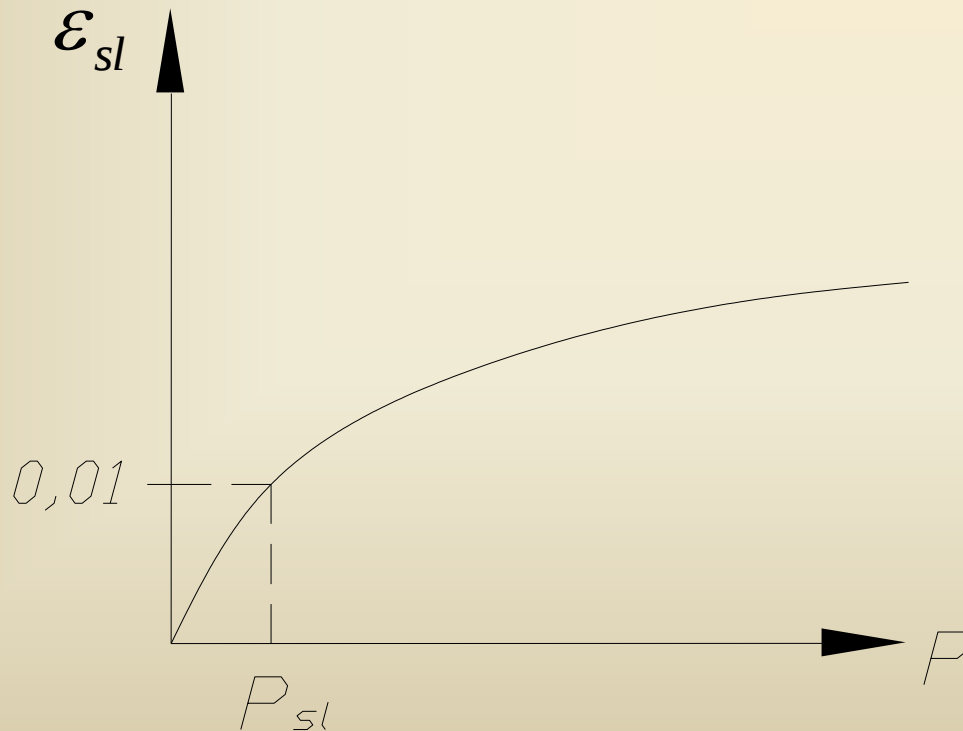


$$\varepsilon_{sl} = \frac{h - h'}{h_0} = \frac{h_{n,p} - h_{sat,p}}{h_{n,g}}$$

Данный метод является более точным (моделируются натурные ситуации), но относительную просадочность можно определить только при одном значении давления.

Начальное просадочное давление (P_{sl}) –

это давление, при котором начинают проявляться просадочные свойства грунта.



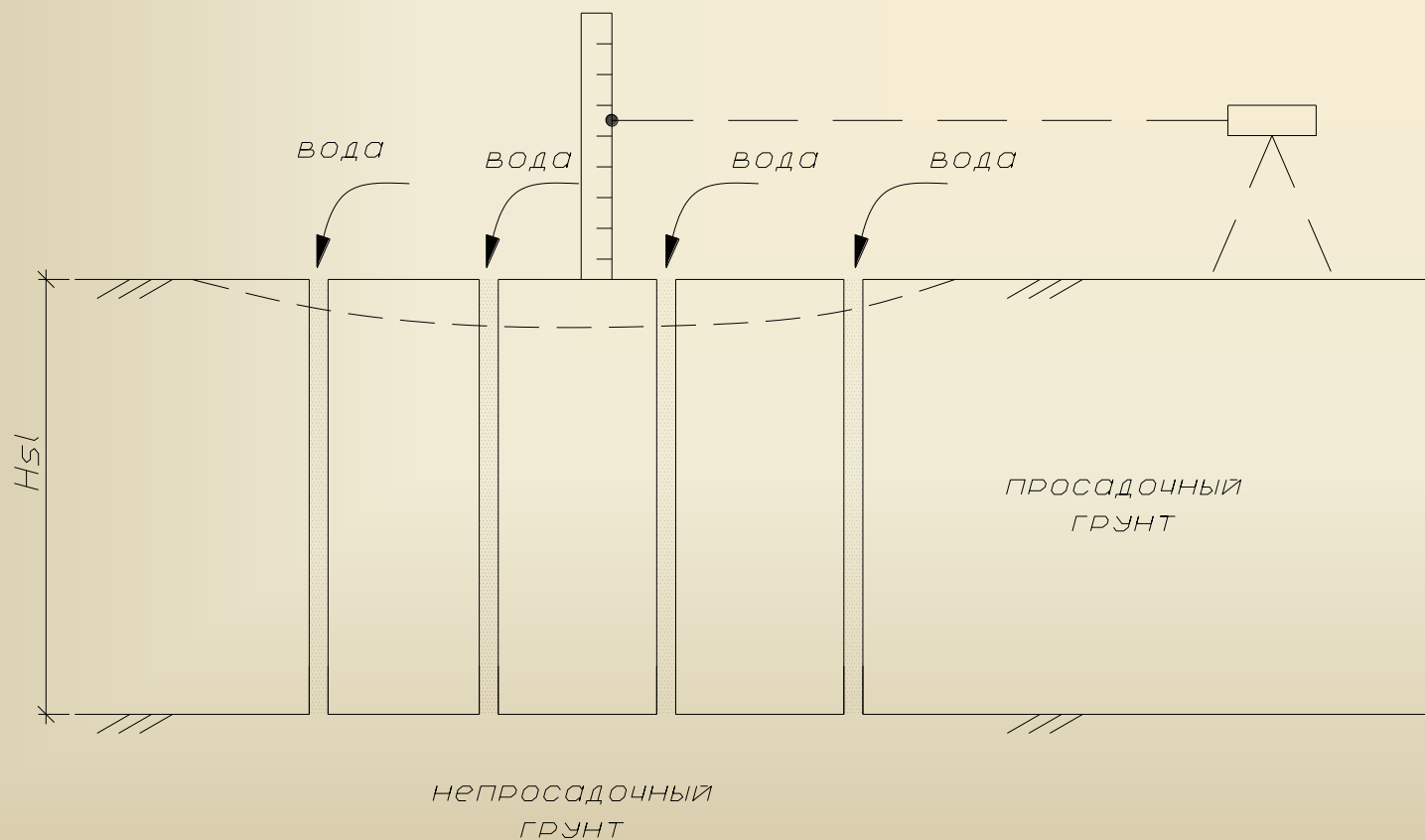
Различают два типа грунтовых условий по просадочности:

а) I тип – просадка от собственного веса грунта ($S_{sl,g}$) не превышает 5 см или отсутствует;

б) II тип – просадка от собственного веса грунта ($S_{sl,g}$) больше 5 см.

Методы определения типа грунтовых условий по просадочности:

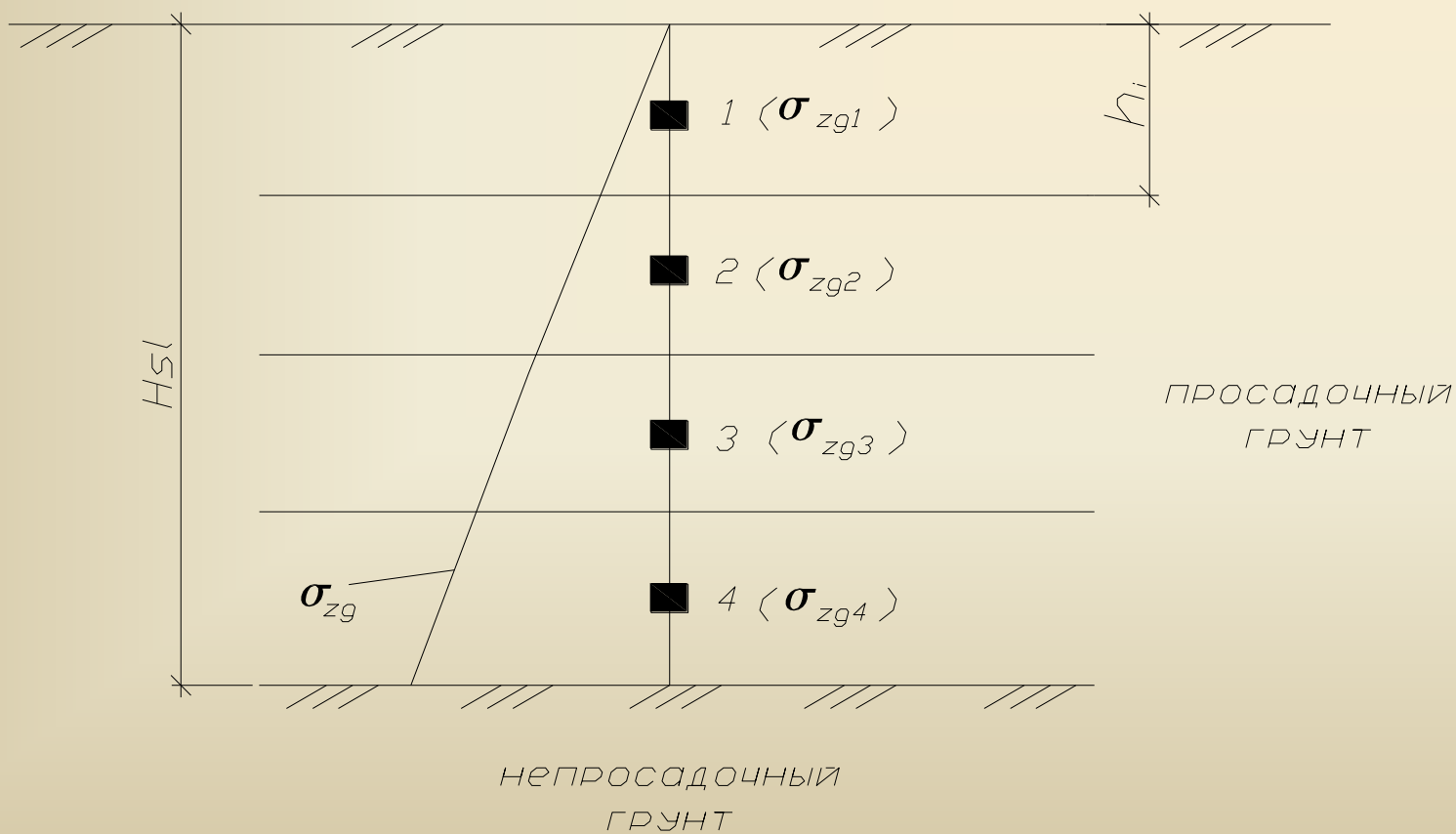
1) полевой метод

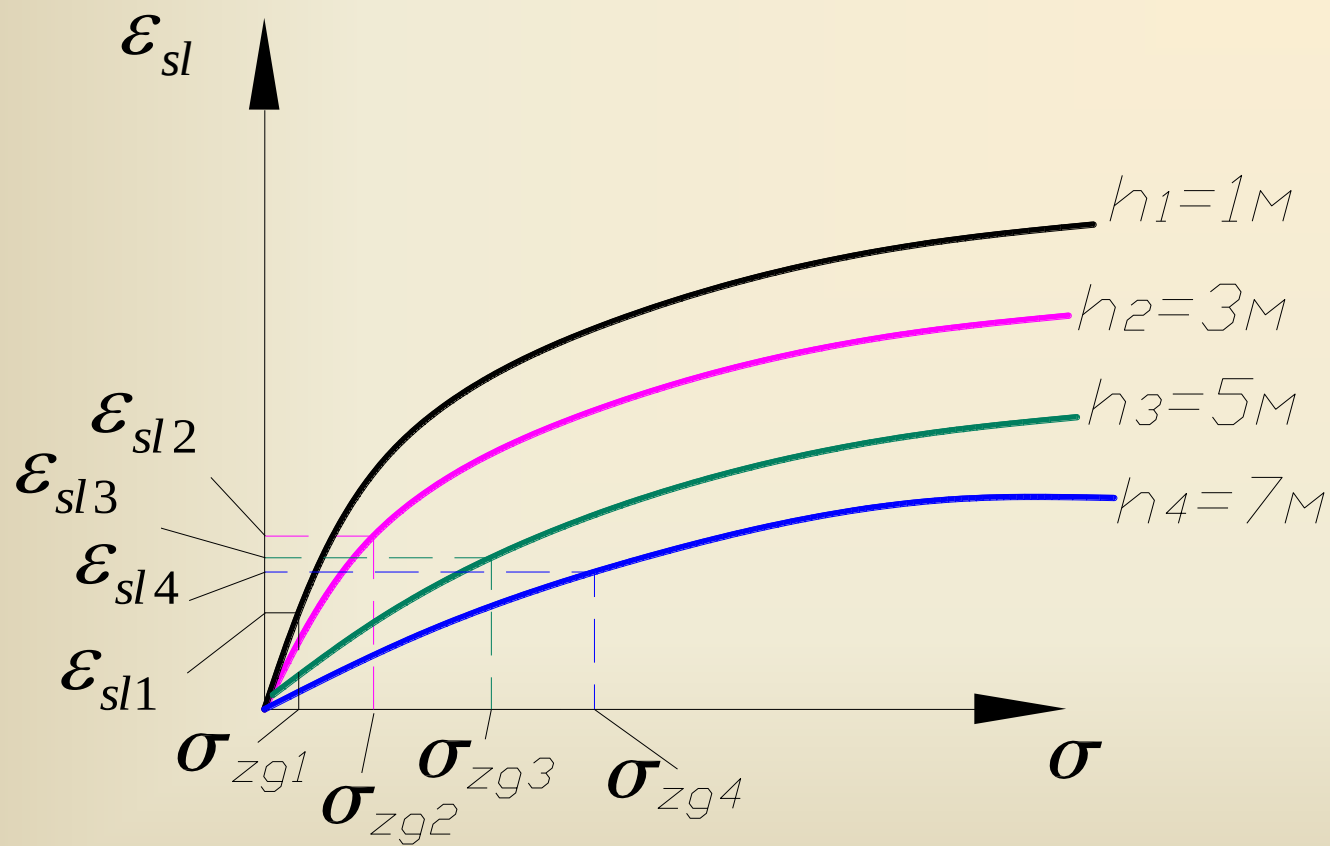


Полевой метод трудоемкий, не всегда есть возможность его применить

2) расчетный метод

$$S_{sl,g} = \sum \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i$$





Проектирование оснований и фундаментов на просадочных грунтах

Расчет ведется по II ПС:

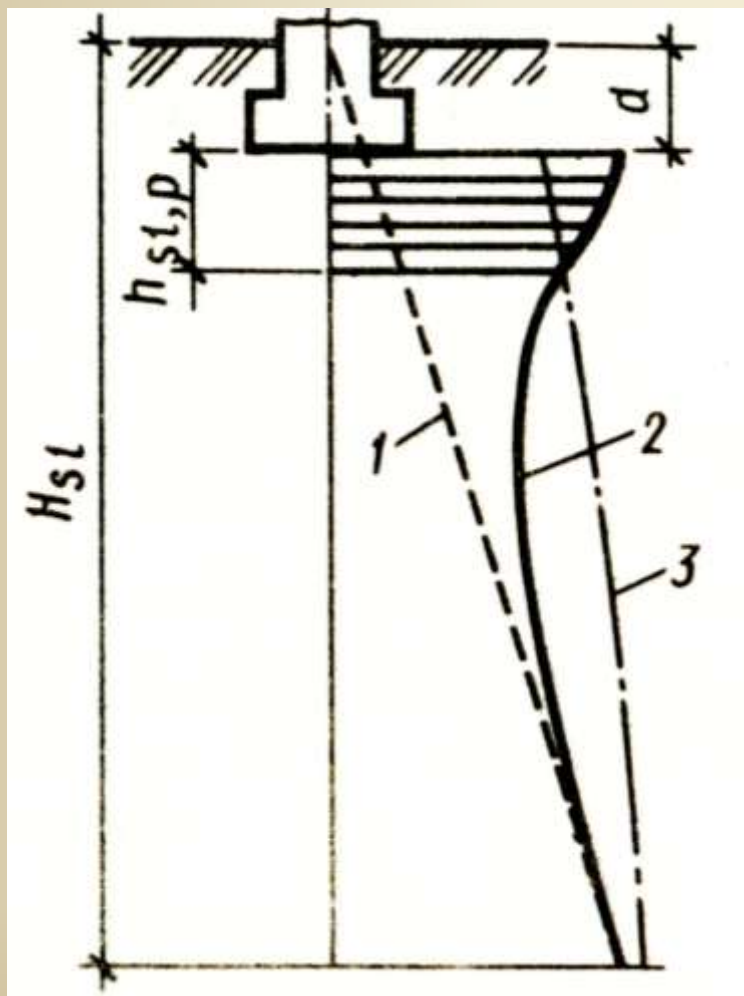
$$P \leq R,$$
$$S + S_{sl} \leq S_u,$$

где S – осадка без учета просадки грунта;

*S_{sl} – просадка грунта от нагрузок на основание и
собственного веса грунта.*

Схемы к расчеты просадок оснований

1) возможна просадка только от внешней нагрузки на основание

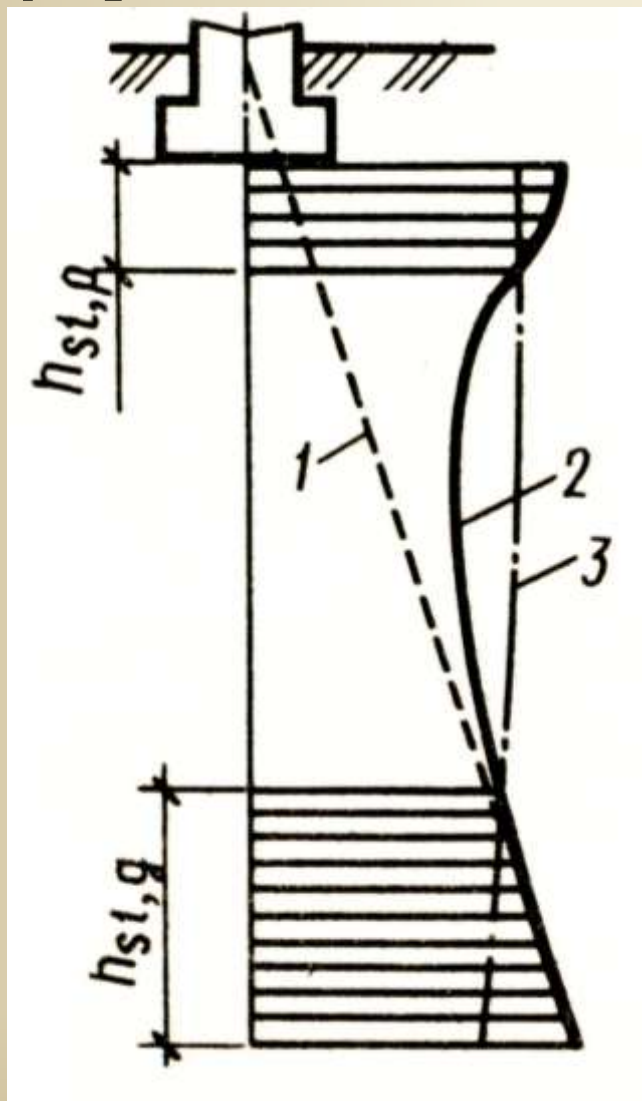


1 – эпюра напряжений от собственного веса грунта (σ_{zg});

2 – эпюра суммарных напряжений ($\sigma_o = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$);

3 – эпюра начального просадочного давления (P_{sl}).

2) возможна просадка от внешней нагрузки на основании и собственного веса грунта (в отдельных слоях разреза)

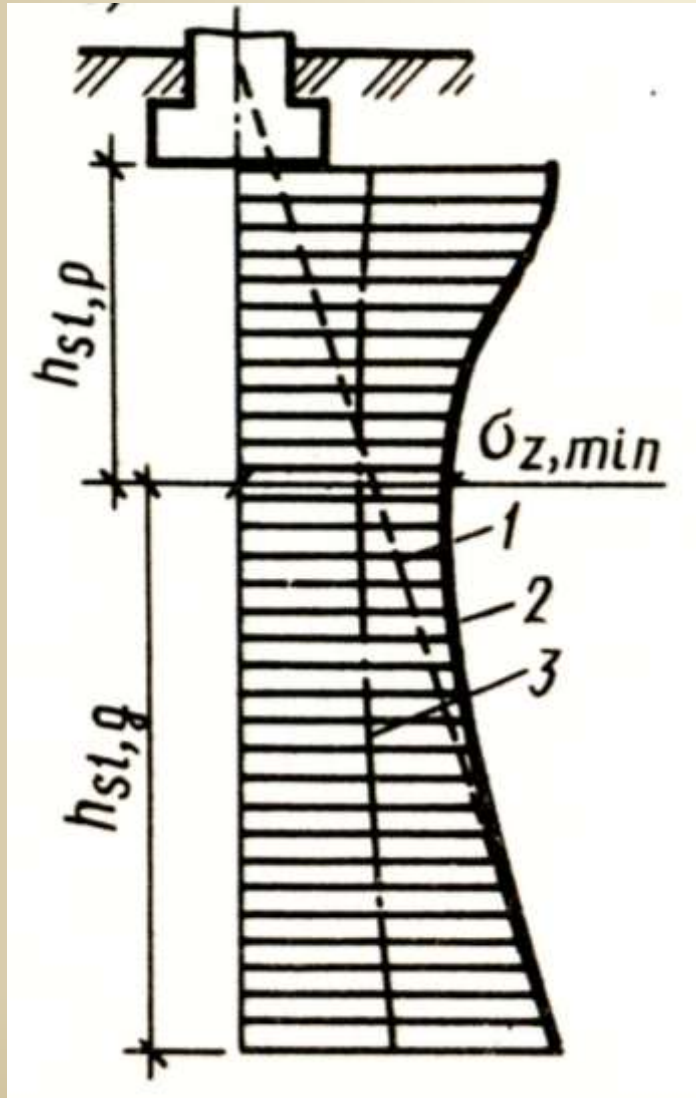


1 – эпюра напряжений от собственного веса грунта (σ_{zg});

2 – эпюра суммарных напряжений ($\sigma_o = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$);

3 – эпюра начального просадочного давления (P_{sl}).

3) возможна просадка от внешней нагрузки на основании и собственного веса грунта (по всей глубине)

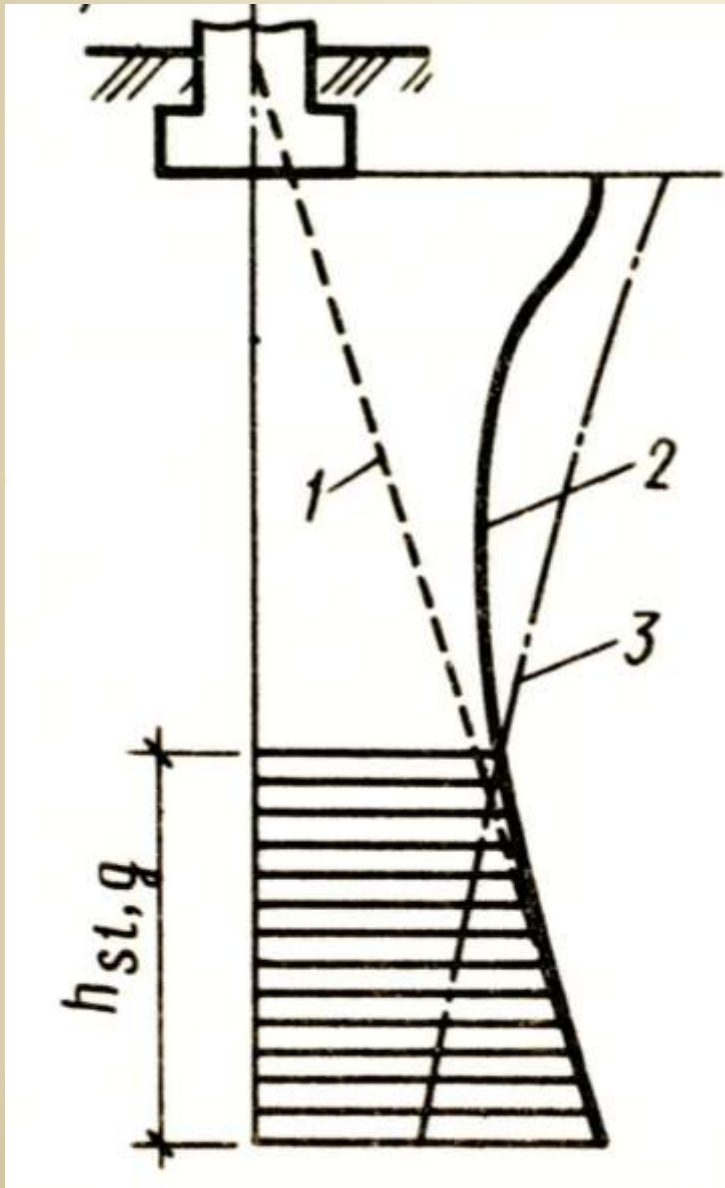


1 – эпюра напряжений от собственного веса грунта (σ_{zg});

2 – эпюра суммарных напряжений ($\sigma_o = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$);

3 – эпюра начального просадочного давления (P_{sl}).

4) возможна просадка собственного веса грунта

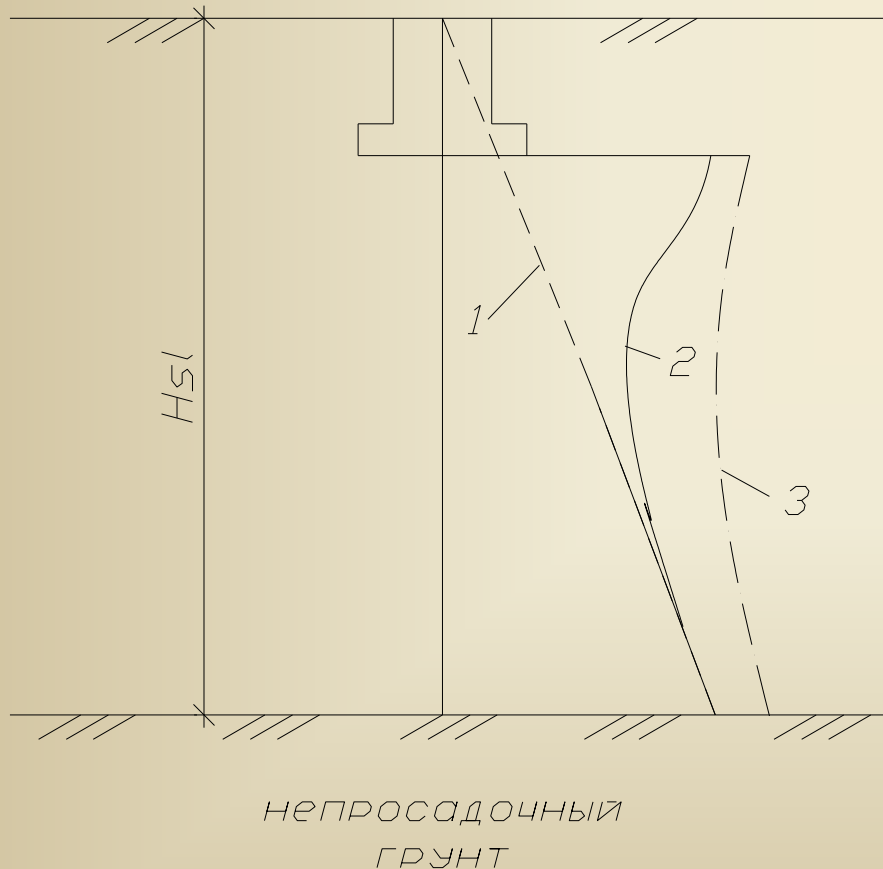


1 – эпюра напряжений от собственного веса грунта (σ_{zg});

2 – эпюра суммарных напряжений ($\sigma_o = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$);

3 – эпюра начального просадочного давления (P_{sl}).

5) просадка невозможна



1 – эпюра напряжений от собственного веса грунта (σ_{zg});

2 – эпюра суммарных напряжений ($\sigma_o = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$);

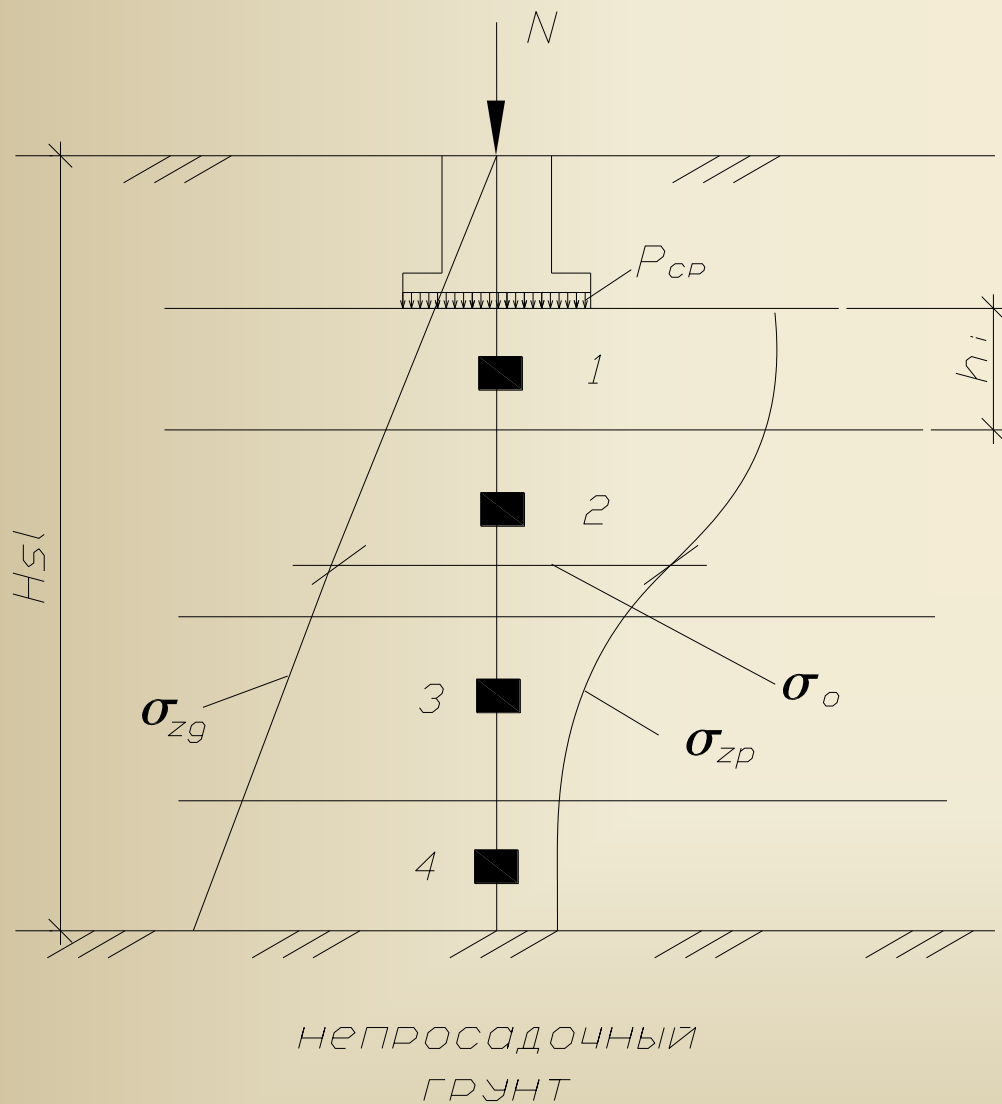
3 – эпюра начального просадочного давления (P_{sl}).

$$S_{sl} = \sum \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl},$$

$$k_{sl} = 0,5 + 1,5 \cdot \frac{P - P_{sl}}{P_0},$$

где k_{sl} — коэффициент;

P_0 — давление, равное 100 кПа.



σ_{zg} – природные давления (напряжения от собственного веса грунта);

σ_{zp} – дополнительные давления (от фундамента).

$$\sigma_o = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$$

Мероприятия
по недопущению возможности замачивания
грунтового основания в процессе
строительства и эксплуатации здания

1. Планировка от здания, сохранение дерна или выращивание травяного покрова на газонах.

2. Устройство надежных отмосток.

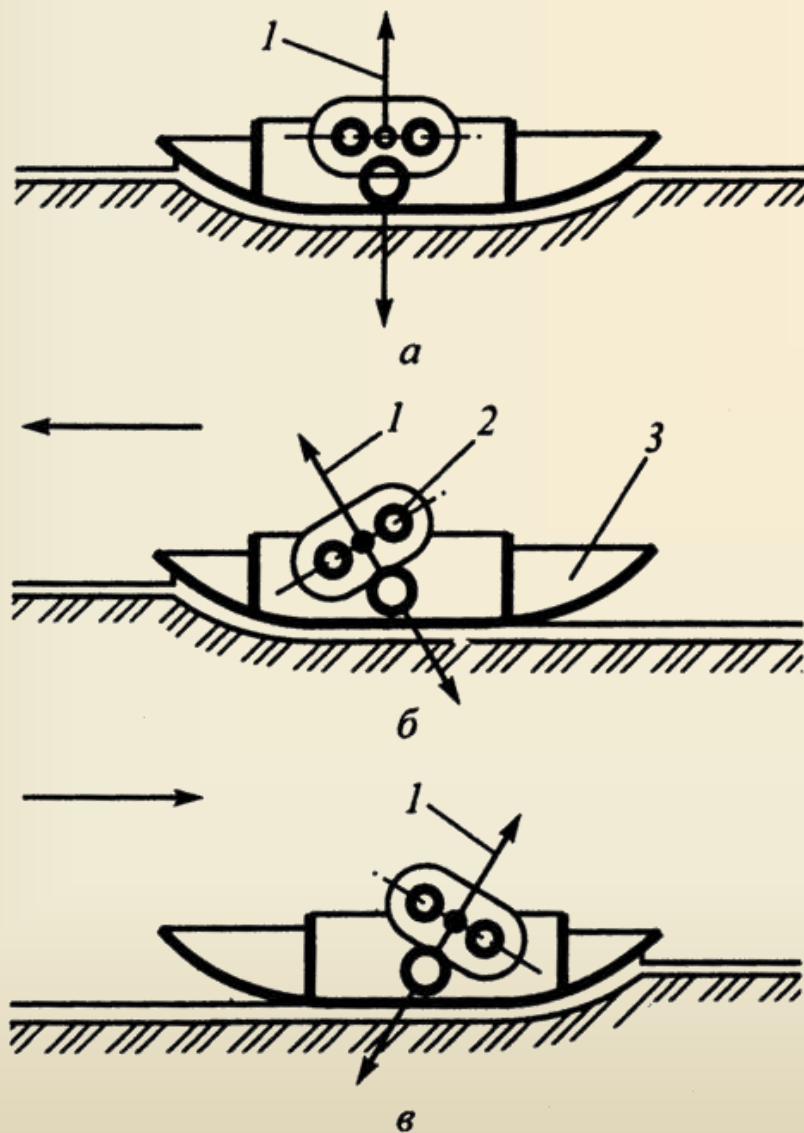
3. Устройство безопасных вводов коммуникаций.

4. Устройство нагорных канав, водоотводов, дренажа.

Мероприятия по устранению просадочных свойств грунта

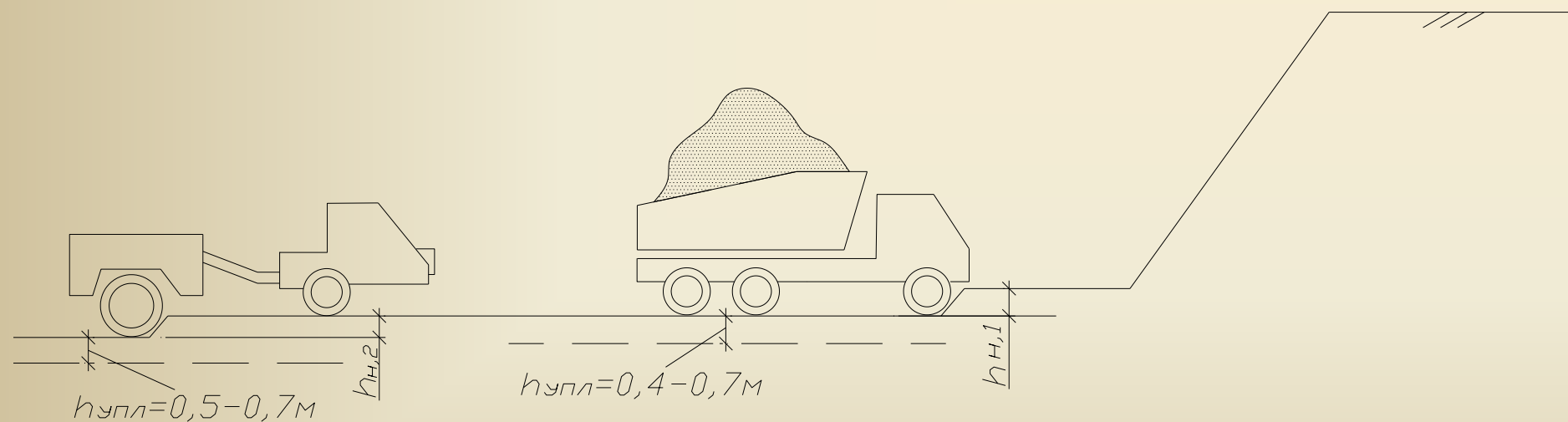
*1. Уплотнение площадочными вибраторами
(виброплитами) и ручными трамбовками.*

*Глубина уплотнения от 0,2 до 0,8 м в зависимости
от энергии механизма и вида грунта (применимы
ударные и вибрационно-ударные механизмы, так как
грунт связный).*

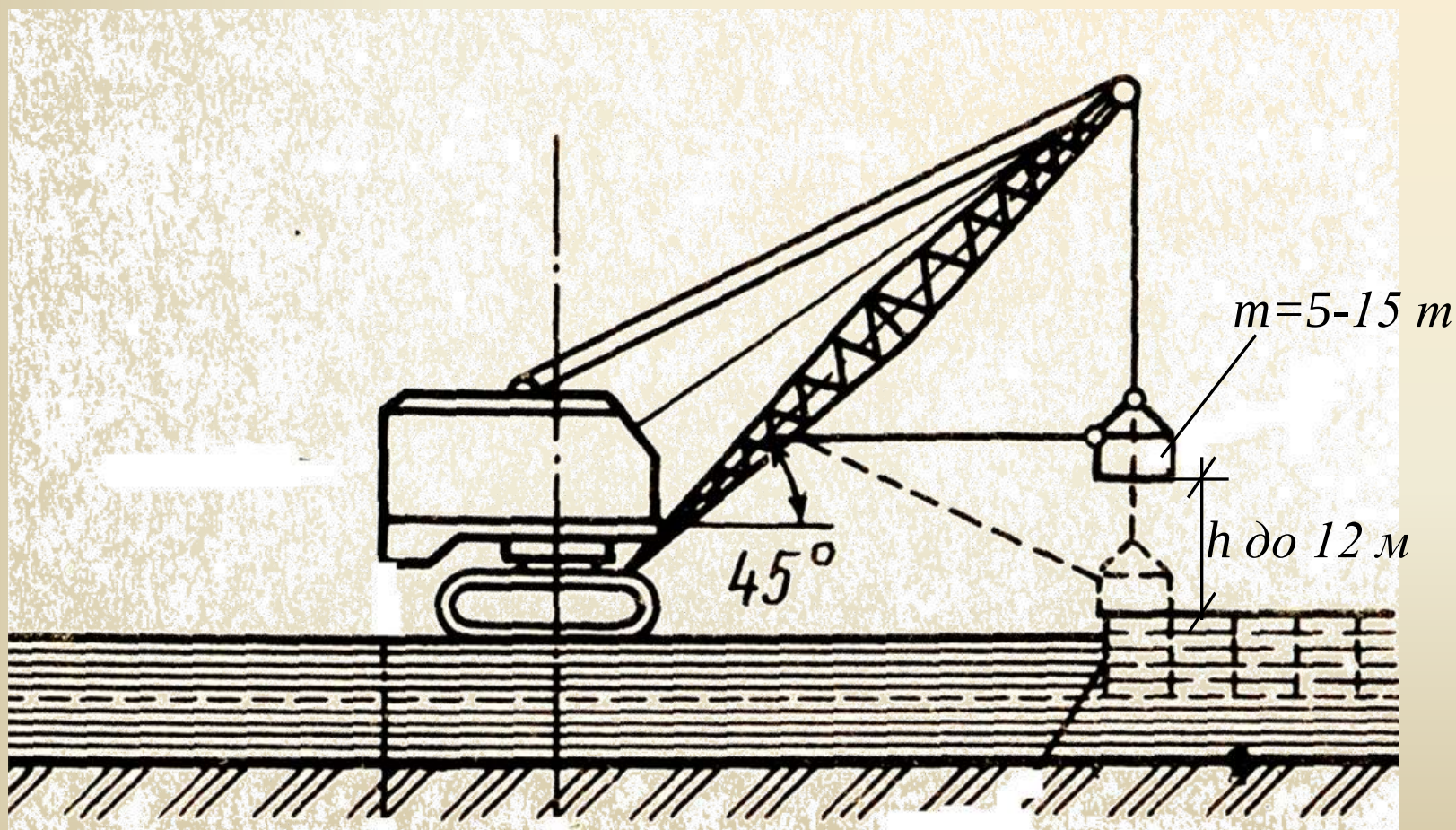


a — вибрирование на месте; *б* — движение назад; *в* — движение вперед; *1* — возмущающая сила; *2* — вибратор; *3* — плита

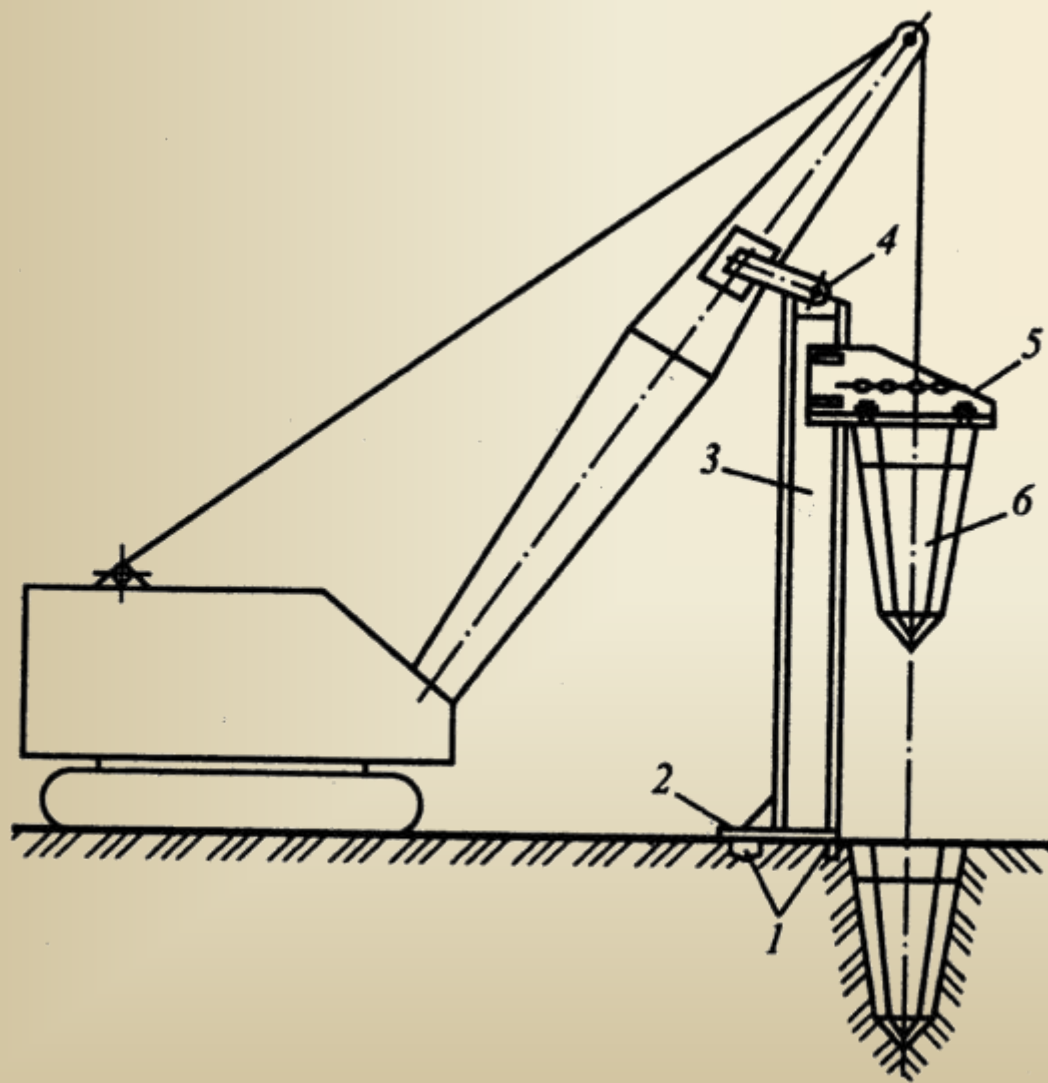
2. Уплотнение катками и грузоуплотняющими машинами (применим при мощности просадочного слоя до 0,7 м).



3. Уплотнение тяжёлыми трамбовками (мощность уплотняемого слоя 1,5 ÷ 8,0 м).



4. Вытрамбовывание котлована или траншей под фундаменты (вытрамбованные котлованы).



1 – опорная плита;

2 – направляющая стойка;

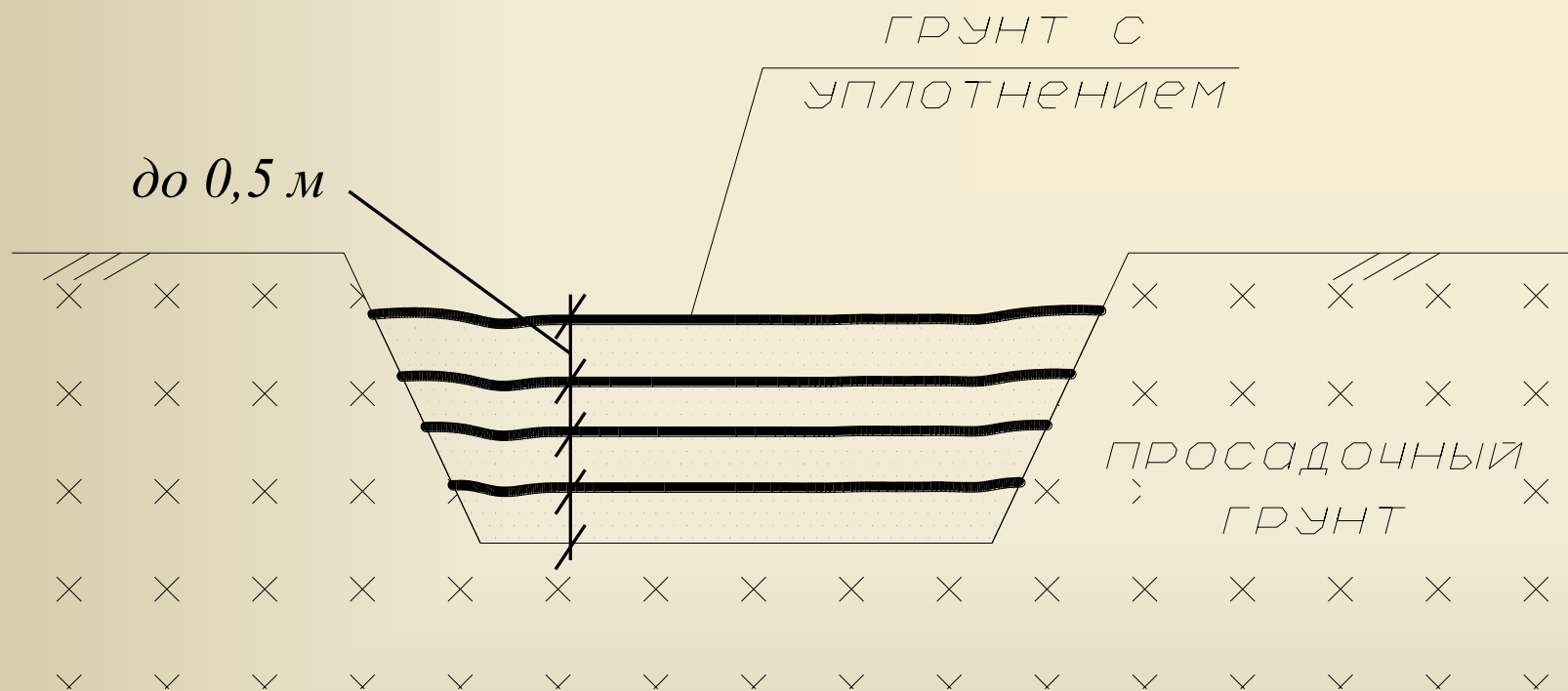
3 – шарнир;

4 – сбросная каретка;

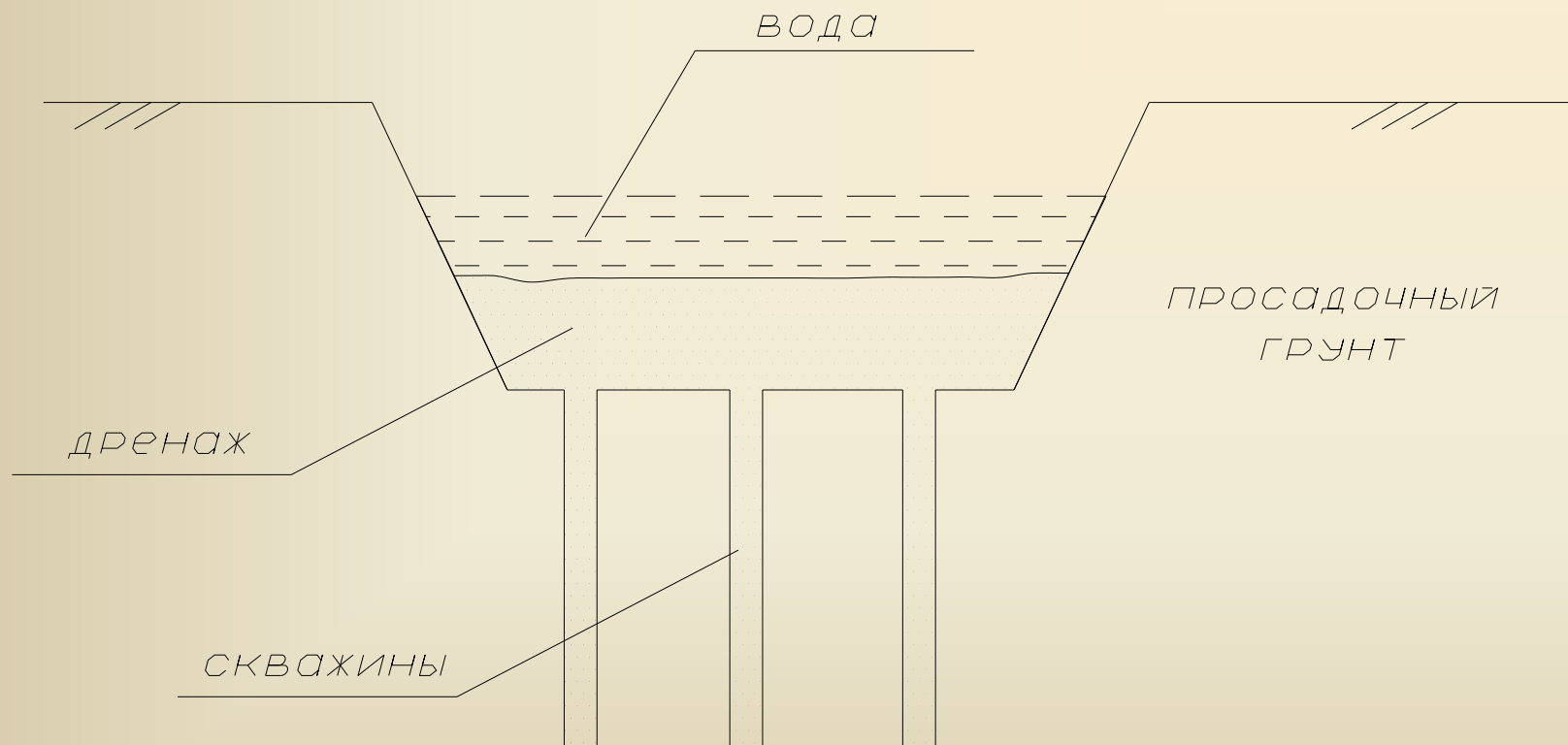
5 – трамбовка;

6 – зубья.

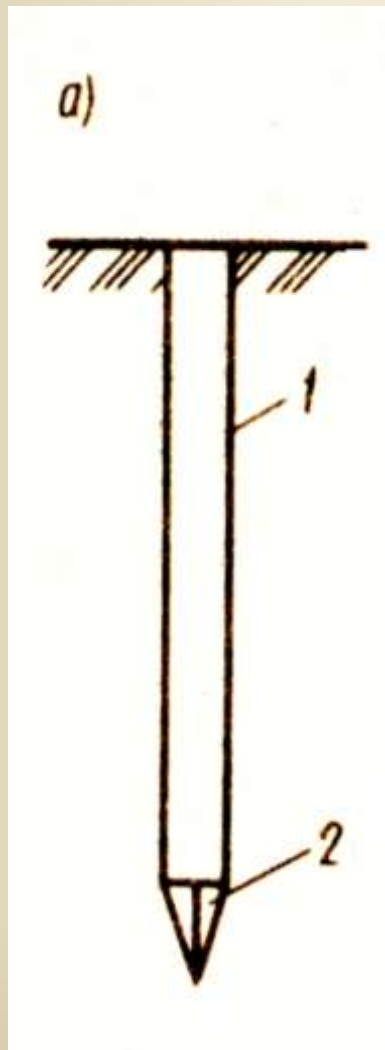
5. Замена просадочного грунта.



6. Замачивание грунта в котловане.

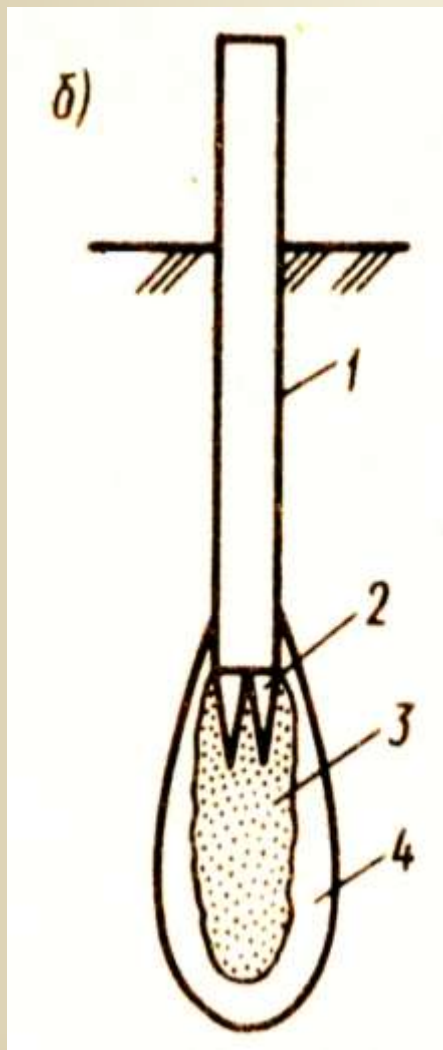


7. Глубинное уплотнение грунта (до 30 метров).



1 – обсадная труба;

***2 – самораскрывающийся
наконечник.***



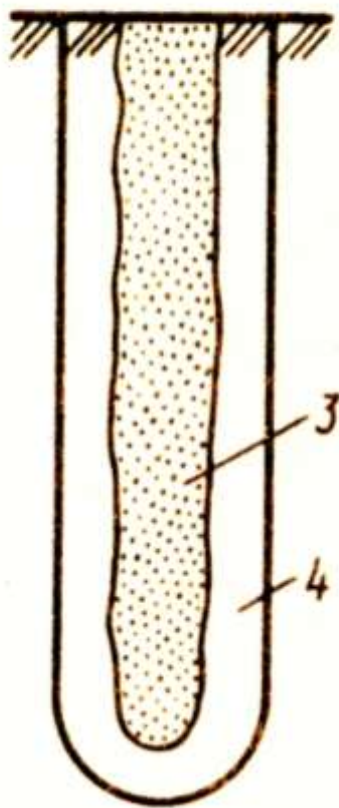
1 – обсадная труба;

*2 – самораскрывающийся
наконечник;*

3 – песчаная свая;

4 – зонная уплотнения.

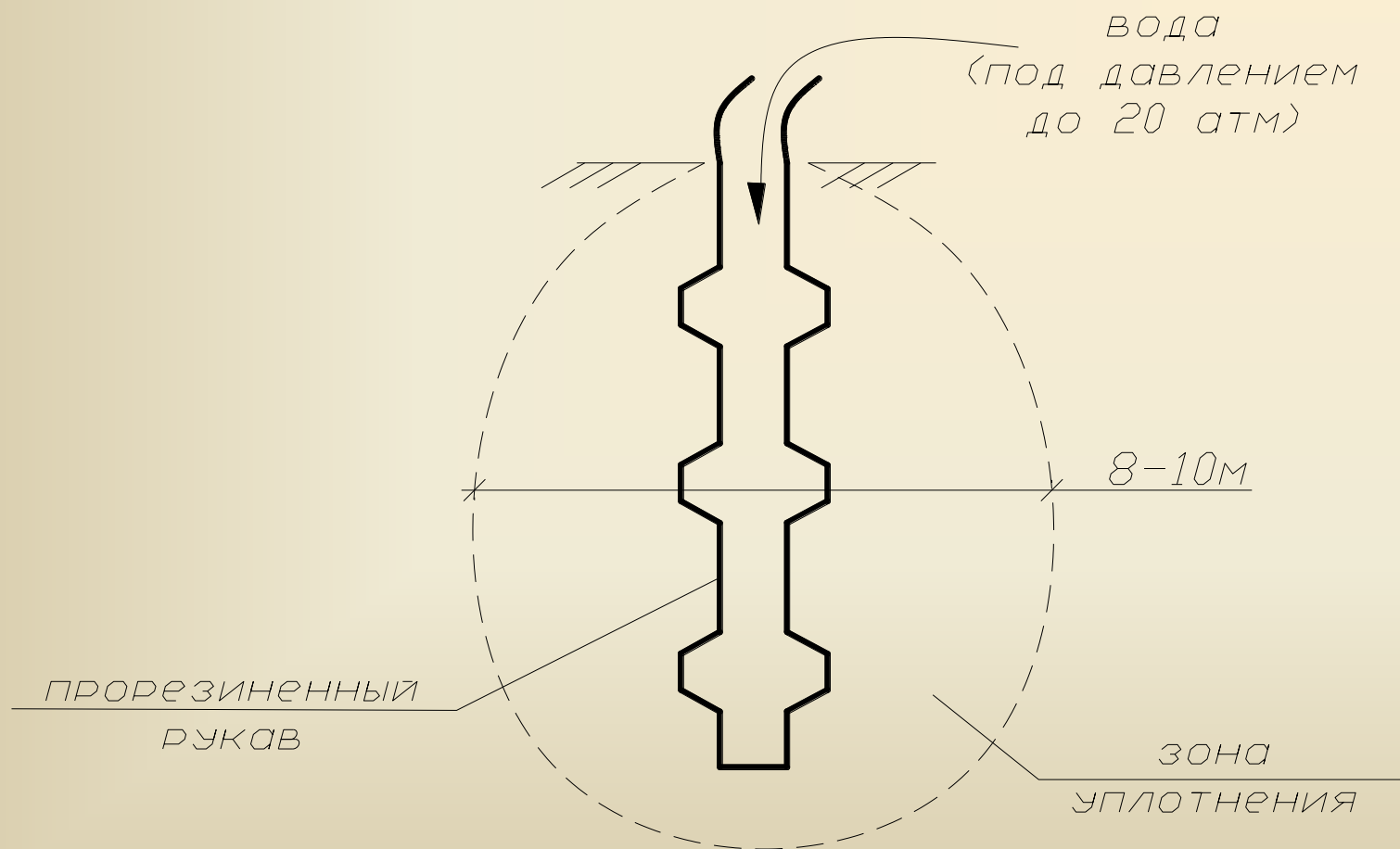
8)



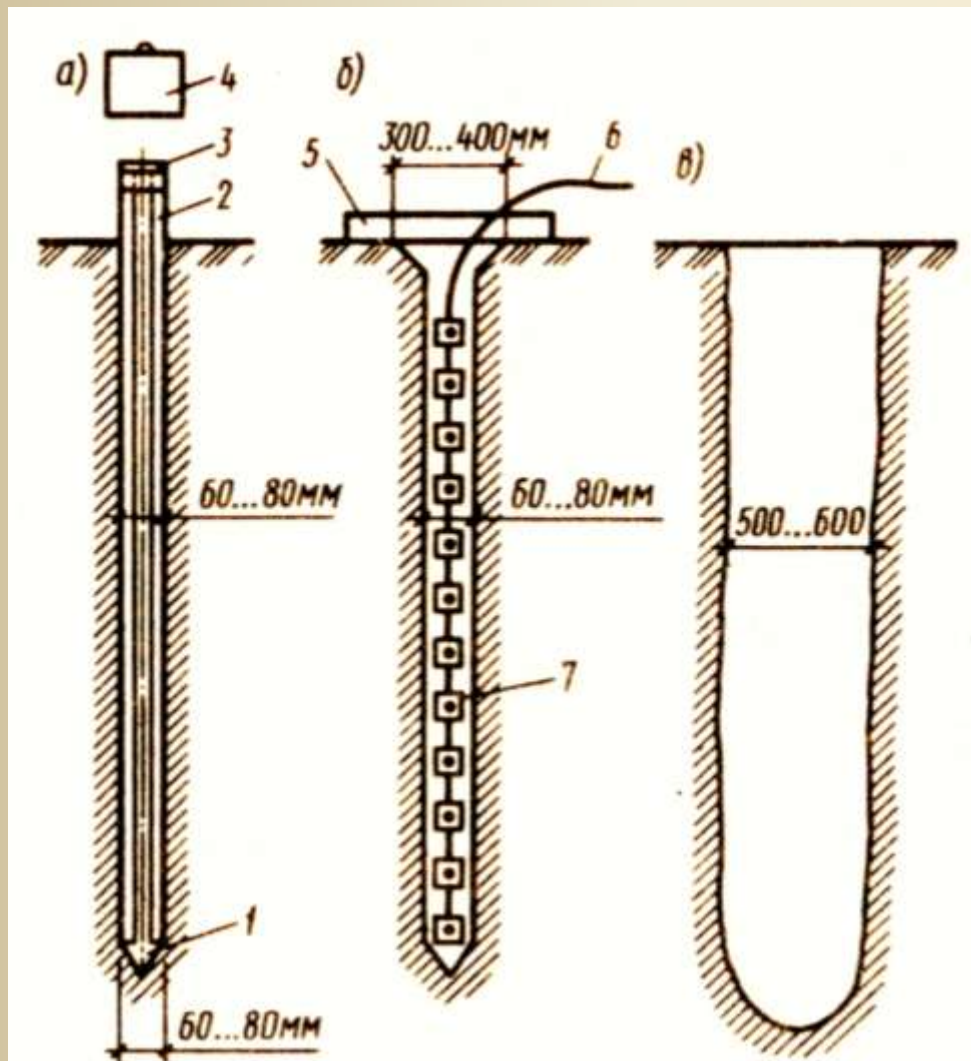
3 – песчаная свая;

4 – зонная уплотнения.

8. Глубинное уплотнение грунта давлением воды.

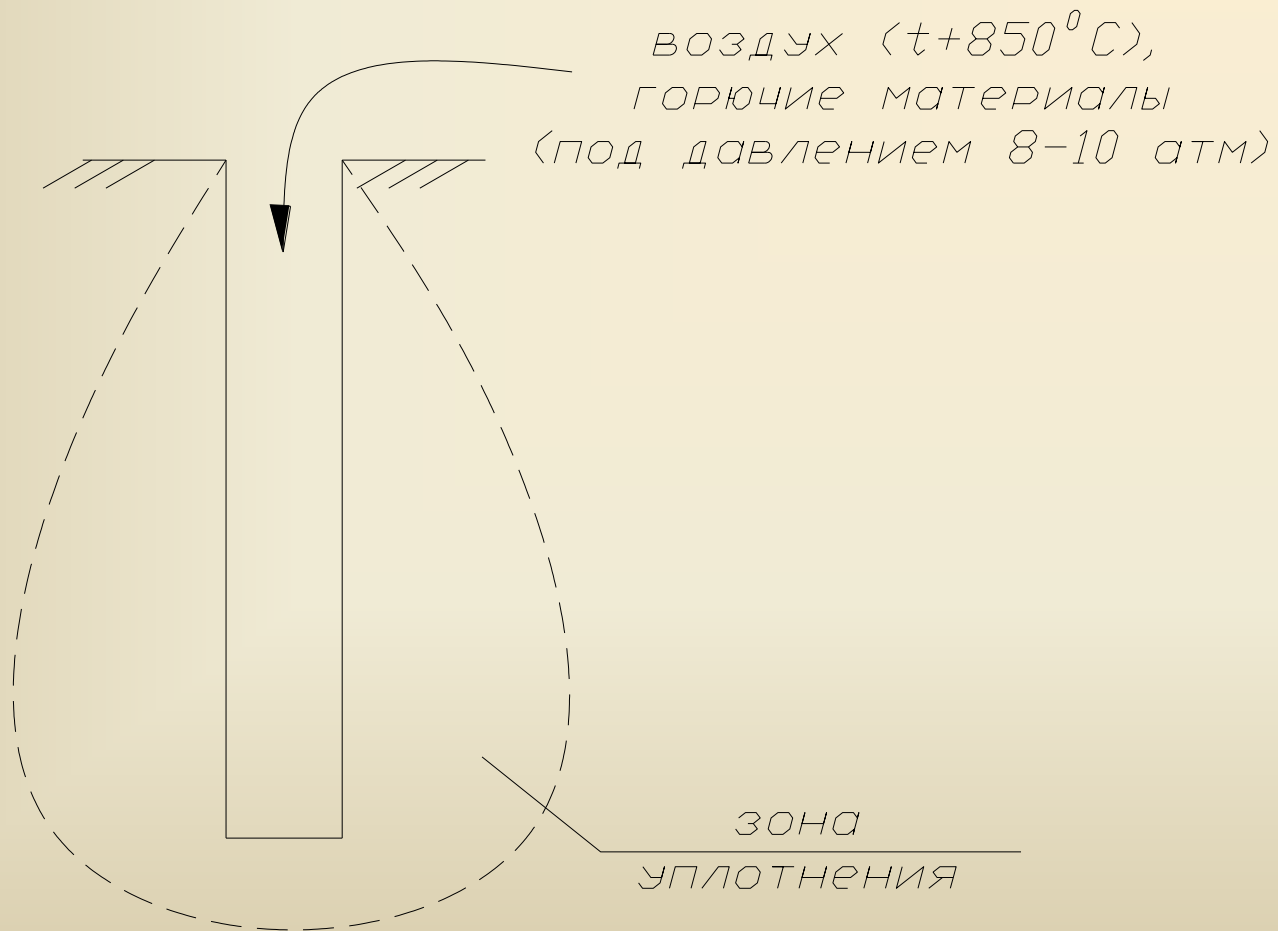


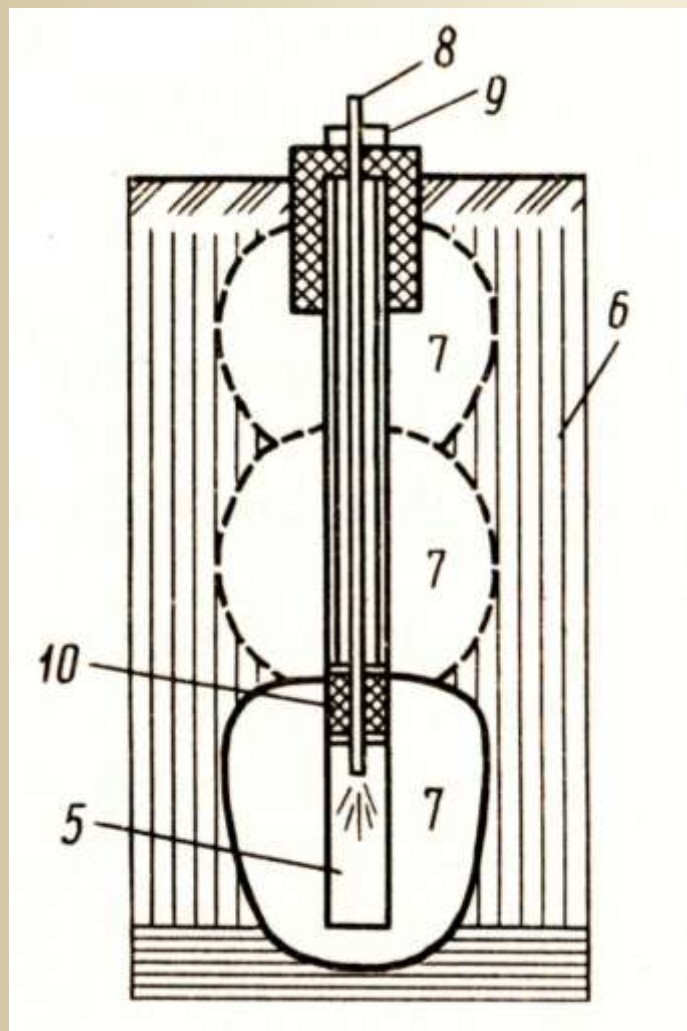
9. Уплотнение грунта взрывом.



- 1 – башмак;
- 2 – буровая штанга;
- 3 – наголовник;
- 4 – молот;
- 5 – деревянный брусок для подвески заряда;
- 6 – детонирующий шнур;
- 7 – заряд ВВ.

10. Термическое укрепление грунта





5 — скважина;

6 — просадочный лессовый
грунт;

7 — зона термического закреп-
ления;

8 — гибкий шланг;

9 — натяжное устройство;

10 — жароизолирующий мате-
риал.

11. Искусственное закрепление грунта:

– силикатизация грунта

(нагнетание силиката натрия);

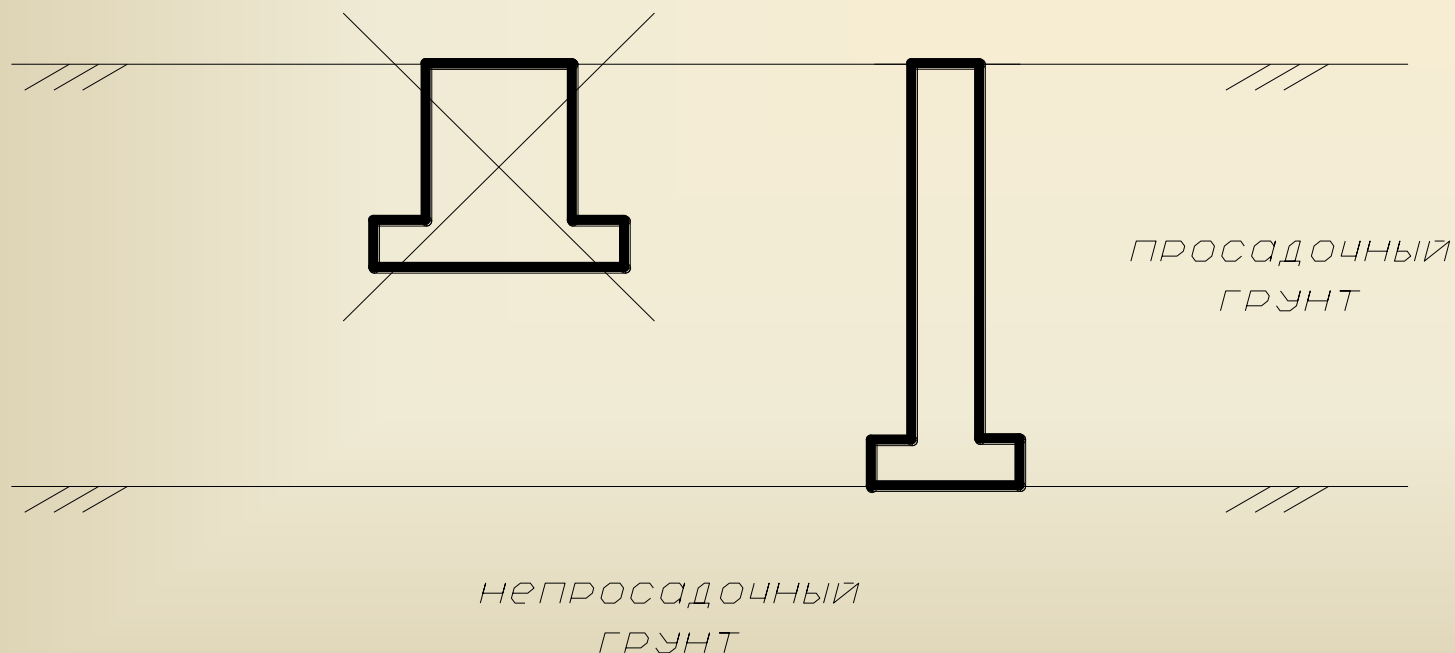
– битумизация

(нагнетание битума);

– цементация

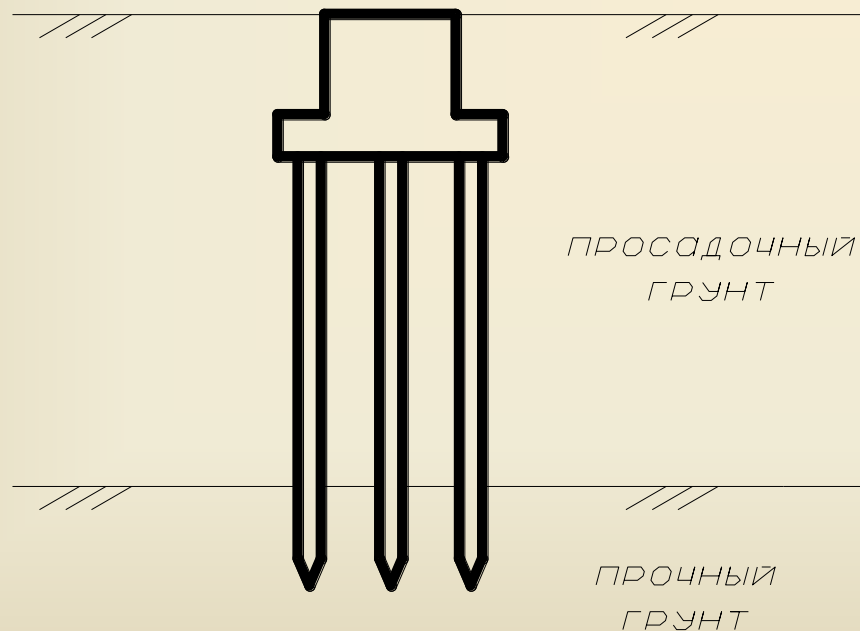
(нагнетание цементно-песчаной смеси).

12. Изменение глубины заложения подошвы фундамента (конструктивный метод).

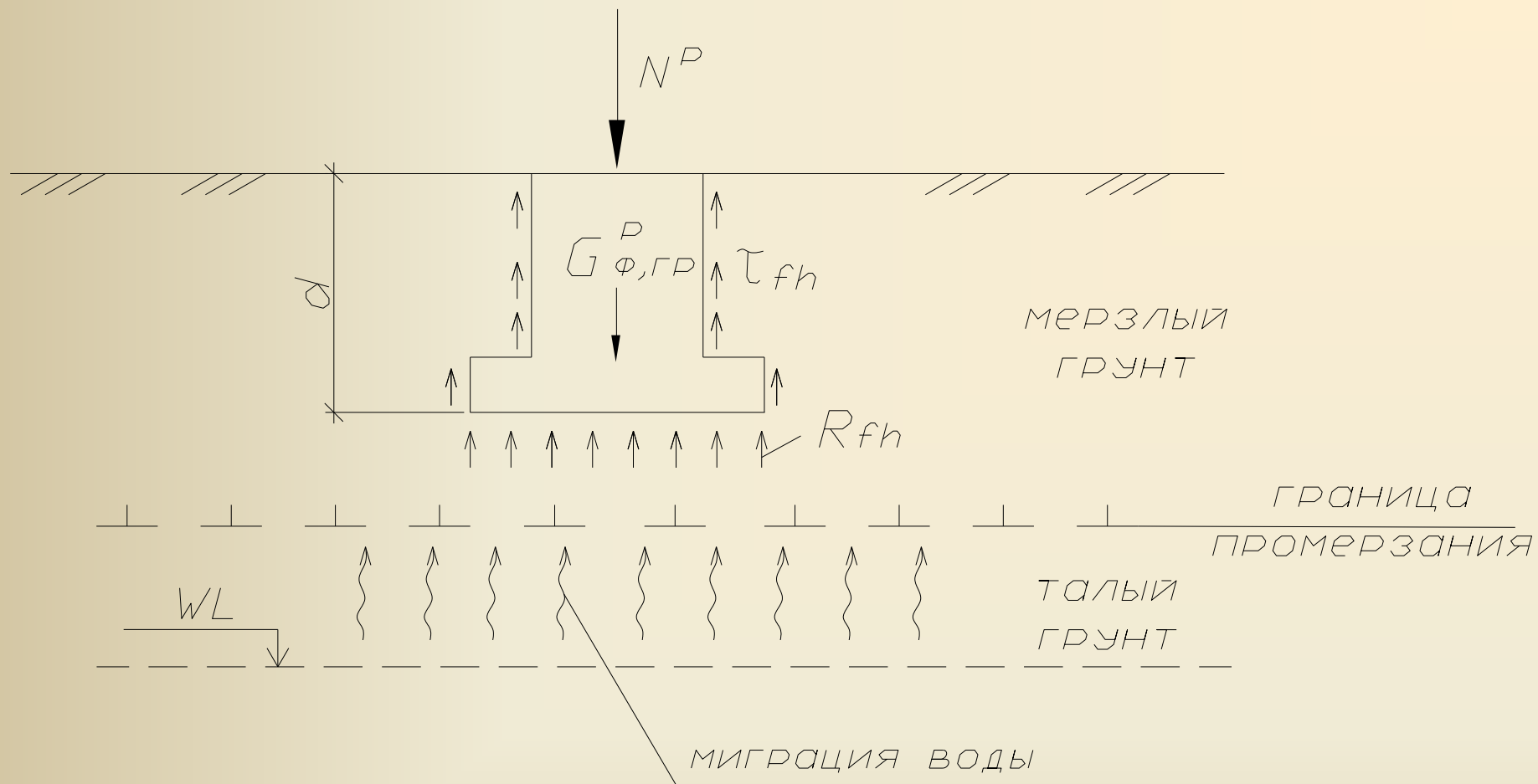


13. Применение свайных фундаментов

(прорезка просадочной толщи).



**Пучинистые при промерзании грунты,
проверка фундамента
на действие сил морозного пучения**



R_{fh} – лобовые силы морозного пучения (80 %);

τ_{fh} – касательные силы морозного пучения (20 %).

При смерзании грунта с телом фундамента и увеличением объема воды при замерзании по боковой поверхности фундамента и под его подошвой реализуются силы морозного пучения, которые могут привести фундамент в неустойчивое положение.

Различают две глубины сезонного промерзания грунтов:

- нормативная глубина сезонного промерзания грунтов (d_{fn});

- расчетная глубина сезонного промерзания грунтов (d_f).

Нормативную глубину сезонного промерзания грунтов (d_{fn}) определяют:

а) по данным многолетних натурных наблюдений на специально отведенных площадках в различных грунтовых условиях (составляются карты промерзания);

б) теплотехническим расчетом с использованием сведений о температуре воздуха и характеристик теплотехнических свойств грунта;

в) по формуле СП 22.13330.2011 «Основания и фундаменты»:

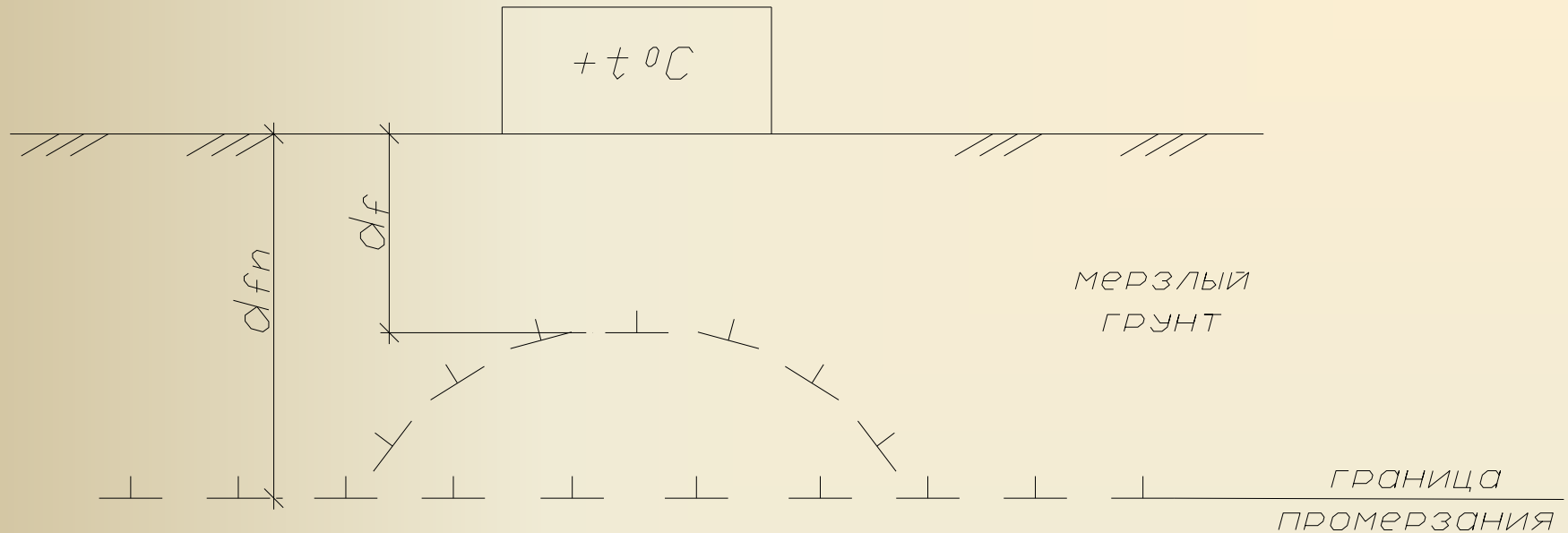
$$d_{fn} = d_0 \cdot \sqrt{M_t},$$

d_0 – коэффициент, зависящий от вида грунта

$(0,23 \div 0,34);$

M_t – сумма абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за год.

Расчетная глубина сезонного промерзания грунта (d_f)



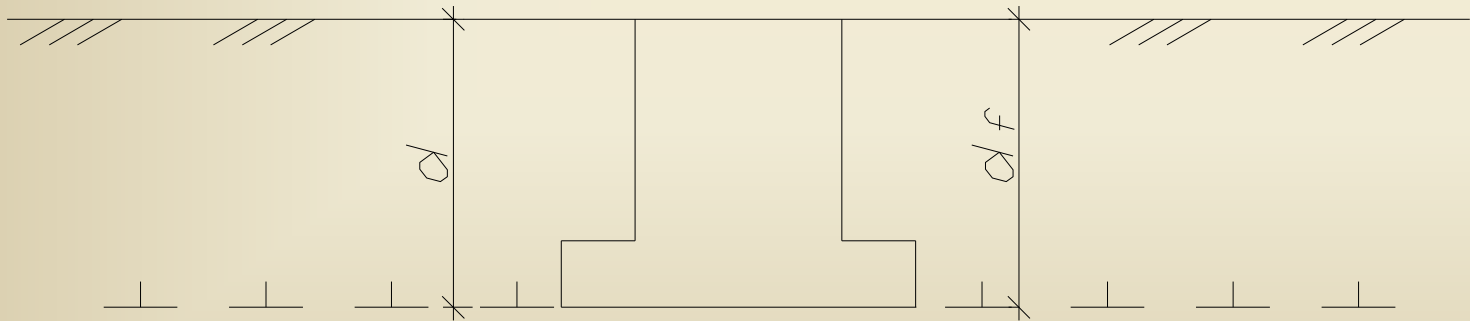
$$d_f = k_h \cdot d_{fn},$$

k_h – коэффициент температурного влияния здания

(зависит от температуры внутри здания и конструкции пола)

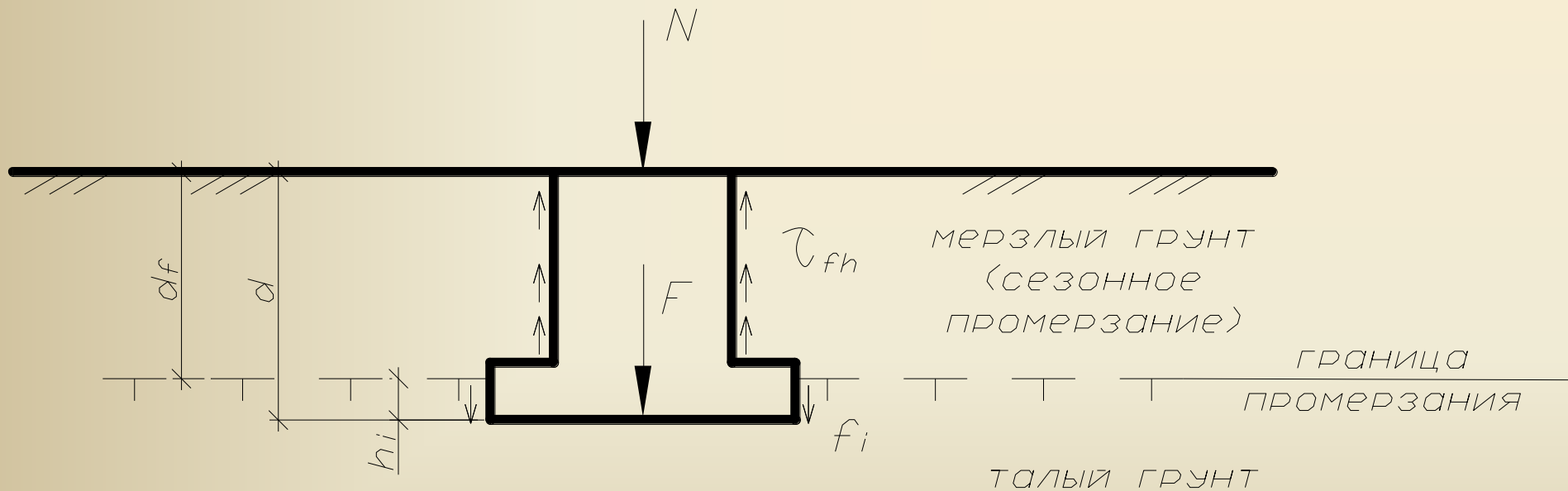
Если грунт обладает пучинистыми свойствами, то глубина заложения подошвы фундамента должна быть не менее расчетной глубины промерзания грунта.

$$d \geq d_f$$



Если грунт не обладает пучинистыми свойствами, то глубина заложения подошвы фундамента не зависит от глубины промерзания грунта.

Проверка устойчивости на действие сил морозного пучения



$$\tau_{fh} \cdot A_{fh} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_r,$$

F_r – расчетное значение силы, удерживающие фундамент от выпучивания:

$$F_r = u \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot h_i,$$

где f_i – расчетное сопротивление сил талого грунта по поверхности фундамента.

При невыполнении условия

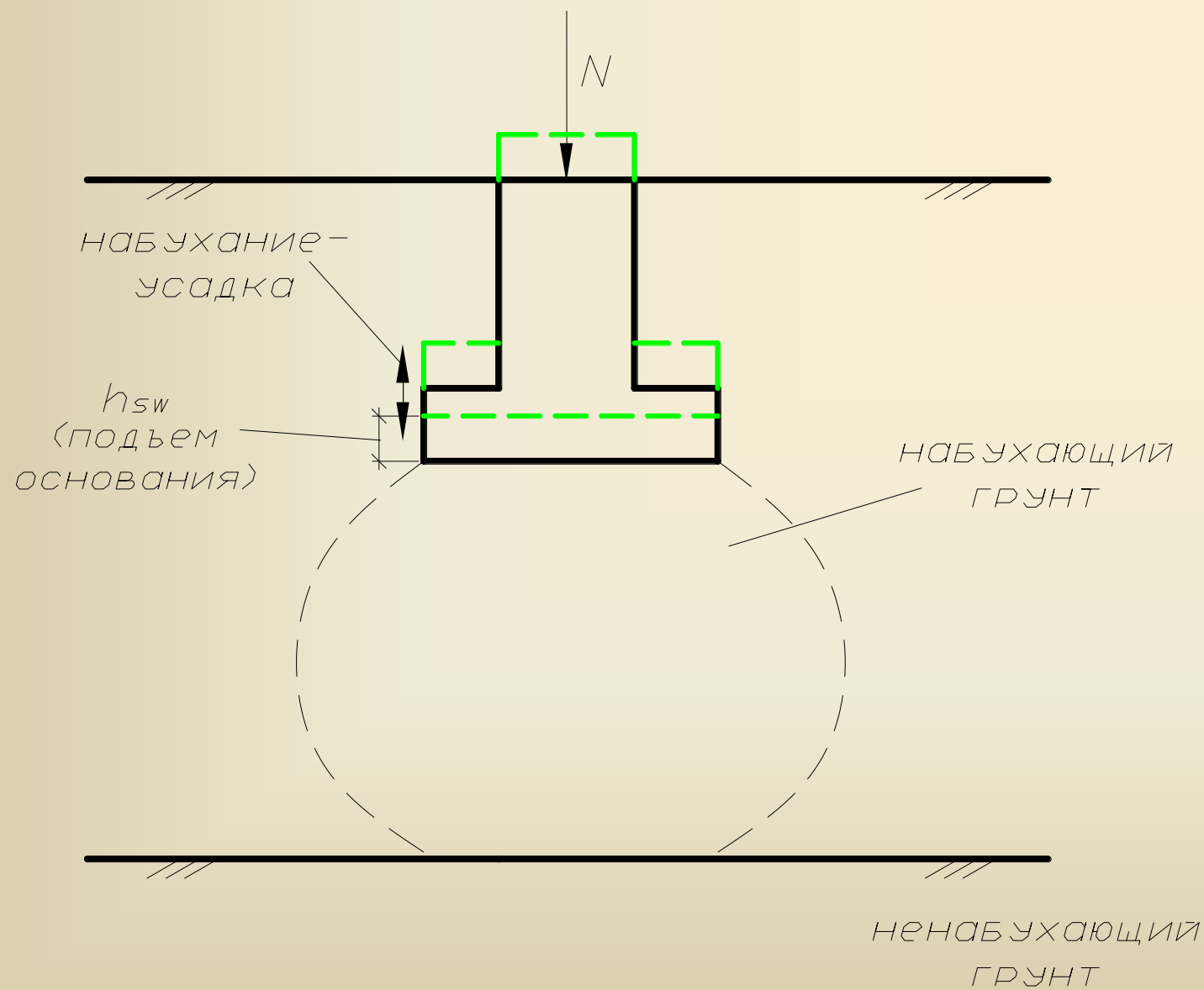
$$\tau_{fh} \cdot A_{fh} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_r$$

необходимо увеличить глубину заложения фундамента (увеличить F_r), либо применить мероприятия по снижению сил морозного пучения по боковой поверхности фундамента.

Понятие
о возведении фундаментов
на набухающих грунтах

Набухающие грунты – глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции увеличивающиеся в объеме при замачивании водой.

Набухание сопровождается поднятием поверхности грунта, что приводит к неравномерным деформациям фундамента и повреждениям (разрушение) здания. При уменьшении влажности грунты дают усадку, уменьшая свой объем, что приводит к обратным деформациям основания.

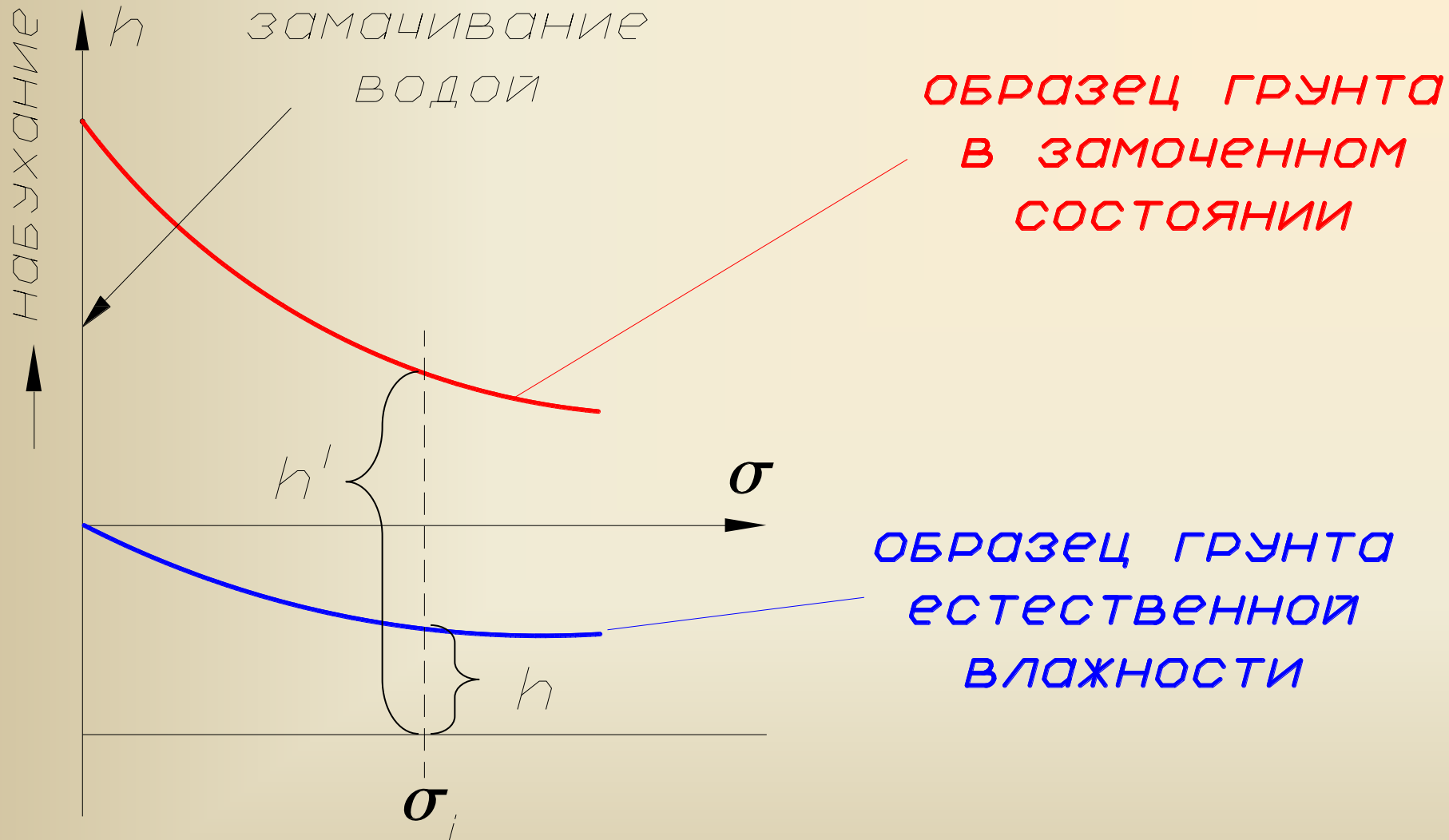


Степень набухания грунта оценивается показателем «Относительное набухание»:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h' - h}{h},$$

где h – высота образца природного (естественного) состояния;

h' – тоже после набухания.



Грунты относятся к ненабухающим, если

$$\varepsilon_{sw} < 0,04 \text{ (при } \sigma_i = 0);$$

если $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$ – набухающие

(слабо-, средне-, сильнонабухающие).

Подъем (отрицательная осадка) основания набухающего грунта при его замачивании определяется

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

где $\varepsilon_{sw,i}$ – относительное набухание грунта i -го слоя при суммарном напряжении от собственного веса грунта, дополнительного давления под подошвой фундамента и давления (сопротивления) незамоченного грунта;

h_i – толщина i -го слоя грунта;

$k_{sw,i}$ – коэффициент набухания (зависит от суммарного напряжения в грунте, от 0,6 до 0,8).

Мероприятия по недопущению (ликвидации) сил набухания в основании:

– недопущение замачивания грунта в основании фундамента;

– улучшение строительных свойств грунтов (предварительное замачивание, грунтовые подушки - замена части или всего набухающего грунта на ненабухающий, устройство компенсирующей подушки);

– прорезка набухающих грунтов сваями (увеличением глубины заложения подошвы фундамента);

– конструктивные мероприятия (пояса жесткости, разрезка здания осадочными швами, шарнирное соединение конструкций).

***Фундаменты
на насыпных грунтах***

Насыпные грунты относятся к классу техногенных, образовавшихся в результате деятельности человека и существенно отличающихся от естественных отложений по составу, сложению и физико - механическим свойствам.



Особенности насыпных грунтов:

- неоднородны по составу (в толще могут встречаться большие пустоты или твердые включения);*
- отдельные области невыдержанны по толщине и простиранию;*
- обладают неравномерной сжимаемостью в пределах небольших участков.*

Различаются на 3 подгруппы:

1. Планомерно возведенные насыпи – устраиваются из однородных материалов (отсыпка, гидронамыв и т.п.) по специальному проекту. Как правило - однородный состав, сравнительно высокая несущая способность, равномерная сжимаемость.

2. Отвалы грунтов и отходы промышленного производства – устраиваются из отдельных видов грунта при устройстве котлованов, выемок, планировке территорий или отсыпке промышленных отходов (шлак, зола). Уплотнение грунтов в таких отвалах не производится, поэтому при относительной однородности состава сжимаемость существенно различается по глубине и простиранию.

3. Свалки – результат произвольного сбрасывания грунтов, отходов производства, часто смешанные с бытовыми отходами. В свалках может содержаться большой объем органических остатков. Состав, сложение и сжимаемость очень сильно изменяются даже на небольшом расстоянии.

Самоуплотнение грунтов

под действием собственного веса (природное давление)

<i>1. Планомерно возведенные насы- пи:</i>	
<i>• из песчаных грунтов</i>	<i>0,5 – 2 года</i>
<i>• из глинистых грунтов</i>	<i>2 – 5 лет</i>

2. Отвалы грунтов и отходы промышленного производства:

- ***из песчаных грунтов***

2 – 5 лет

- ***из глинистых грунтов***

10 – 15 лет

- ***из шлаков***

2 – 5 лет

- ***из золы***

5 – 10 лет

3. Свалка грунтов и отходов производства:

- из песчаных грунтов, шлаков***
- из глинистых грунтов***

5 – 10 лет

10 – 30 лет

Расчет оснований насыпных грунтов выполняется по двум группам предельных состояний.

По I группе ПС из условия

$$F + F_{fn} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} F_u,$$

где F – расчетная нагрузка на основание;

F_{fn} – дополнительная расчетная нагрузка на основание (за счет нависания оседающего грунта от собственного веса в неслежавшихся грунтах);

F_u – сила предельного сопротивления основания
(для свайных фундаментов – несущая способность сваи);

γ_c, γ_n – коэффициент условий работы и коэффициент надежности, соответственно.

По II группе ПС из условия

$$S_f \leq S_u,$$

*где S_f – полная осадка фундамента на насыпном
грунте:*

$$S_f = S + S_{f1} + S_{f2} + S_{f3} + S_{f4},$$

S – осадка от давления, передаваемого фундаментом на основание (метод послойного суммирования);

S_{f1} – осадка основания за счет уплотнения грунта под действием его собственного веса;

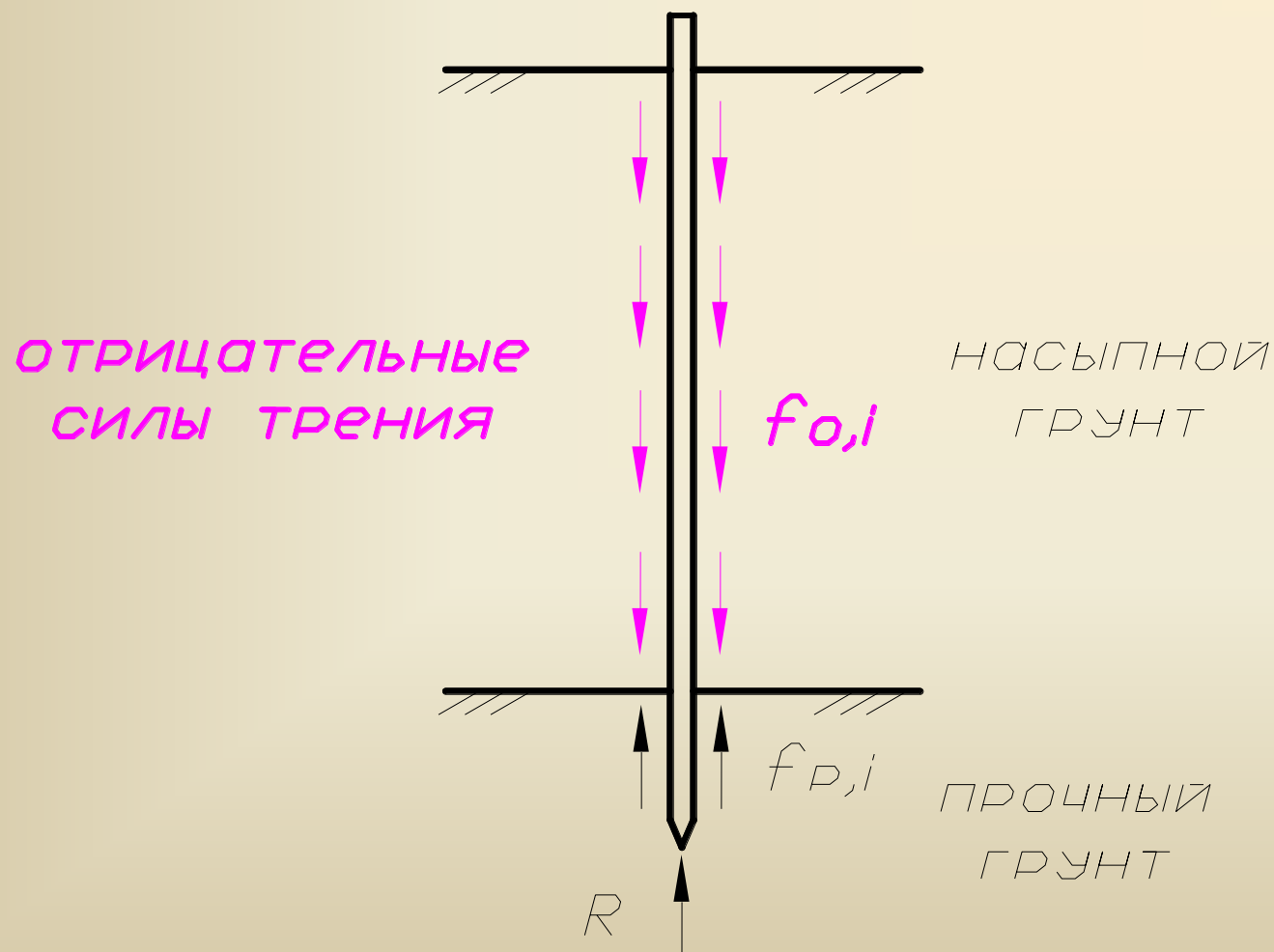
S_{f2} – тоже за счет подъема (снижения) уровня грунтовых вод;

S_{f3} – осадка за счет разложения органических веществ;

S_{f4} – осадка за счет уплотнения подстилающих грунтов (под насыпным) от веса насыпи.

Для улучшения строительных свойств насыпных грунтов используются все способы уплотнения (тяжелые трамбовки, вибромашины, катки, грунтовые сваи и т.п.); искусственного закрепления (силикатизация, цементация, битумизация); замена грунта в верхней части геологического разреза на более прочный и менее сжимаемый.

Возможна прорезка насыпных грунтов сваями с опиранием нижних концов в прочные грунты.



$$F_{dn} = F_d - \Delta F_{fn},$$

где F_{dn} – несущая способность сваи в насыпном не-
слежавшемся грунте;

F_d – несущая способность сваи за счет сил со-
противления под нижним концом сваи и
сил трения ($f_{p,i}$) в прочном грунте;

ΔF_{fn} – отрицательные (негативные) силы трения
за счет уплотнения насыпного грунта и
возникновение удельного давления ($f_{o,i}$) по
боковой поверхности сваи.

*Фундаменты
на слабых водонасыщенных
и заторфованных грунтах*

К слабым водонасыщенным и заторфованным грунтам относятся:

- водонасыщенные пылевато - глинистые грунты (супеси, суглинки, глины);*
- заторфованные грунты;*
- торфы.*

Отличительные особенности:

- чрезвычайно высокая влажность (коэффициент водонасыщения $S_r > 0,8$);***
- высокая степень сжимаемости (модуль деформации $E \leq 5 \text{ МПа}$).***

Расчёты оснований указанных грунтов выполняются по двум группам предельных состояний:

- по I группе предельных состояний (по несущей способности) при проектировании фундаментов на медленноуплотняющихся пылевато-глинистых, биогенных грунтах, илах при коэффициенте водонасыщения $S_r \geq 0,85$ и коэффициенте консолидации $c_v \leq 10^7$ см²/год он обязателен;

- по II группе предельных состояний (по деформациям) из условия:

$$S \leq S_{\text{и}}$$

где S - конечные совместные деформации оснований и фундаментов;

$S_{\text{и}}$ - предельно допустимые деформации.

При необходимости, здесь же выполняется расчет развития деформаций во времени.

При определении расчётного сопротивления грунта R принимается пониженный коэффициент условий работы (γ_{c1}); при расчёте осадки (S) эти грунты включаются в сжимаемую зону.

Если расчётные деформации оснований, сложенных слабыми водонасыщенными и заторфованными грунтами, больше предельных или их несущая способность недостаточна (расчетные условия не выполняются), необходимо увеличивать размеры фундамента и добиваться выполнения условий или предусматривать специальные мероприятия по улучшению свойств грунтовых оснований.

Мероприятия по улучшению свойств слабых водонасыщенных и заторфованных грунтов:

- предпостроечное уплотнение грунтов фильтрующей пригрузкой;*
- удаление прослойки (линзы) биогенного грунта из массива и замена его более надёжным грунтом (выторфовка);*
- замена слабого водонасыщенного грунта гравийной, песчаной или песчано-гравийной подушкой.*

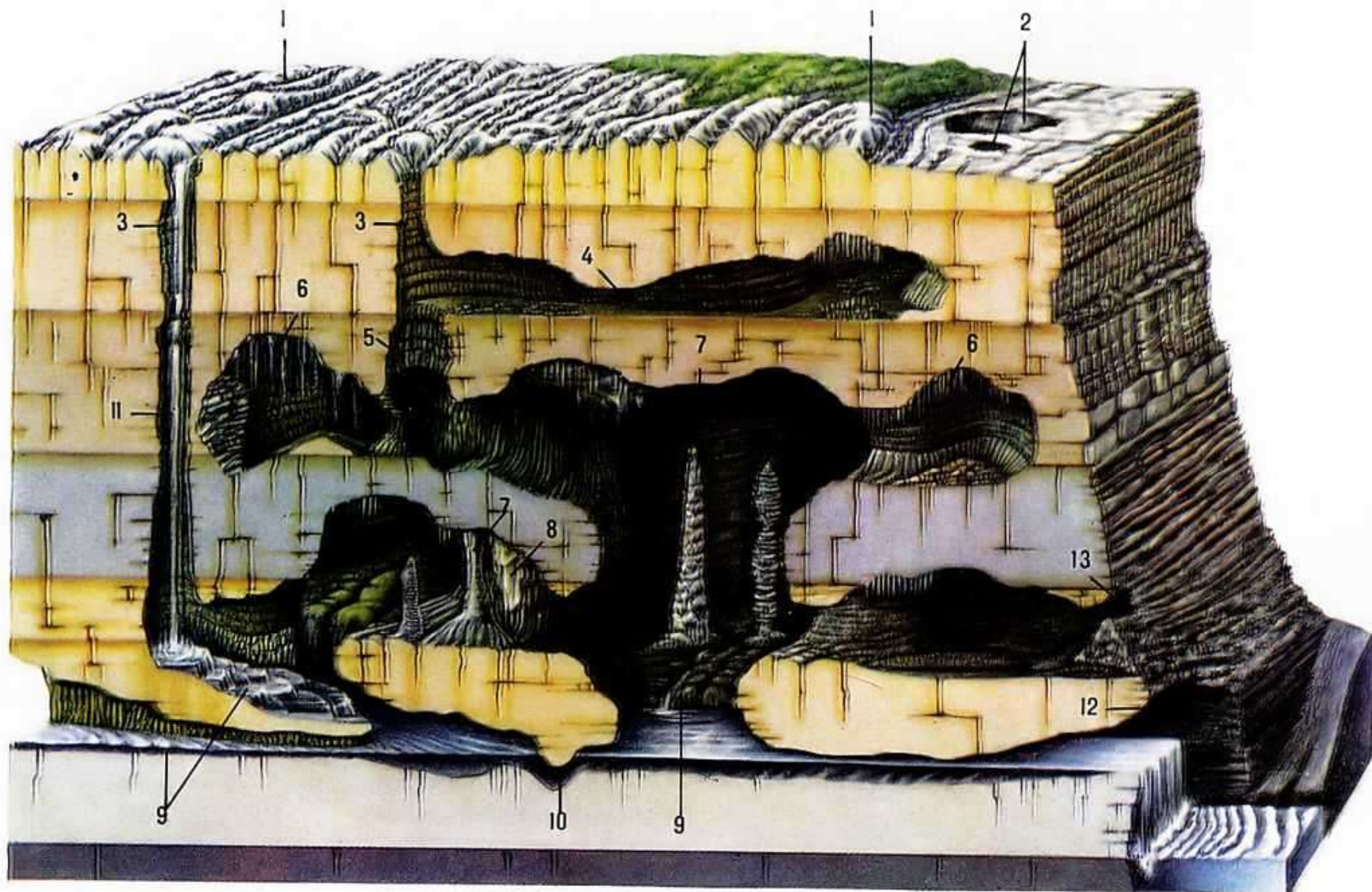
Другие (конструктивные) мероприятия:

- прорезка напластований слабых грунтов столбчатыми и ленточными фундаментами с большой глубиной заложения или глубокими фундаментами;*
- повышение пространственной жесткости здания (сооружения) посредством жесткого соединения конструкций, использованием диафрагм и поясов жесткости;*
- использование фундаментов в виде сплошных железобетонных плит, перекрестных лент (балок) из монолитного железобетона;*
- меры по снижению чувствительности конструкций зданий (сооружений) к неравномерным осадкам, т.е. повышение податливости и гибкости зданий;*
- принятие действий по исключению возможности снижения уровня подземных вод в период эксплуатации здания.*

***Фундаменты
на закарстованных и
подрабатываемых
территориях***

Карстом называют совокупность явлений, связанных с деятельностью воды и выражающихся в растворении горных пород с образованием в них пустот, а также своеобразных форм рельефа.

К закарстованным следует относить территории, в пределах которых распространены водорастворимые горные породы (известняки, доломиты, гипсы, мел и т.д.).





Основные формы проявления карста:

- провалы (глубина деформаций более 0,25 м);*
- карстовые просадки ($\leq 0,25$ м);*
- проседания (при радиусе кривизны поверхности грунта менее 1 км);*
- оседания (при радиусе кривизны поверхности 1 км и более).*

Основные этапы работы по проектированию и созданию фундаментов на закарстованных территориях:

- тщательное выполнение инженерных изысканий;*
- оценка характера и степени опасности карста для строительных объектов;*
- разработка и реализация мероприятий противокарстовой защиты (изменение в нужном направлении естественного развития карстовых процессов; уменьшение вредного влияния хозяйственной деятельности человека на карстовые процессы; защита строительных объектов планировочными, конструктивными решениями и контролем за проявлением карстовых процессов).*

Фундаменты на закарстованных территориях должны проектироваться и устраиваться исходя из следующих условий:

- использование отдельно стоящих столбчатых фундаментов зданий (сооружений) на таких территориях недопустимо;

- рекомендуются к использованию фундаменты плитные, перекрёстные ленты и ленточные (все монолитные железобетонные) с консольными выступами за пределы стен;

- могут быть применены фундаменты из свай-стоек, буровых опор, свай-оболочек и т.п. в случае прорезки закарстованных грунтов и опирания нижнего конца в надежные грунты;

- висячие сваи можно использовать, если количество свай принимается с учетом определенного запаса, предусматривающего выход из строя некоторого количества свай при образовании под ними провала.

Расчеты реализуются по двум группам предельных состояний (I и II), как правило, должны выполняться с учетом жесткости надземной части. Прочность, несущая способность и устойчивость оснований и фундаментов должны быть обеспечены при любых возможных карстовых проявлениях.

*Фундаменты
на подрабатываемых
территориях*

К подрабатываемым относятся территории, на которых ведутся разработки полезных ископаемых подземным способом и в образовавшиеся при этом полости могут смещаться перекрывающие их породы.



Фундаменты и надземные конструкции на подрабатываемых территориях необходимо проектировать с учётом их взаимного смещения.

Мероприятия при строительстве на подрабатываемых территориях (уменьшение чувствительности к неравномерным осадкам, созданием жесткой, податливой или комбинированной конструктивных схем):

- разрезка зданий осадочными швами на отдельные отсеки простой конфигурации;*
- надежное армирование кладки стен;*

- *опирание плит и балок перекрытий «с запасом» (во избежание обрушения при расхождении стен);*
- *устройство фундаментов под стены и колонны ленточными монолитными с рабочей продольной арматурой;*
- *соединение отдельных фундаментов под колонны железобетонными балками-распорками;*
- *при угрозе сдвижения горных пород устройство вблизи фундаментов узких прорезей, заглубляемых ниже подошвы фундаментов.*

Понятие о проектировании и возведении
фундаментов на засоленных грунтах

Засоленные грунты – грунты, содержащие водорастворимые соли (легкорастворимые, среднерастворимые, труднорастворимые), способные при обводнении к выщелачиванию (переход солей в водный раствор).

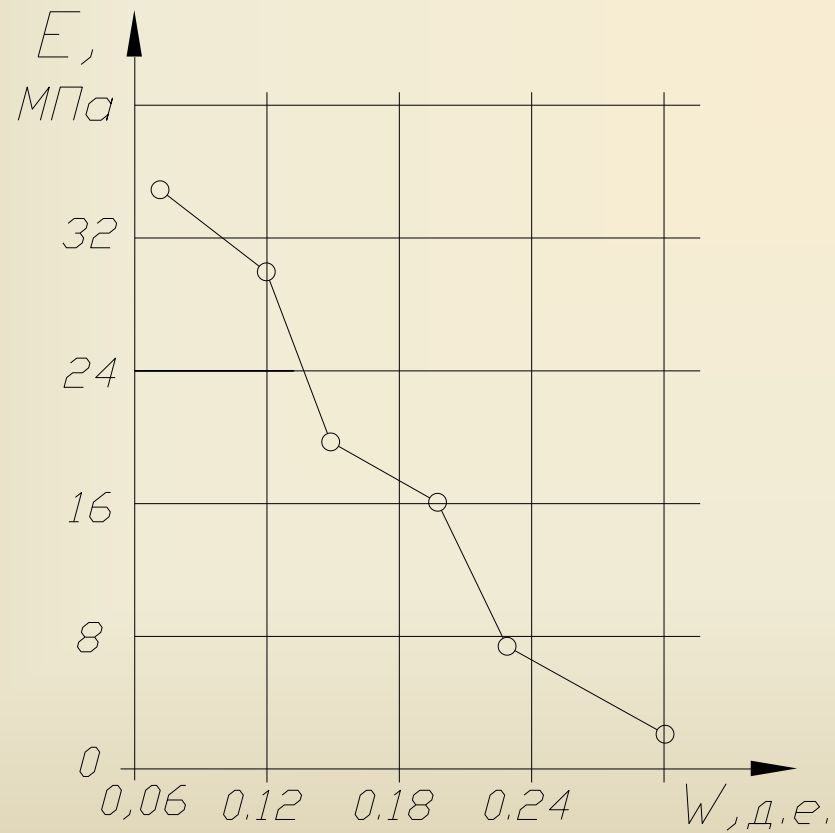
Степень засоленности грунта определяется отношением массы водорастворимых солей к массе абсолютно сухого грунта (W_{sal} , %).

*Грунты по ГОСТ 25100-2011 могут быть:
незасоленными, слабозасоленными, средnezасоленными, сильнозасоленными и избыточно засоленными.*

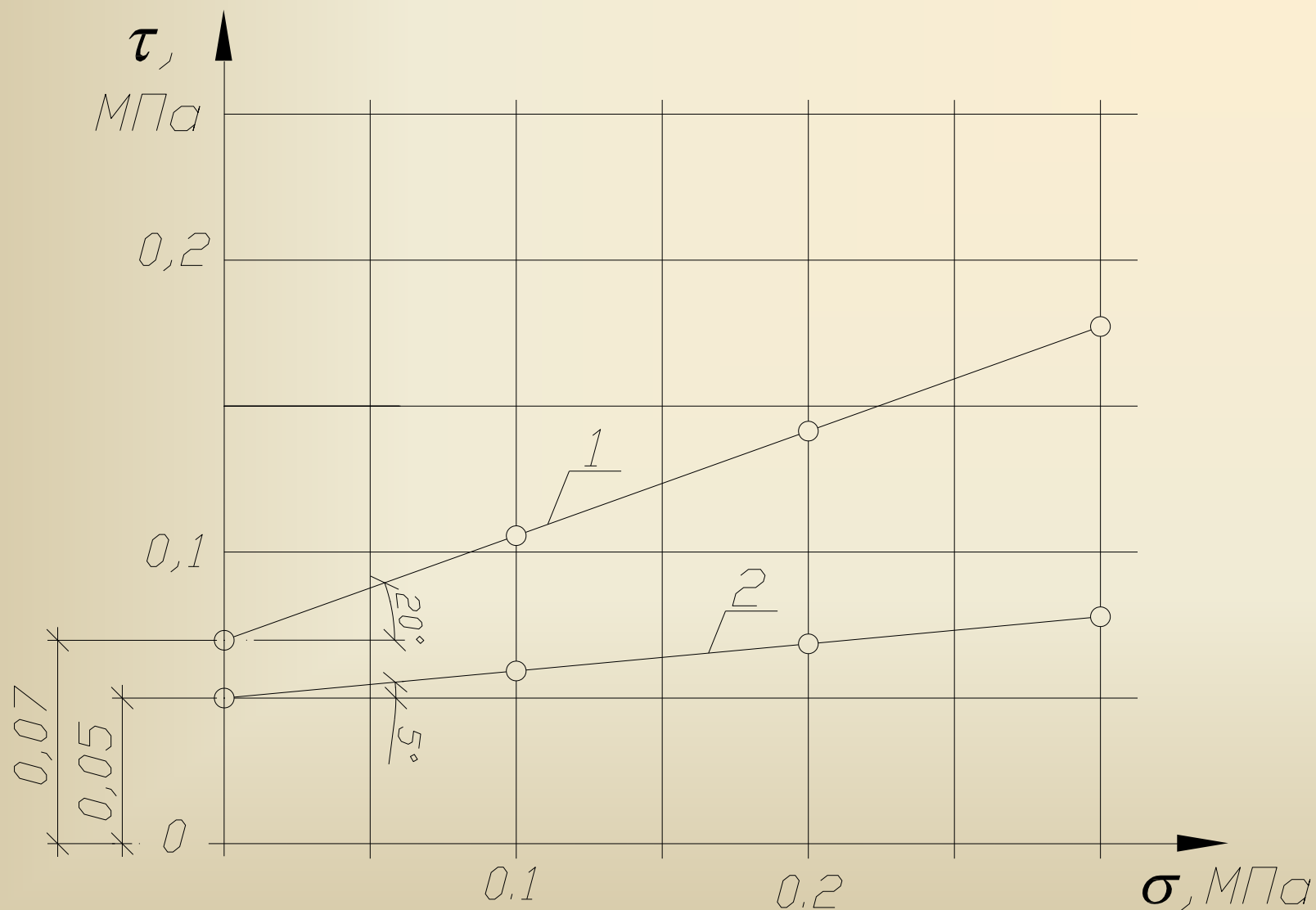
Засолённые маловлажные и сухие грунты при увлажнении резко изменяют свои строительные свойства: уменьшается прочность, повышается деформируемость, увеличивается фильтрационная способность за счёт выноса солей из грунта.

Например,
снижение модуля деформации (E) достигать 4-10 и более раз, в такой же степени будут возрастать деформации основания и фундамента; существенно могут снижаться показатели прочности грунта (φ , c), следовательно, уменьшаться несущая способность грунта.

Изменение модуля деформации (E) при повышении влажности (w)



Изменение прочностных показателей до (1) и после (2) удаления солей



Дополнительные характеристики засоленного грунта:

относительное суффозионное сжатие ε_{sf} и начальное давление суффозионного сжатия p_{sf} .

Примечание: суффозия – механический вынос частиц грунта подземными водами в процессе их движения.

Относительное суффозионное сжатие ε_{sf} определяется в лабораторных условиях испытаниями образца грунта в компрессионном приборе, расчет выполняется по формуле:

$$\varepsilon_{sf} = \frac{h - h'}{h_0} = \frac{h_{sat,p} - h_{sf,p}}{h_{n,g}},$$

где $h = h_{sat,p}$ – высота полностью водонасыщенного грунта при давлении, равном сумме природного (от собственного веса грунта) и дополнительного (от давлений под подошвой фундамента);

$h' = h_{sf,p}$ – высота образца грунта после растворения солей и их выщелачивания после длительной фильтрации при этом же суммарном давлении;

$h_0 = h_{n,g}$ – высота образца природной влажности при природном давлении (от собственного веса грунта).

Начальное давление суффозионного сжатия p_{sf} это давление, при котором $\varepsilon_{sf} = 0,01$.

Расчеты оснований из засоленных грунтов:

а) общая совместная деформация основания и фундамента ($S_{o,sf}$) в условиях засоленных грунтов состоит из осадки (S), определяемой как для обычных (незасоленных) грунтов с использованием деформационных характеристик грунтов естественной влажности по методу послойного суммирования, например, и суффозионной осадки (S_{sf}):

$$S_{o,sf} = S + S_{sf};$$

Суффозионная осадка (S_{sf}) рассчитывается по формуле СП:

$$S_{sf} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sf,i} \cdot h_i,$$

где $\varepsilon_{sf,i}$ – относительное суффозионное сжатие i -того слоя грунта при давлении, равном сумме природного (от собственного веса грунта) и дополнительного (от давлений под подошвой фундамента);

h_i – толщина i -того слоя грунта в пределах засоленной зоны ниже подошвы фундамента;

n – количество элементарных слоёв грунта, на которые разбита засоленная зона.

б) расчётное сопротивление грунта R и несущая способность основания F_u , сложенным засоленными грунтами определяются по формулам СП с использованием прочностных характеристик, полученных для водонасыщенных грунтов после выщелачивания солей.

Мероприятия по предотвращению замачивания засоленных грунтов: планировка территории; устройство надёжных вводов коммуникаций, предотвращающих возможные утечки воды в грунт.

Мероприятия по ликвидации явления суффузионного сжатия: замена засоленного грунта на песчаные или грунтовые подушки; уплотнение засоленного слоя грунта песчаными и грунтовыми сваями; предварительное замачивание засоленного грунта из котлована через скважины с последующим доуплотнением грунта или без такового; прорезка засоленных грунтов фундаментами мелкого заложения или сваями с заглублением подошвы (нижних частей свай) в несущий пласт грунта.

Применение конструктивных мероприятий, направленных на:

а) увеличение жёсткости сооружения: армирование стен; устройство горизонтальных поясов жёсткости; создание продольных и поперечных диафрагм жёсткости и т.д.);

б) снижение чувствительности зданий (сооружений) к неравномерным деформациям: устройство деформационных швов, шарнирное соединение конструктивных элементов и т.д.

**Основания и фундаменты
в условиях сейсмических воздействий**

Список дополнительной литературы по теме

1. СП 14.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». М., Минрегион России, 2011.
2. С.Б.Ухов и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. М., Издательство АСВ, 1994 (раздел «Фундаменты в условиях сейсмических воздействий»).

Общие положения

Сейсмика (греч. seismos, рус. землетрясение) - комплекс явлений и связанных с ними человеческих знаний, относящихся к резким изменениям перемещений грунтовых массивов, сопровождающихся колебаниями земной коры.

Территория Российской Федерации характеризуется в основном умеренной сейсмической активностью (за исключением регионов Северного Кавказа, юга Сибири и Дальнего Востока). По СП 14.13330.2011:



Измерение интенсивности землетрясений осуществляется по нескольким шкалам:

– шкала Рихтера (шкала магнитуд) – оценивает интенсивность землетрясений по энергии, выделенной в очаге землетрясения (обозначается арабскими цифрами и увеличивается примерно в 30 раз при переходе от балла к баллу);

– шкала интенсивности (их несколько: шкала Меркалли (ММ) – США, шкала Шиндо – Япония и др.) – оценивает интенсивность землетрясений по характеру воздействия на поверхность земли, объекты и людей;

*– шкала MSK-64, относится к смешанной (магниту-
да + интенсивность) шкале, используется в России
(СССР) и многих странах Европы с 1964 года, включе-
на в СП 14.13330.2011.*

<i>Балл</i>	<i>Сила землетрясения</i>	<i>Краткая характеристика</i>
1	Не ощущается	Отмечается только сейсмическими приборами.
2	Очень слабые толчки	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий, и очень чуткими домашними животными.
3	Слабое	Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика.
4	Умеренное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей.

<i>Балл</i>	<i>Сила землетрясения</i>	<i>Краткая характеристика</i>
5	Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов - всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Маятники часов останавливаются. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Пробуждение спящих. Ощущается людьми и вне зданий, качаются тонкие ветки деревьев. Хлопают двери.
6	Сильное	Ощущается всеми. Многие в испуге выбегают на улицу. Картины падают со стен. Отдельные куски штукатурки откалываются.
7	Очень сильное	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми.
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются.
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома кривятся.

<i>Балл</i>	<i>Сила землетрясения</i>	<i>Краткая характеристика</i>
10	Уничтожающее	Трещины в почве иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов.
11	Катастрофа	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти полностью разрушаются. Сильное искривление и выпучивание железнодорожных рельсов.
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озёрах, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает.



Трещина над очагом
Горно-Алтайского
(Чуйского)
землетрясения
27 сентября 2003 г.

Кроме общей оценки сейсмичности географического района строительства необходимо выполнить микро-районирование строительной площадки, зависящее от сейсмичности региона, а также вида и состояния слагающего площадку грунта.

Различают три категории грунтов на строительной площадке:

I – скальные невыветрелые и слабыветрелые, крупнообломочные плотные, вечномёрзлые (I принцип, $t \leq -2^{\circ}\text{C}$);

II – скальные выветрелые и сильновыветрелые, пески плотные и средней плотности, глинистые с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ (глины и суглинки), $I_L < 0,7$ (супеси), вечномерзлые (I принцип, $t > -2^0\text{C}$);

III – пески рыхлые, глинистые, не вошедшие во II категорию, вечномерзлые (II принцип).

В зависимости от категории сейсмичность площадки может отличаться от сейсмичности района:

<i>Категория грунтов</i>	<i>Сейсмичность строительной при сейсмичности района, баллы</i>		
	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
<i>I</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>II</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
<i>III</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>> 9</i>

Строительство сооружений в соответствии с СП разрешается при сейсмичности площадки не более 9 баллов; более 9 баллов, как исключение, при соответствующем обосновании.

При силе землетрясений менее 7 баллов основание допускается проектировать без учета сейсмического воздействия.

Основы расчета и проектирования фундаментов при сейсмических воздействиях

Общее требование: правильно спроектированные фундаменты должны обеспечить условия для сейсмостойкости здания, т.е. способности всех конструкций не разрушаться, не терять устойчивость и т.п. при действии на них кроме обычных нагрузок еще и инерционных (сейсмических) воздействий.

В соответствии с СП 22.13330.2011 и СП 14.13330.2011 основания и фундаменты в сейсмических районах необходимо рассчитывать по несущей способности (I группа ПС) на особое сочетание нагрузок.

При этом, предварительные размеры фундамента допускается определять расчетом на основное сочетание нагрузок (т.е. без учета сейсмики). Но проверка по несущей способности обязательна.

Расчетное условие I группы ПС для вертикальной составляющей нагрузки:

$$N_a \leq \frac{\gamma_{с,eq}}{\gamma_n} N_{u,eq},$$

где N_a – вертикальная составляющая расчетной внецентренной нагрузки (особое сочетание);

$N_{u,eq}$ – сила предельного сопротивления основания;

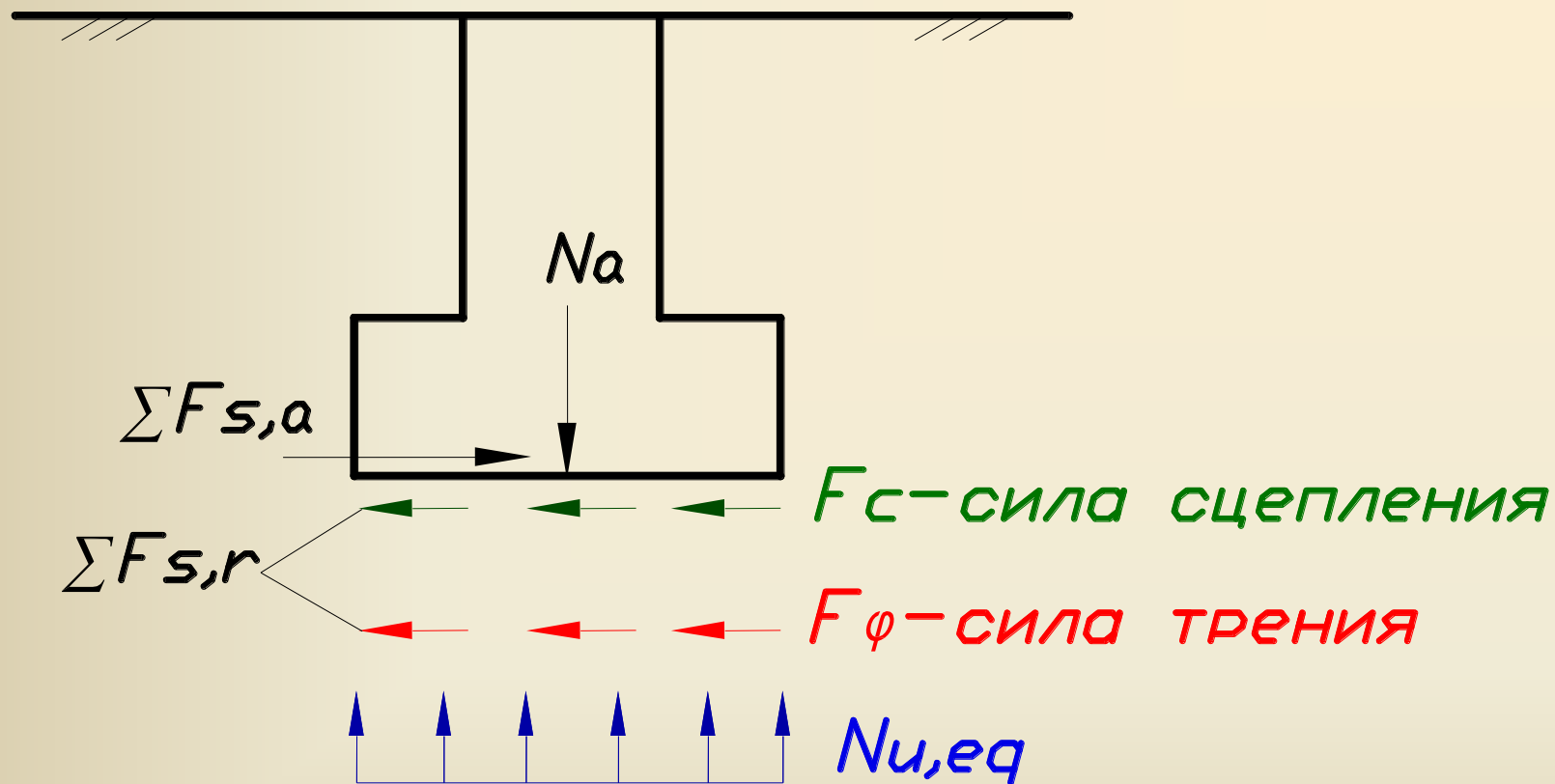
$\gamma_{с,eq}$ – сейсмический коэффициент условий работы, зависит от категории грунтов по сейсмичности (I, II, III) - $\gamma_{с,eq}=1,0; 0,8; 0,6$.

При наличии горизонтальной составляющей нагрузки следует выполнить проверку несущей способности основания на сдвиг по условию:

$$\sum F_{s,a} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \sum F_{s,r},$$

$\sum F_{s,a}$; $\sum F_{s,r}$ – соответственно, расчетные сдвигающие и удерживающие силы по подошве фундамента;

γ_c , γ_n – коэффициент условий работы и коэффициент надежности, соответственно.



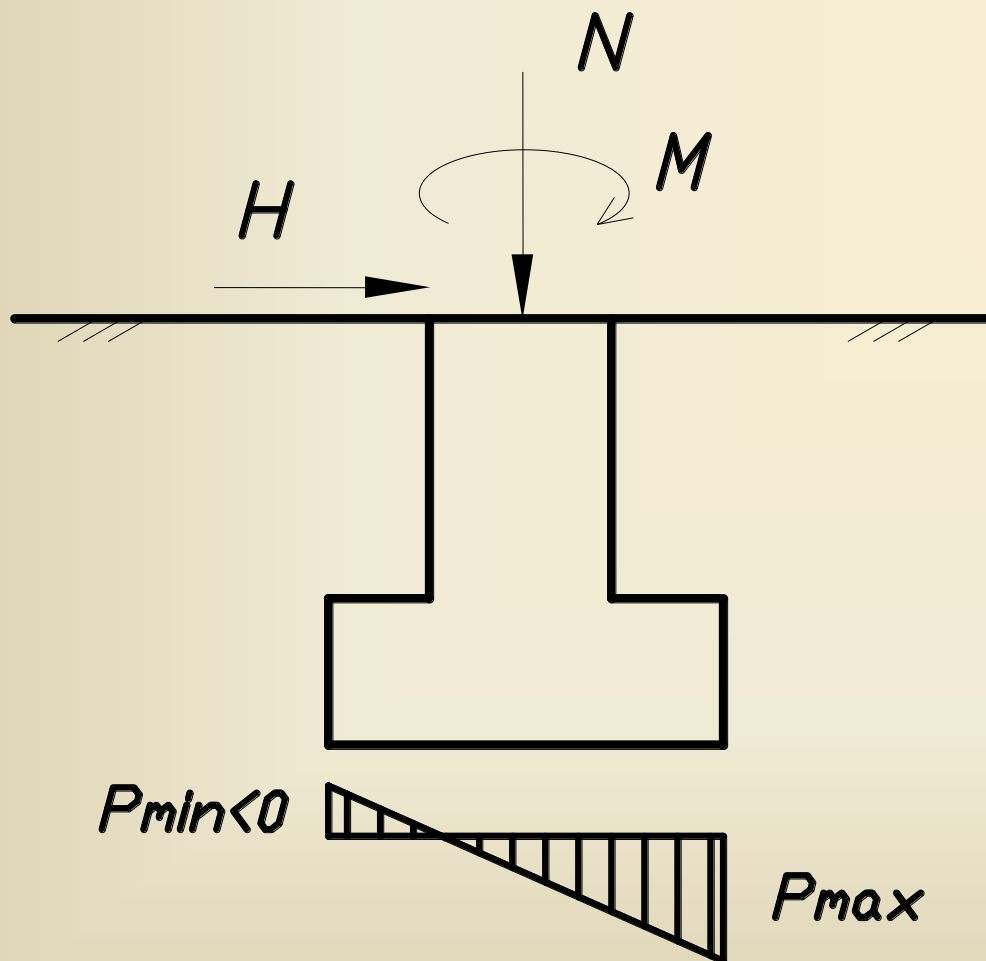
При невыполнении условий $N_a \leq \frac{\gamma_{c,eq}}{\gamma_n} N_{u,eq}$ и

$\sum F_{s,a} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \sum F_{s,r}$ необходимо увеличить разме-

ры фундамента (b, l, d) или улучшить строительные свойства основания. Расчет повторить.

Особенностями расчета фундаментов на естественном основании при сейсмическом воздействии являются:

– допущение частичного отрыва подошвы фундамента при особом сочетании нагрузок от грунта;



– допускается нарушение выполнения условия $S \leq S_u$ ($S > S_u$) с возможностью повреждений конструкций здания (без обрушения), не угрожающих безопасности людей и сохранности оборудования, поэтому деформации оснований и фундаментов при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмике не рассчитываются;

– не допускается заглублять фундаменты в грунты III категории по сейсмическим свойствам (см. выше), для таких грунтов – предусматривать специальные мероприятия по водопонижению, искусственному укреплению грунтового основания. В грунтах I и II категорий – глубина заложения назначается как для обычных фундаментов.

Особенности расчета и конструирования свайных фундаментов при сейсмическом воздействии:

– концы свай опирать на скальные, крупнообломочные грунты, плотные и средней плотности песчаные грунты, твердые, полутвердые и тугопластичные глинистые грунты;

– мин глубина погружения свай в грунт – 4 метра (за исключение опирания на скальные грунты);

– свайные фундаменты рассчитываются по I группе ПС (см. выше) на особое сочетание нагрузок;

– несущая способность сваи определяется с учетом её возможного снижения за счет образования зазора между сваем и грунтом в её верхней части, а также уменьшения сил трения по боковой поверхности и снижения расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи.

$$F_{d,сейсм} = F_d - \Delta F_{d,o} - \Delta F_{d,b} - \Delta F_{d,n},$$

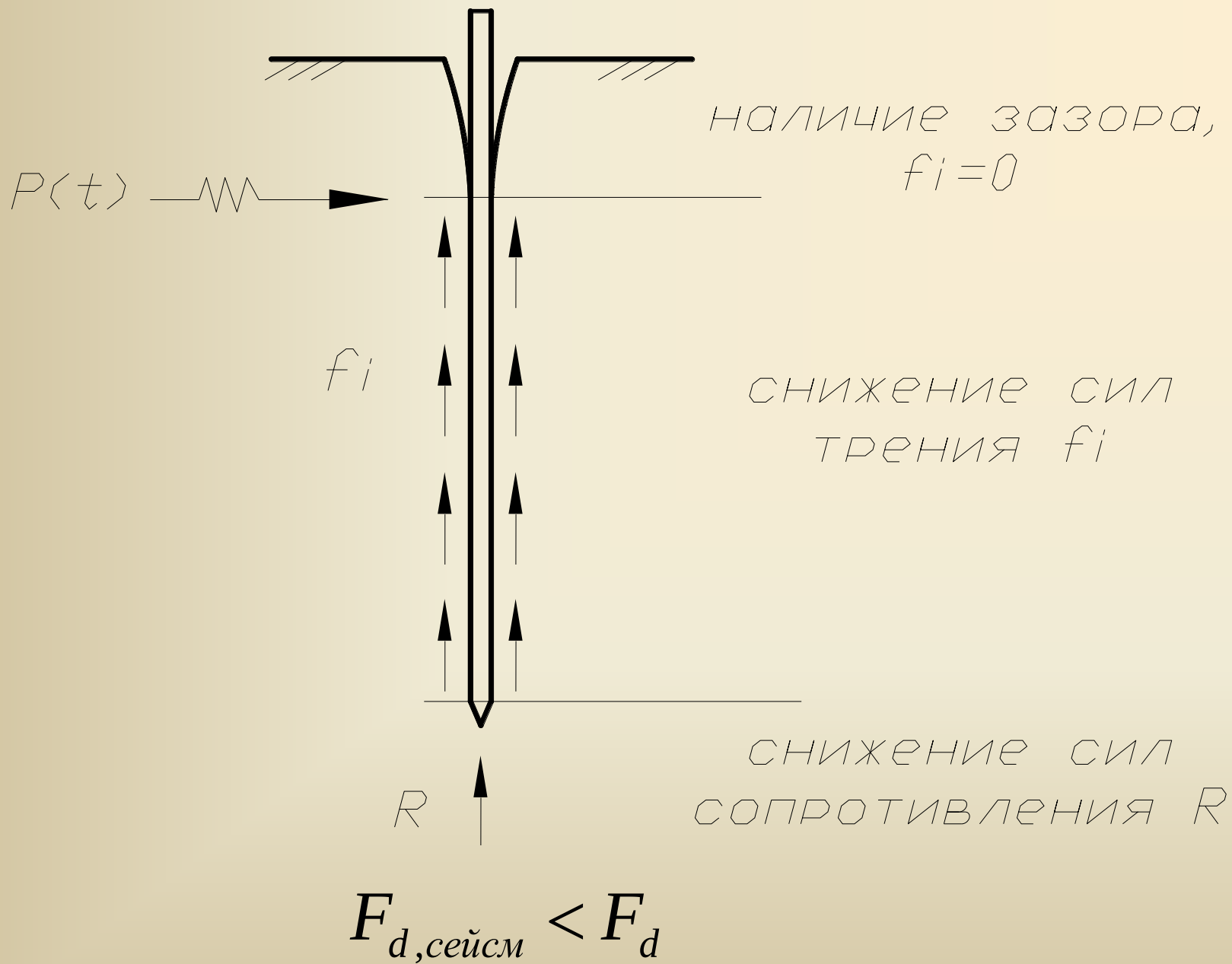
где $F_{d,сейсм}$ – несущая способность сваи при сейсмическом воздействии;

F_d – несущая способность сваи при статической нагрузке (без сейсмики);

$\Delta F_{d,o}$ – часть несущей способности, теряемой при образовании зазора между свайей и грунтом вследствие сейсмического воздействия;

$\Delta F_{d,b}$ – тоже за счет уменьшения сил трения по боковой поверхности;

$\Delta F_{d,n}$ – тоже за счет снижения сил сопротивления под нижним концом сваи.

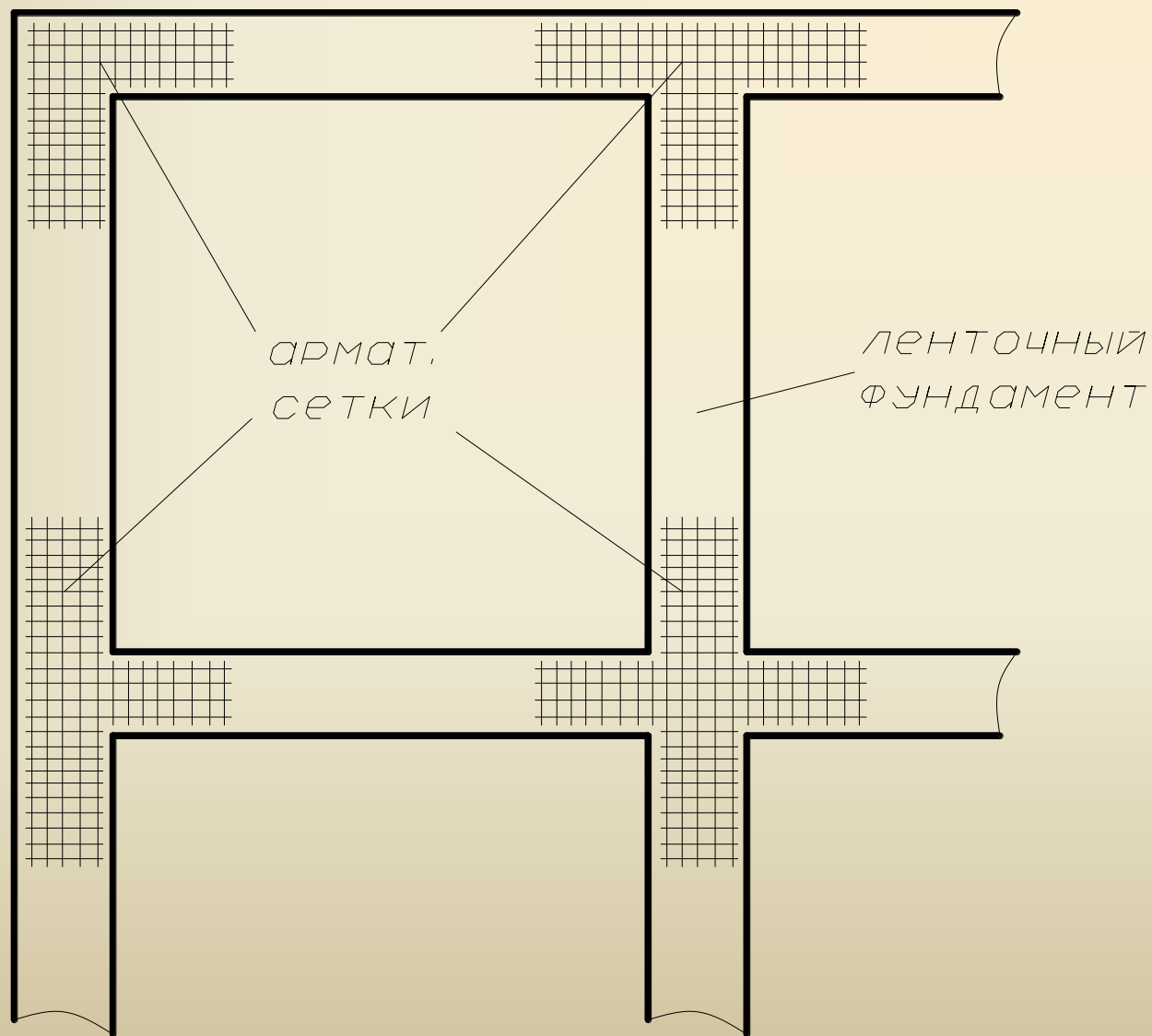


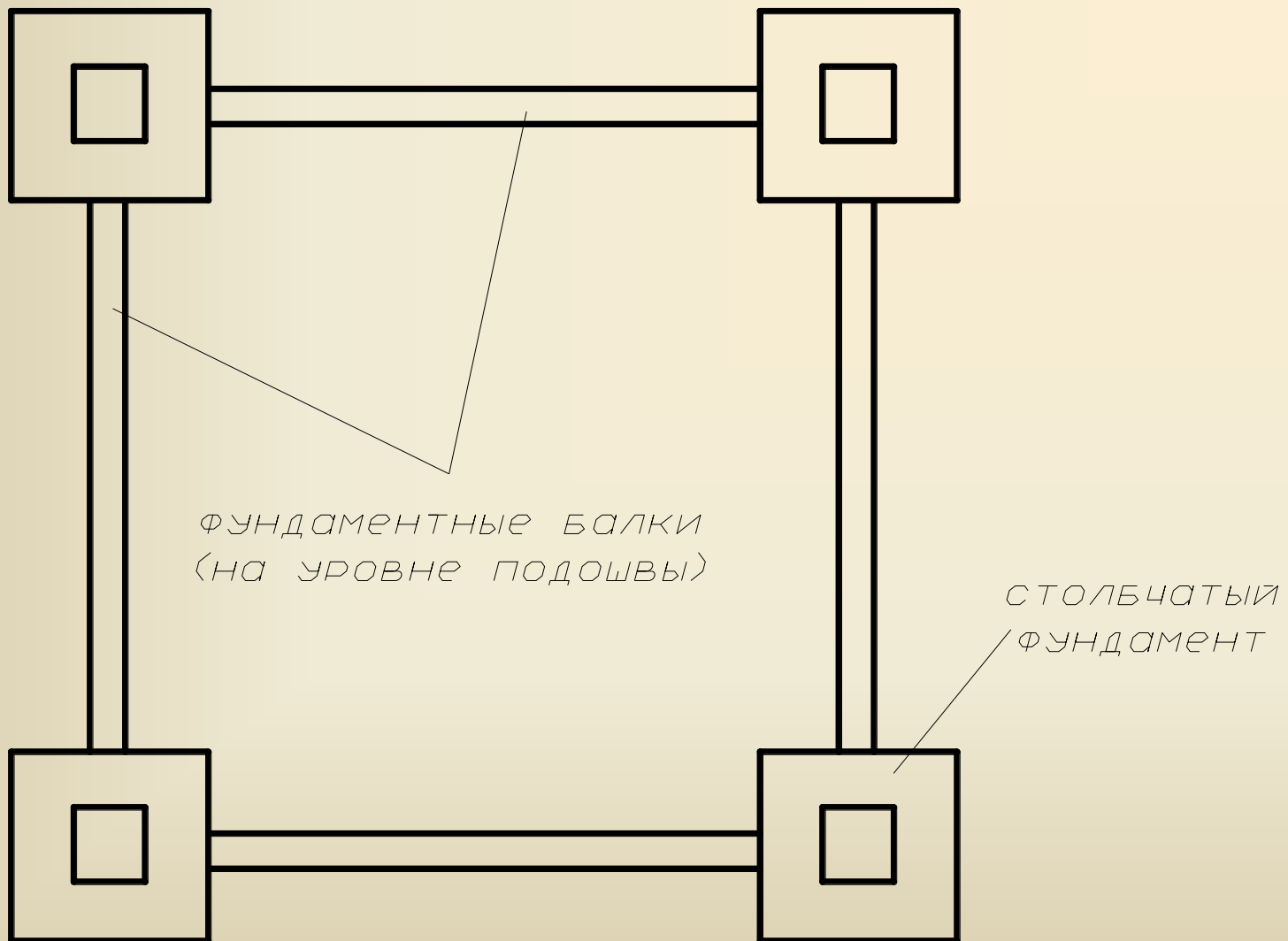
Мероприятия по повышению сейсмостойкости зданий и сооружений:

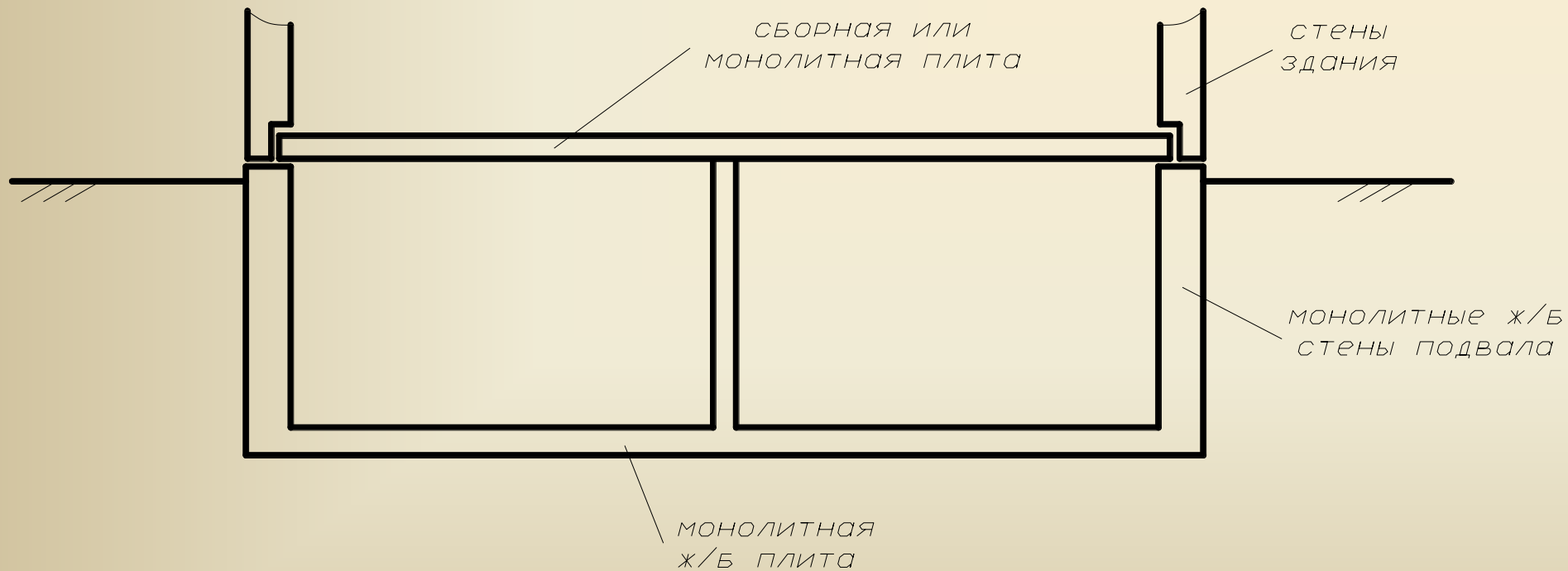
– обеспечение предельно возможной жесткости надземных конструкций здания (армопояса, монолитирование узлов сопряжения и т.п.);

– обеспечение разумной гибкости здания (податливость соединений и конструкций, шарнирное сопряжение элементов и т.п.);

– создание надежных (жестких) конструкций фундаментов;





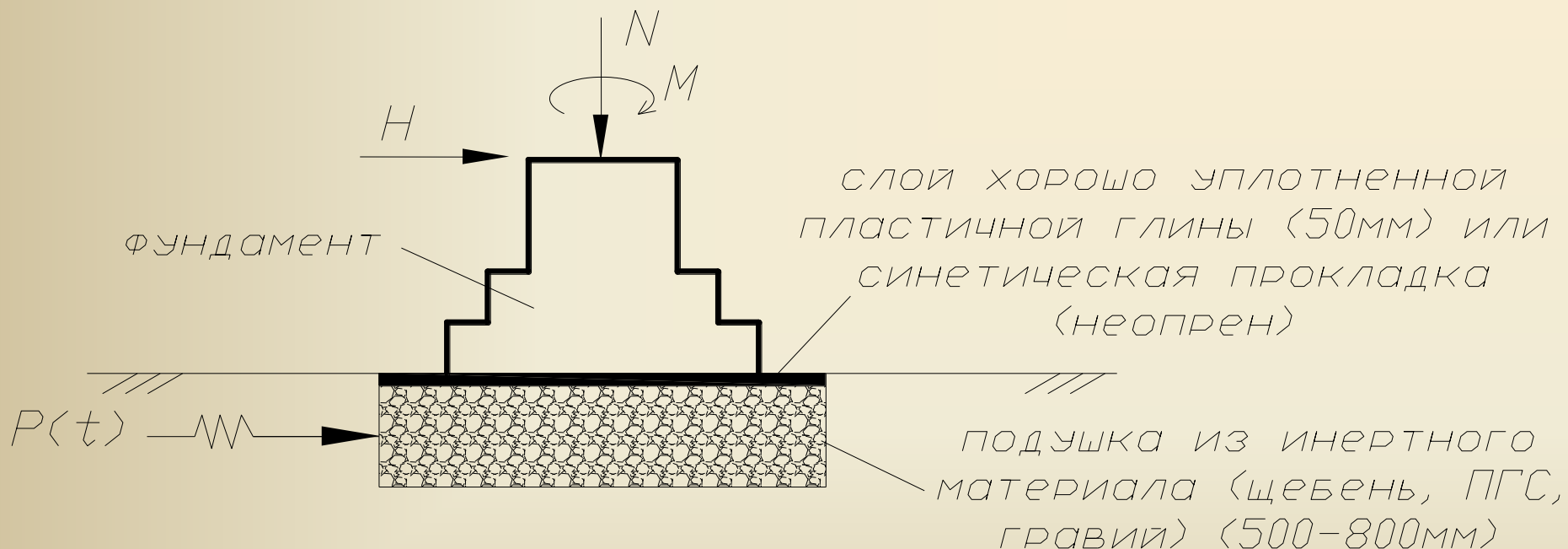


– сейсмоизолирующие фундаменты.

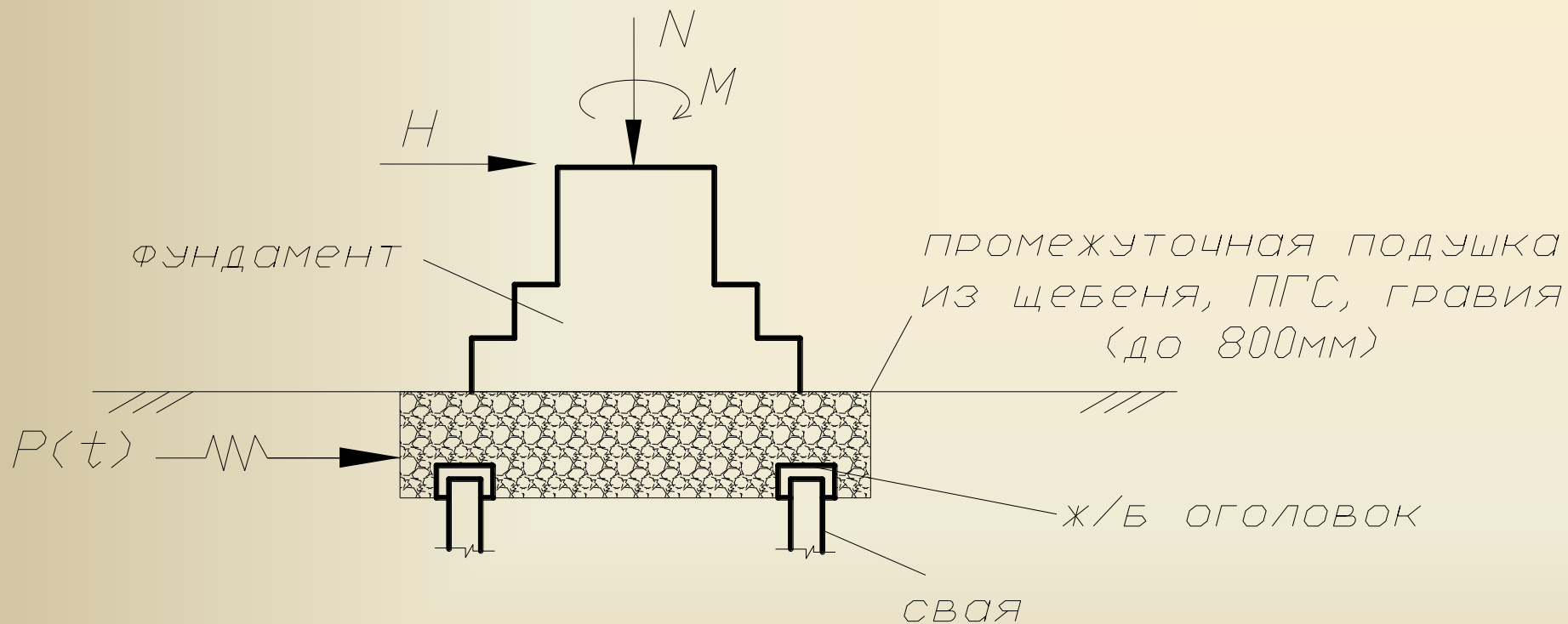
*Конструктивные схемы (примеры)
сейсмоизолирующих фундаментов*

1. Фундаменты с грунтовой промежуточной подушкой

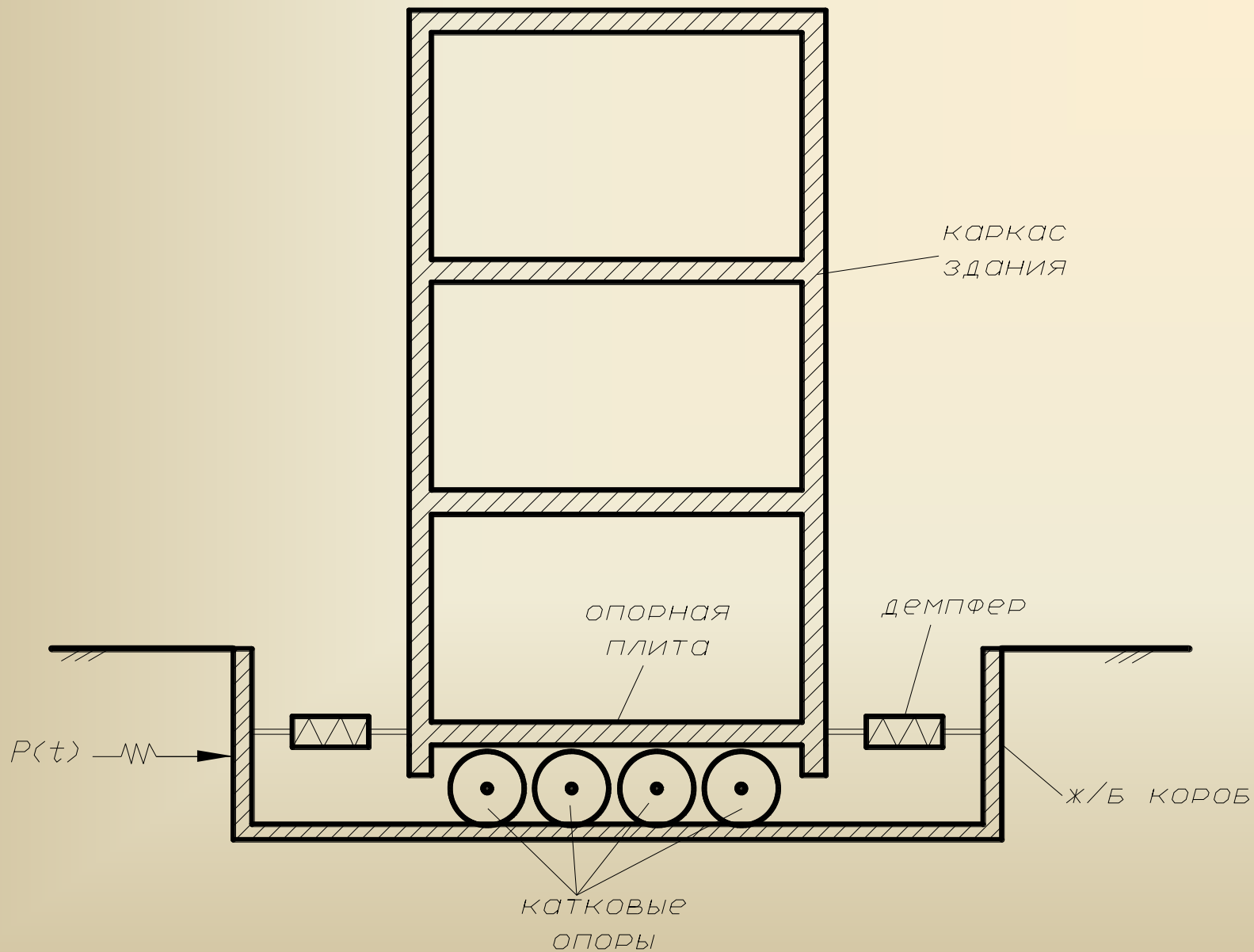
1.1. Столбчатые фундаменты



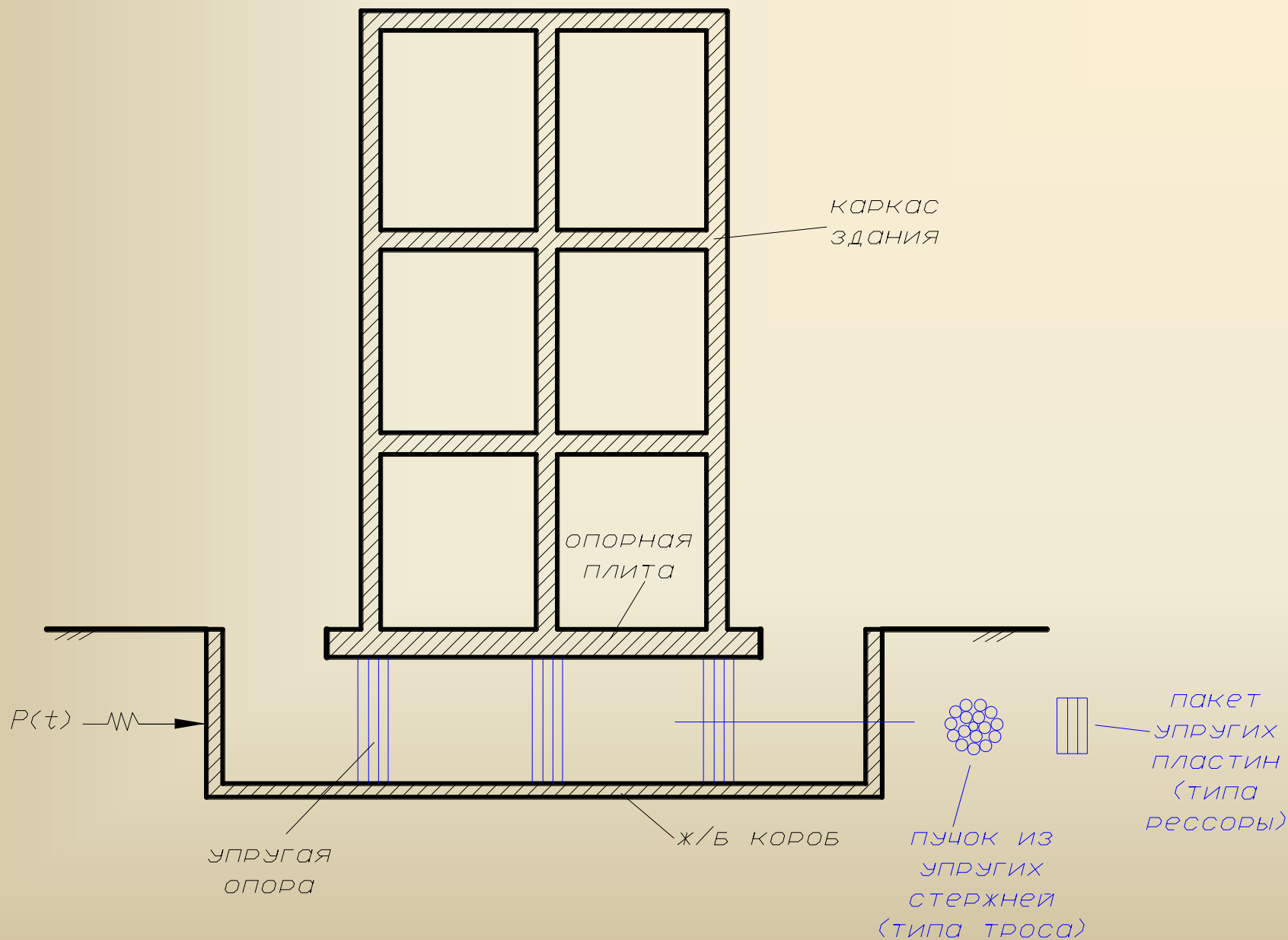
1.2. Свайные фундаменты



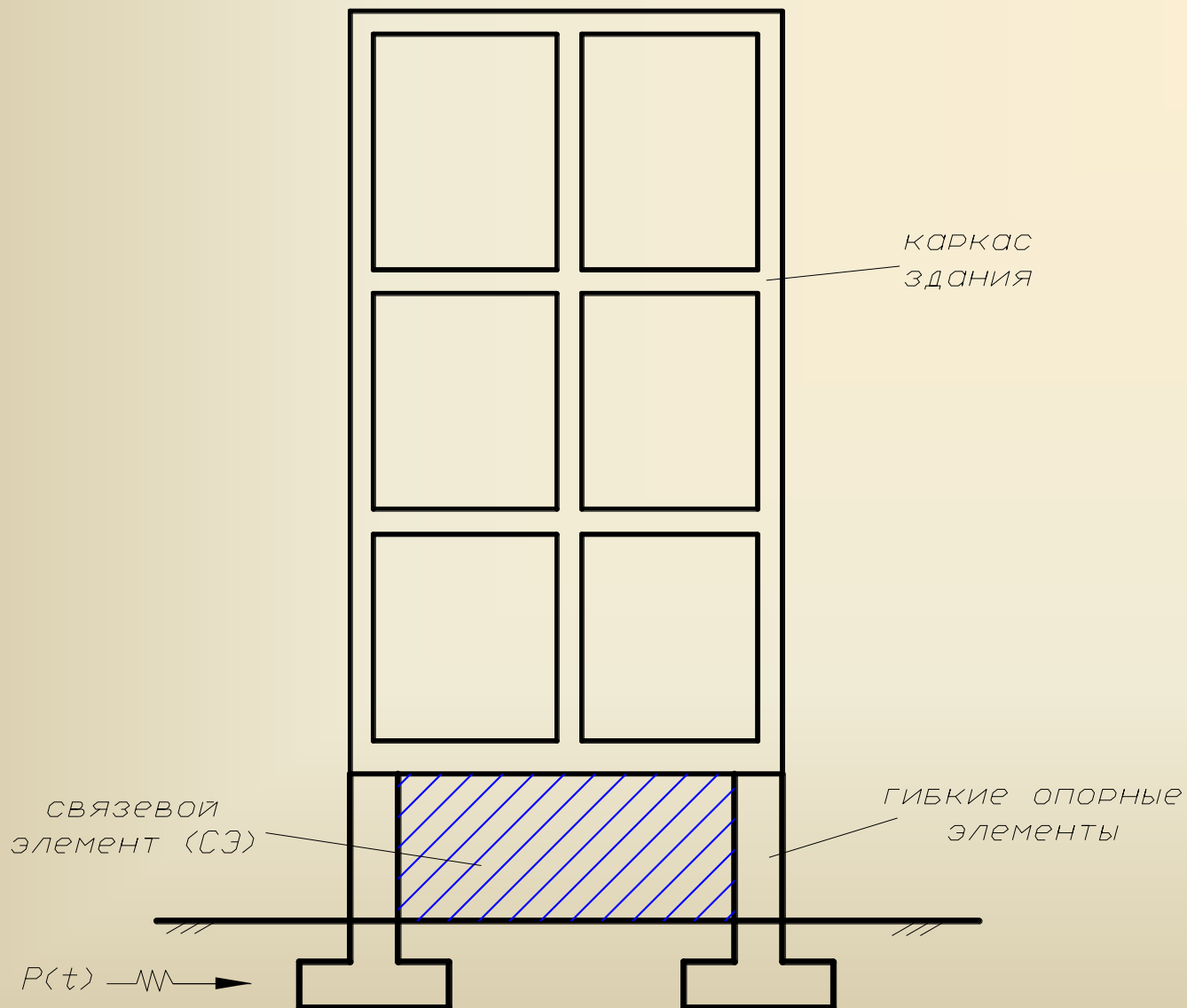
2. Фундаменты – катковые опоры

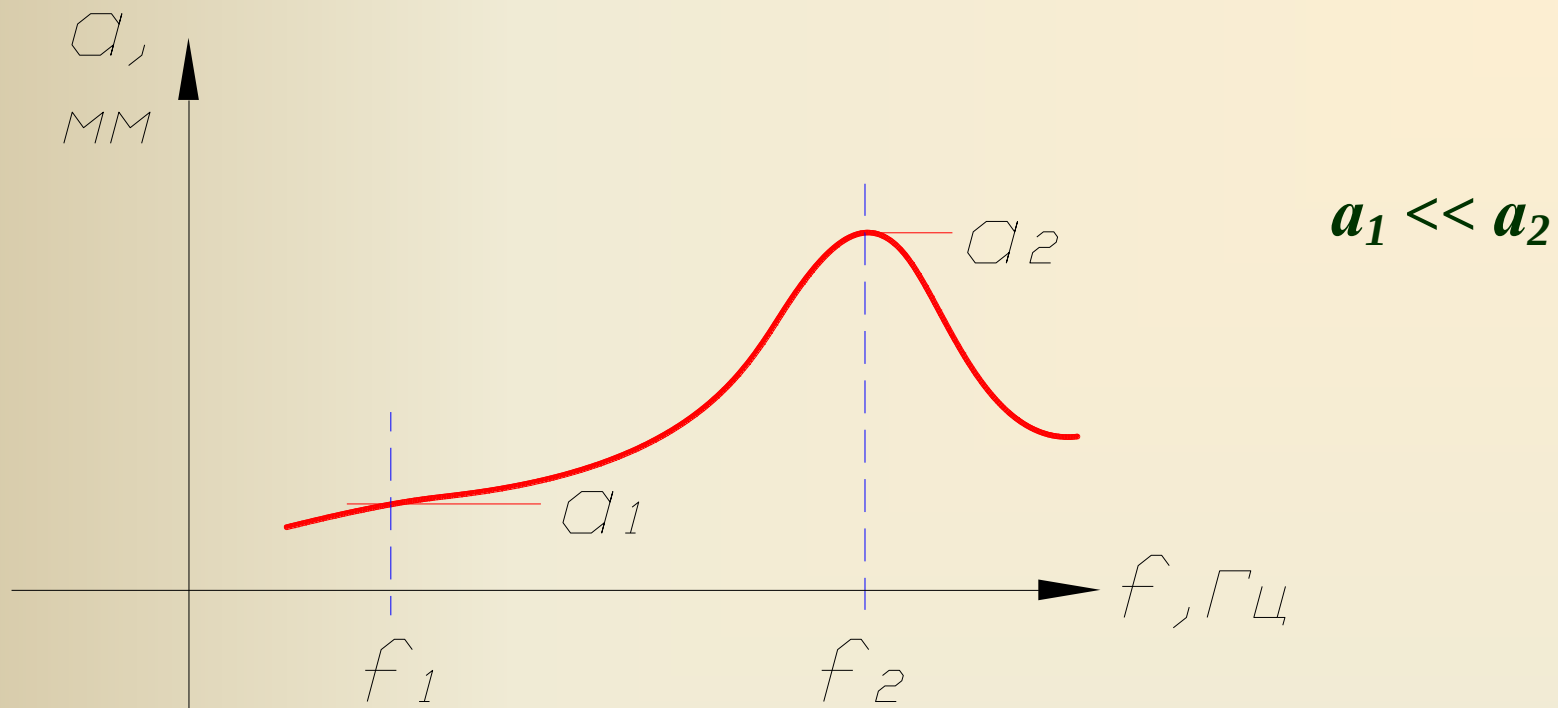


3. Фундаменты с гибкими опорными элементами



4. Фундаменты с выключающимися связями

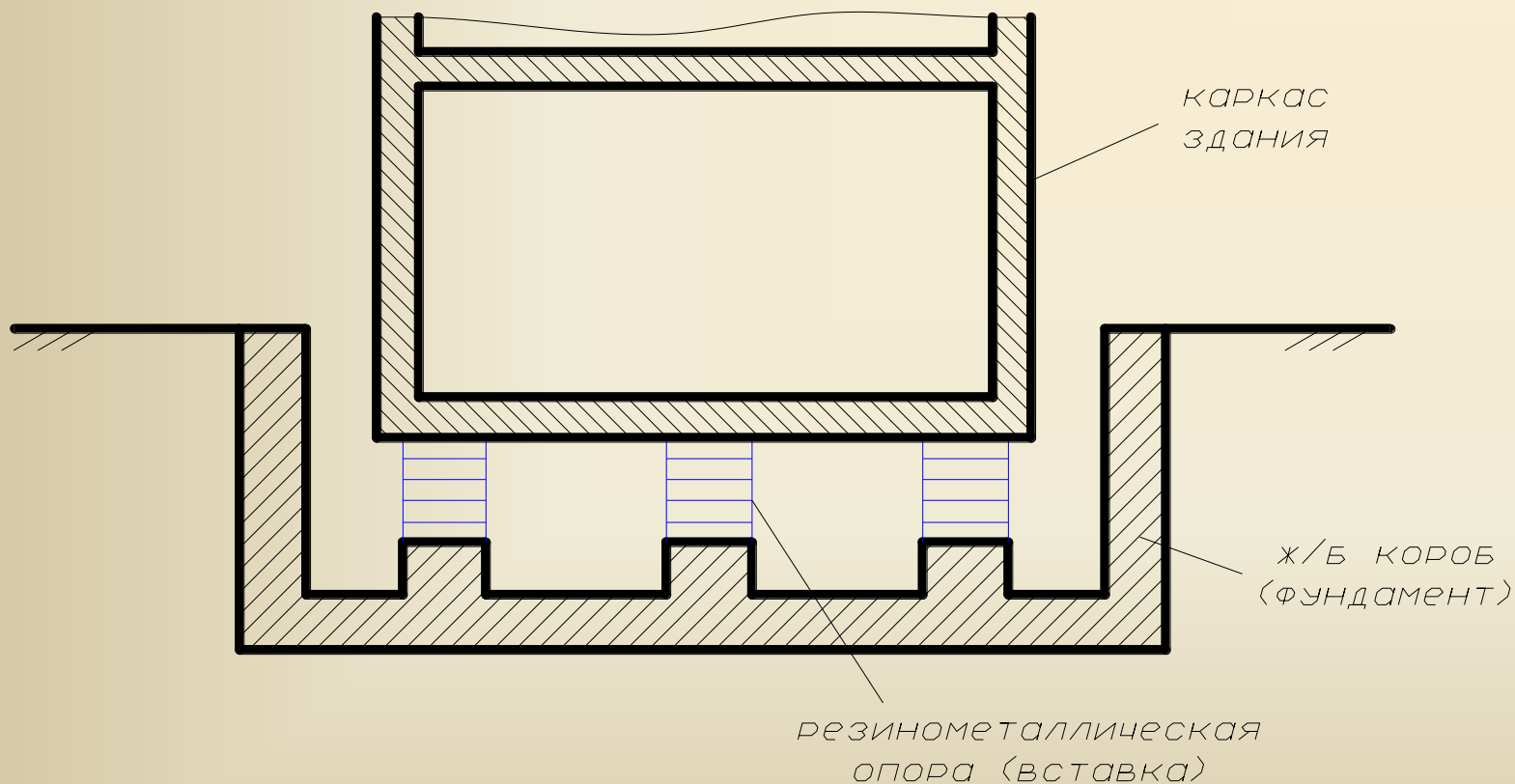




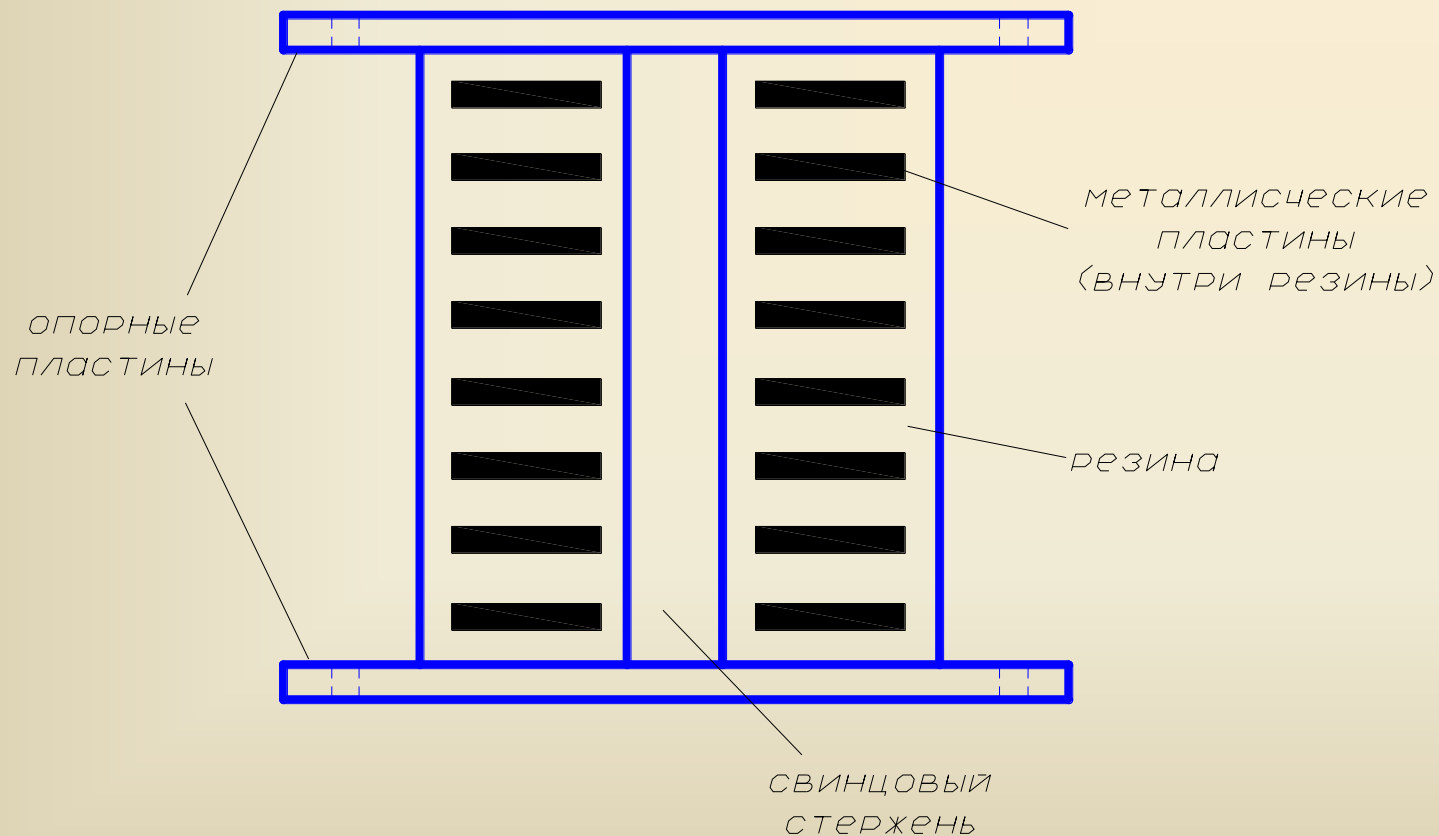
f_2 – частота свободных колебаний без разрушения СЭ;

f_1 – тоже после разрушения СЭ.

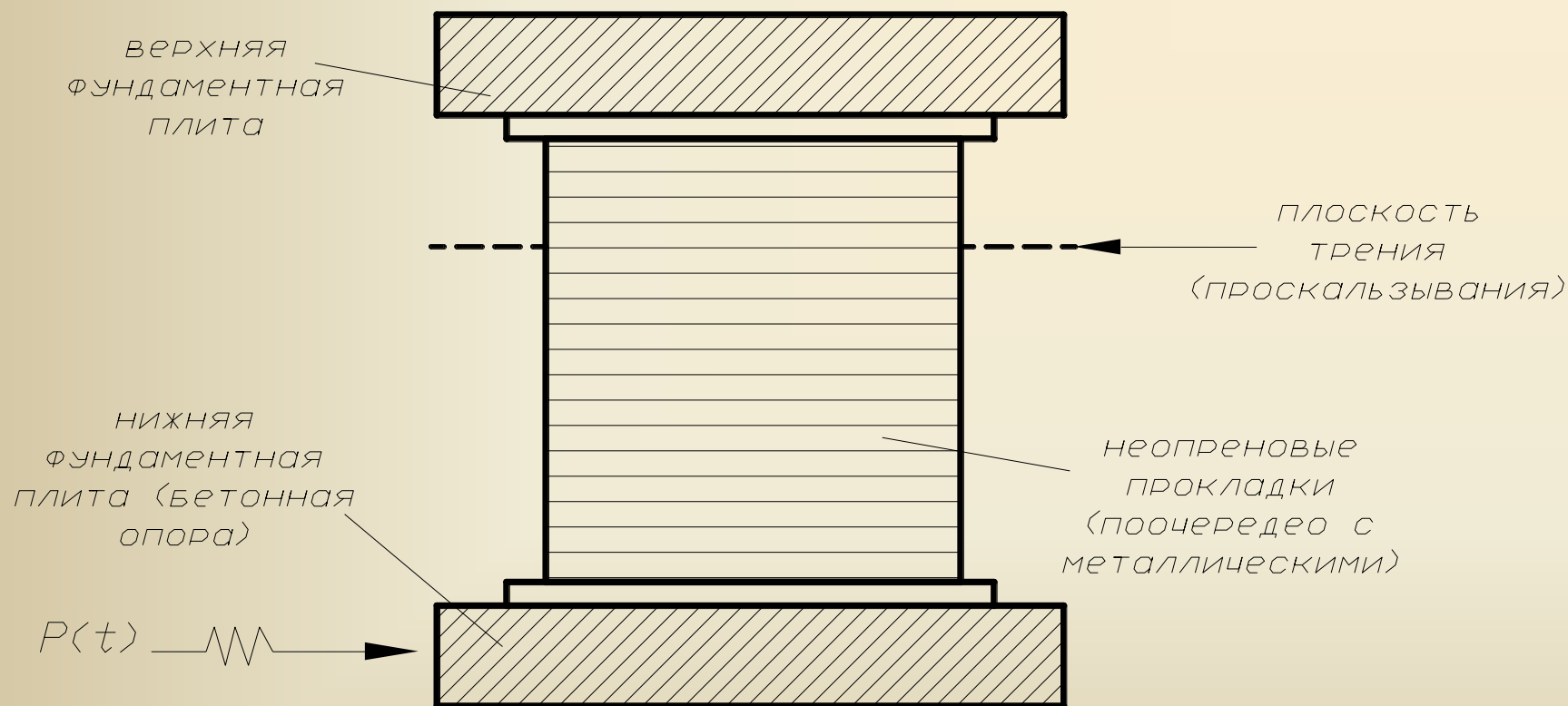
5. *Фундаменты с резинометаллическими опорами*



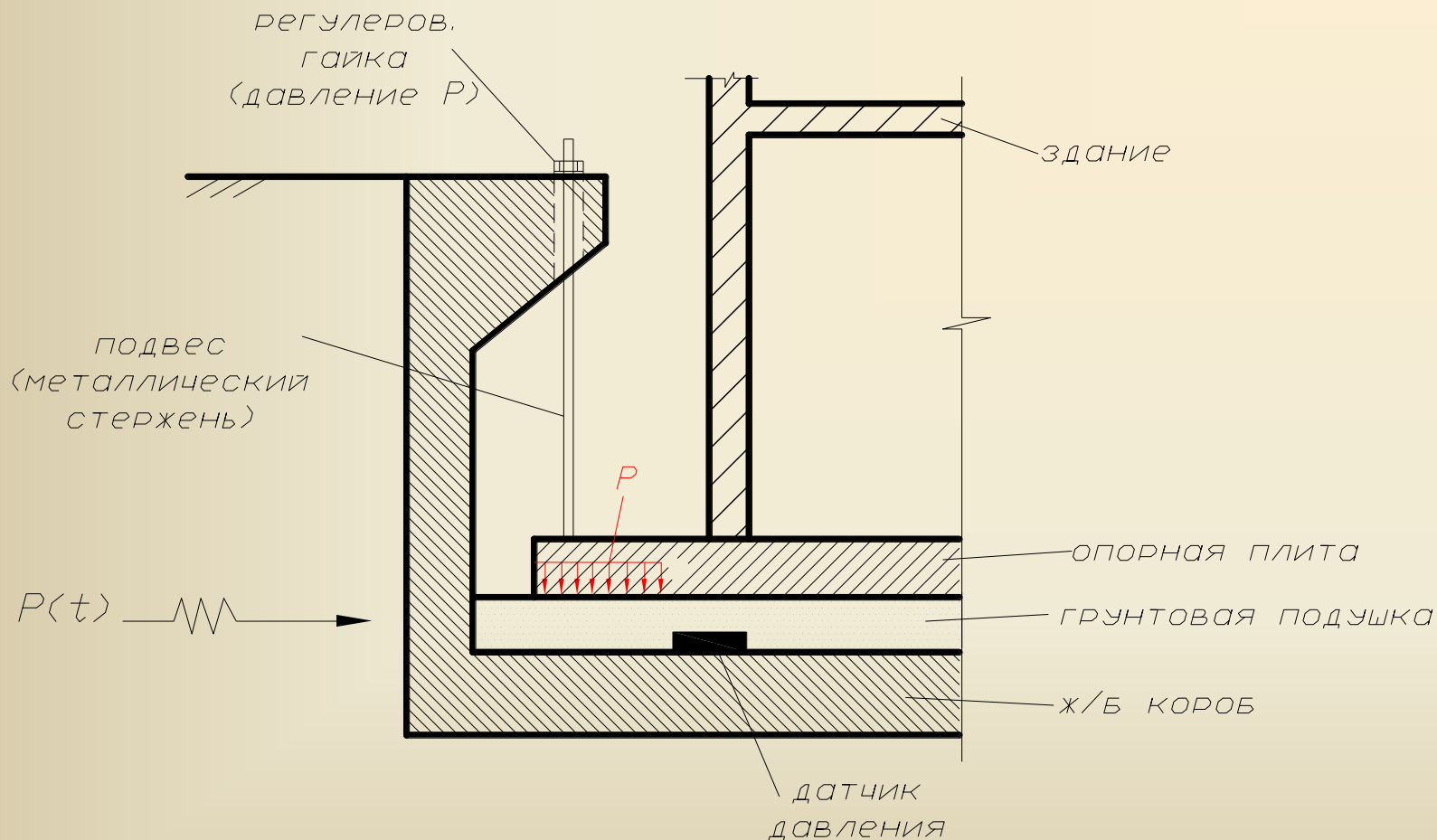
Резинометаллическая опора



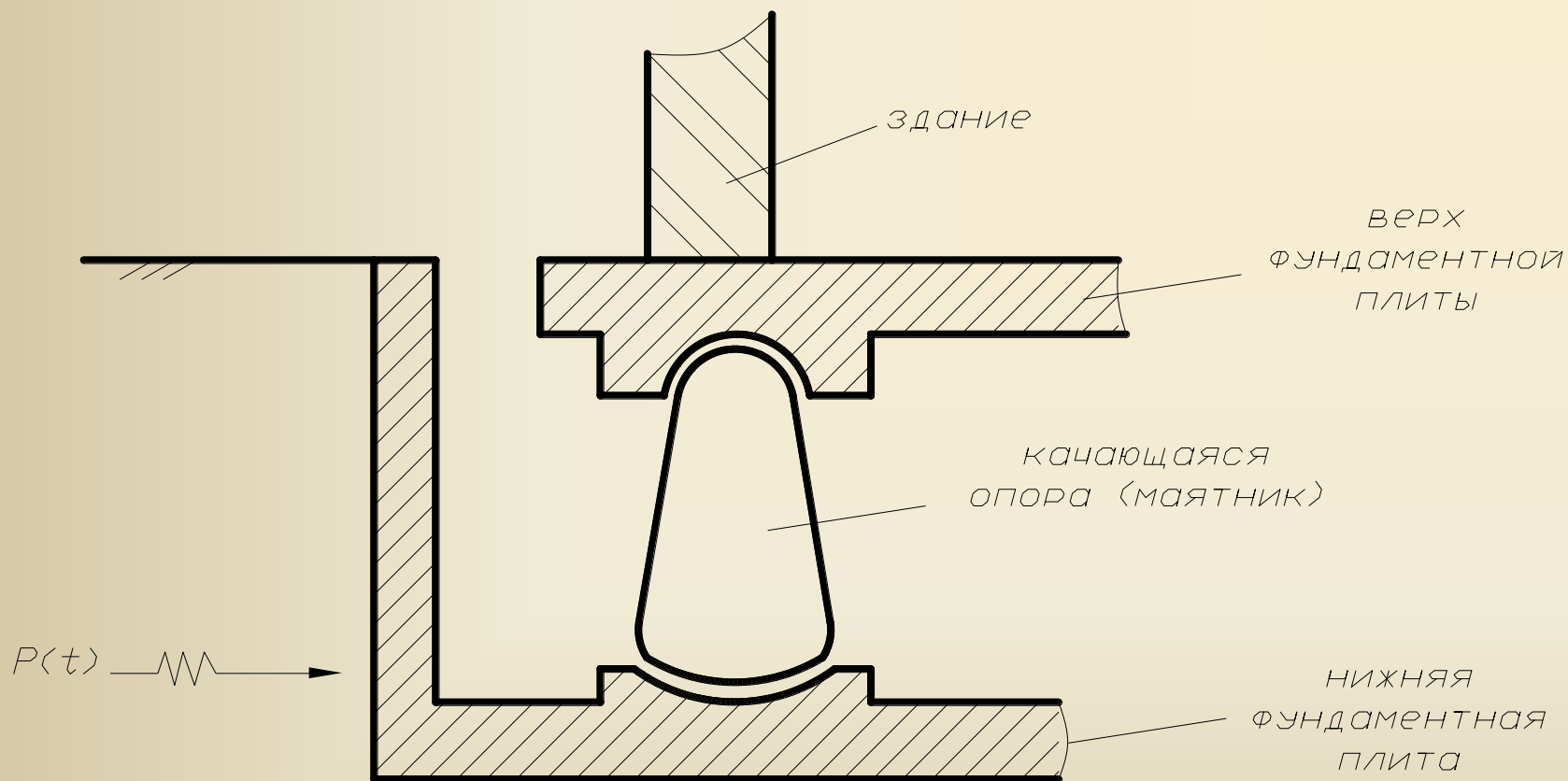
6. Фундаменты с фрикционными опорами (опорами трения)



7. Фундаменты с подвесной системой



8. Фундаменты с качающимися опорами (маятниковые опоры)



**Основания и фундаменты
под машины
с динамическими нагрузками**

Список литературы

1. Савинов О.А. «Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет».

Издание 1 – М., СИ, 1959.

Издание 2 – М., СИ, 1964.

*Издание 3 – Ленинград,
СИ, 1979.*

2. СП 26.13330.2012. Актуализированная версия СНиП 2.02.05-87 «Фундаменты с динамическими нагрузками». М., Минрегион России, 2011.

Основные термины
и определения

Колебания тела (фундамента) –

всякое изменение его положения относительно нулевой точки во времени.

Амплитуда колебаний фундамента (тела) –

максимальное его отклонение от нулевой точки (положения равновесия), мм (мкм).

Частота колебаний фундамента (тела) –

количество полных циклов колебаний за единицу времени, 1/сек, Гц.

Классификация машин
с динамическими нагрузками

1. Машины периодического действия:

а) равномерное вращение

(электродвигатели, моторгенераторы, турбоагрегаты, турбокомпрессоры и т.д.);

Турбоагрегат геотермальный



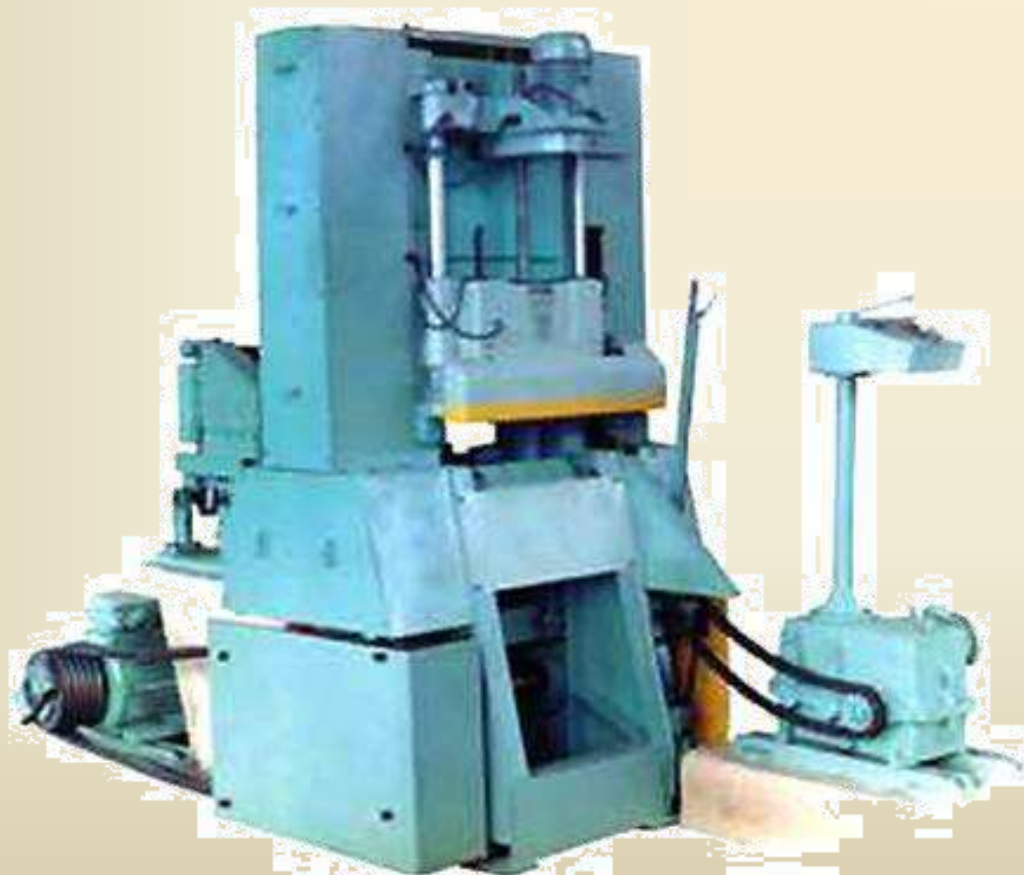
Электродвигатель



б) равномерное вращение и связанное с ним возвратно-поступательное движение

(машины с кривошипношатунными механизмами, компрессоры, насосы, лесопильные рамы, двигатели внутреннего сгорания);

Лесопильная одноэтажная рама



в) возвратно-поступательное движение, завершающееся непрерывно следующими один за другим ударами

(встряхивающие и вибрационно-ударные формовочные машины, применяемые в литейном производстве и в производстве сборных железобетонных конструкций).

2. Машины неперiodического действия:

а) неравномерное вращение или возвратно - поступательное движение

*(приводные электродвигатели
прокатных станов, генераторы
разрывных мощностей и т.д.);*

б) возвратно - поступательное движение, завершающееся ударами

(ковочные и штамповочные молоты, копровые устройства для разделки металлического скрепа);

Кузнечный молот



в) движения, вызывающие перемещения масс обрабатываемого материала (случайные нагрузки)

(дробилки, мельничные установки).

Щековая дробилка



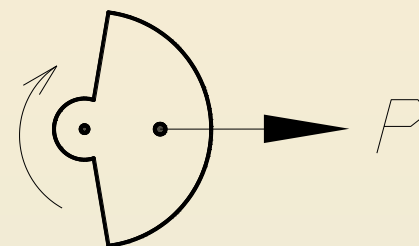
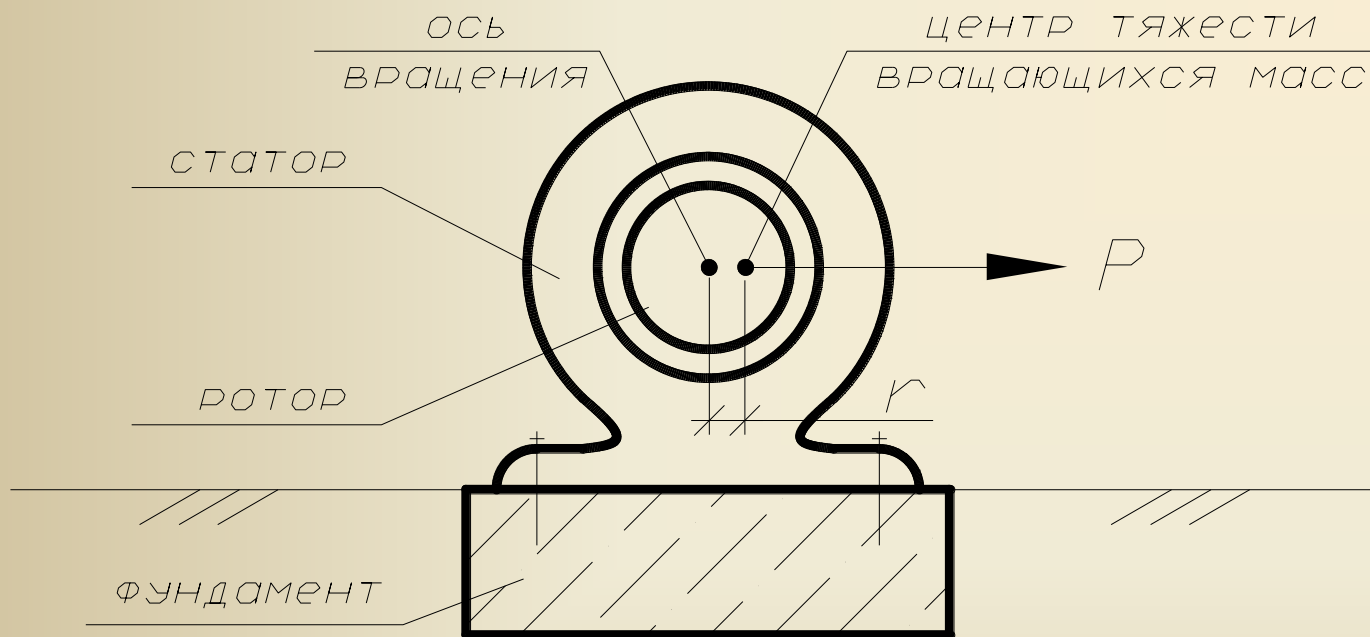
Определение

динамических нагрузок от машин

(в качестве примера,

машины с равномерным или неравномерным

вращением движущихся частей)



При расчетах r принимают равным:

– Электромашины и генераторы

$r = 0,35 \text{ мм}$ при $n \geq 750 \text{ об/мин}$;

$r = 0,60 \text{ мм}$ при $n = 500 \div 750 \text{ об/мин};$

$r = 0,80$ мм при $n < 500$ об/мин;

– *турбоагрегаты:*

$r = 0,07 \text{ мм}$ при $n = 1500 \text{ об/мин};$

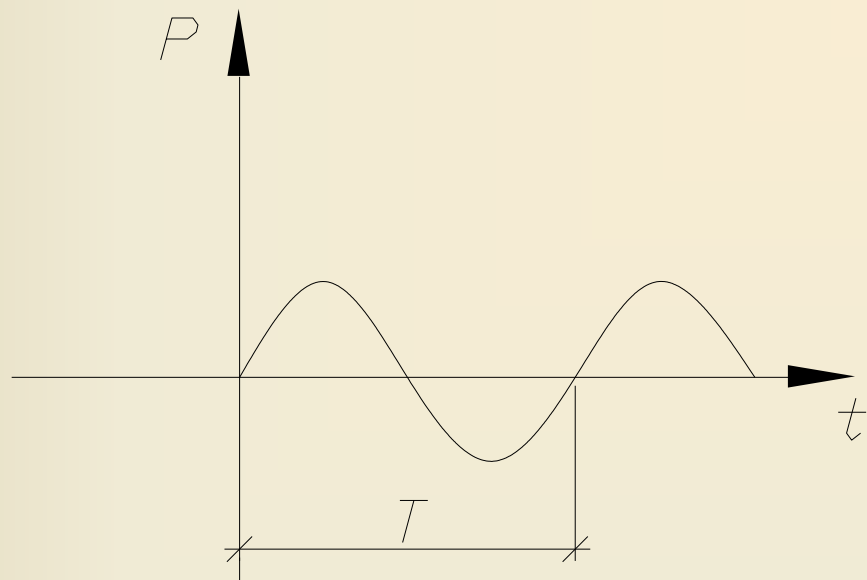
$r = 0,03 \text{ мм}$ при $n = 3000 \text{ об/мин.}$

$$P = m \cdot r \cdot \omega^2,$$

$$m = \frac{Q}{g},$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 0,105 \cdot n \quad \text{или} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T},$$

где P – центробежная сила инерции;
 m – масса вращающейся части машины;
 Q – вес вращающейся части машины;
 n – число оборотов в минуту;
 T – период колебаний;
 ω – угловая скорость, 1/сек.

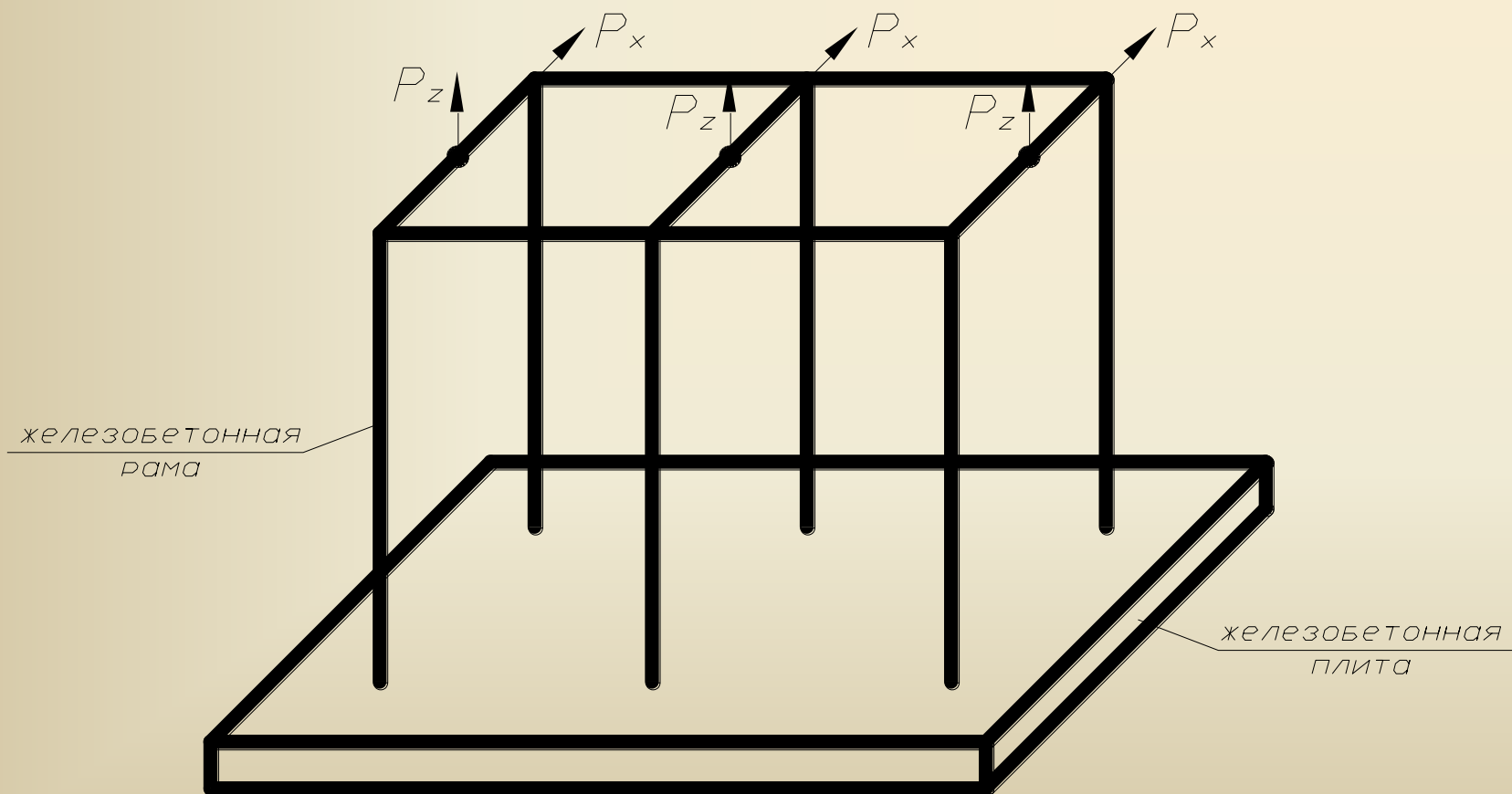


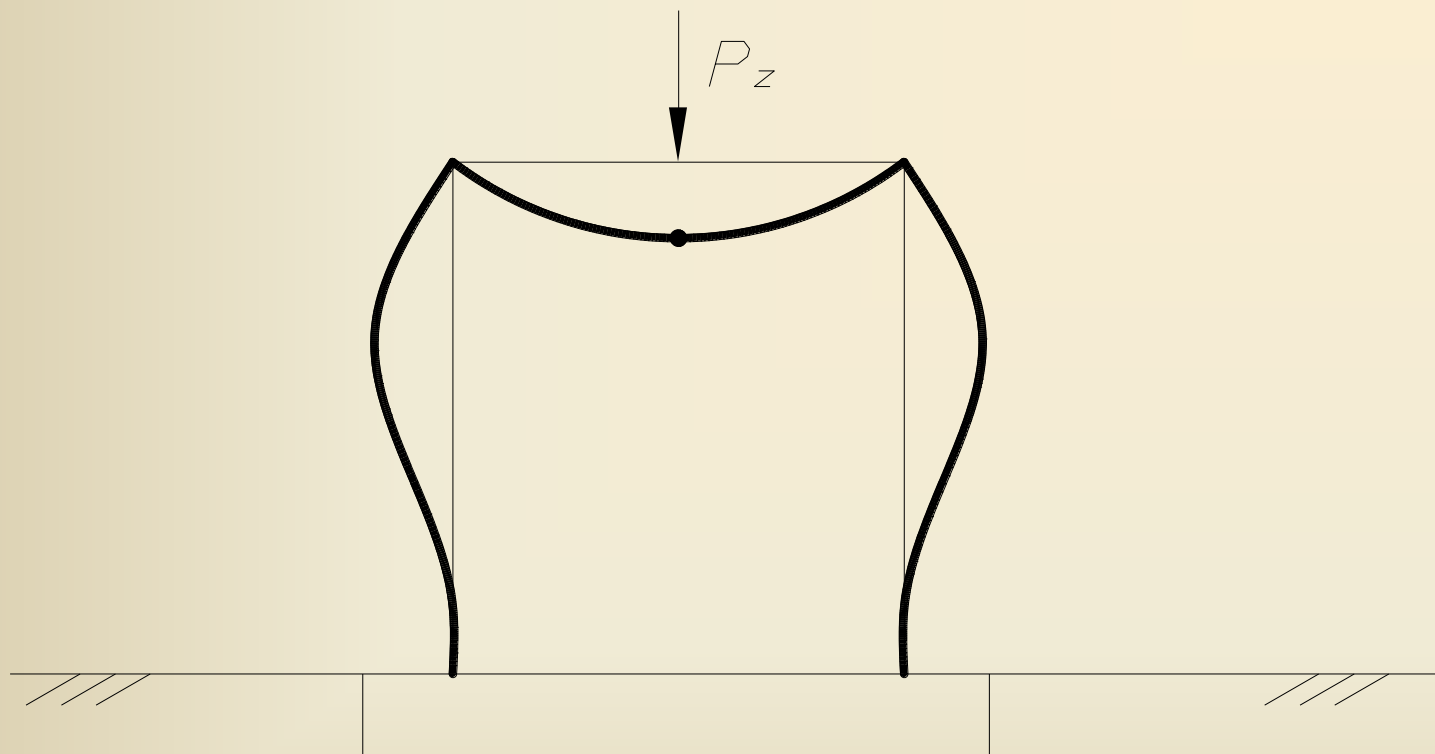
Пути снижения центробежной силы инерции (Р):

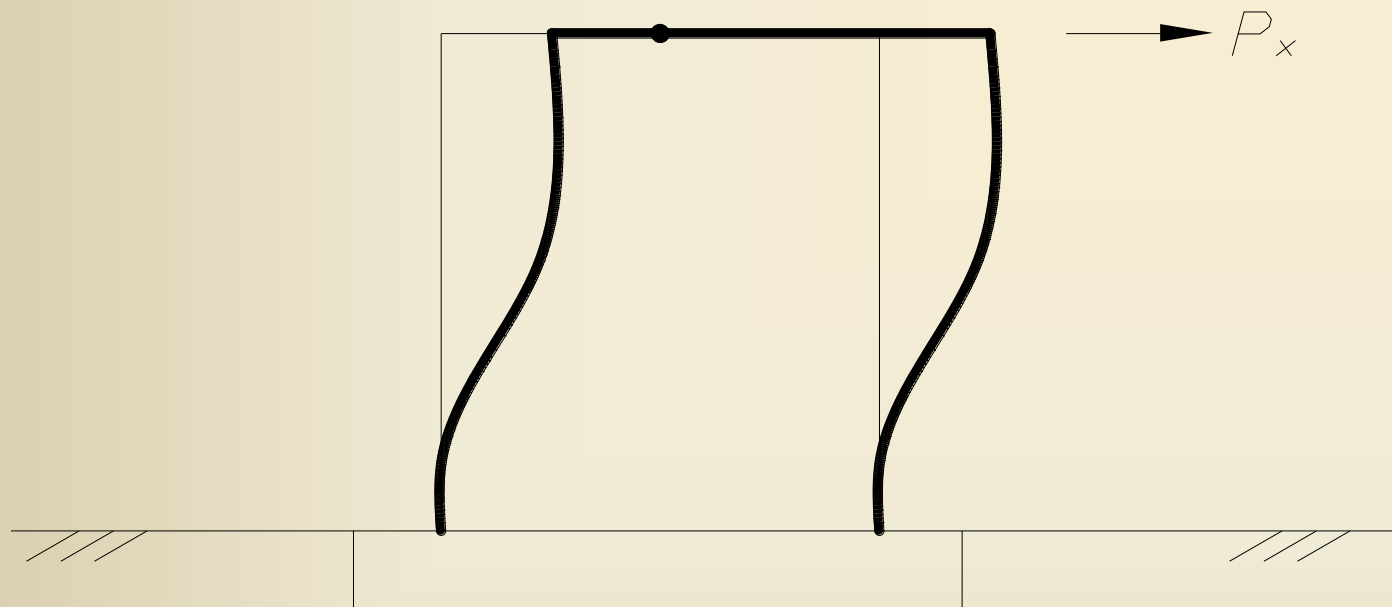
***статическая и динамическая балансировка
вращающегося вала (ротора)***

**Конструкции
фундаментов
под машины**

1. Рамные фундаменты (под турбоагрегаты)

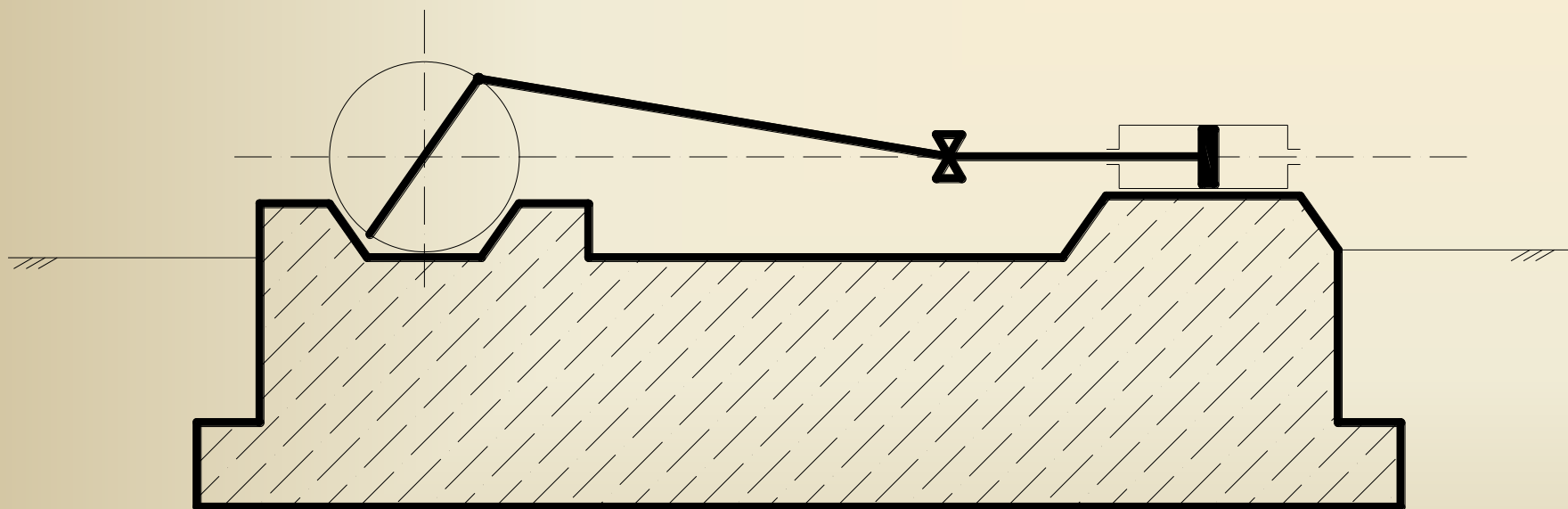




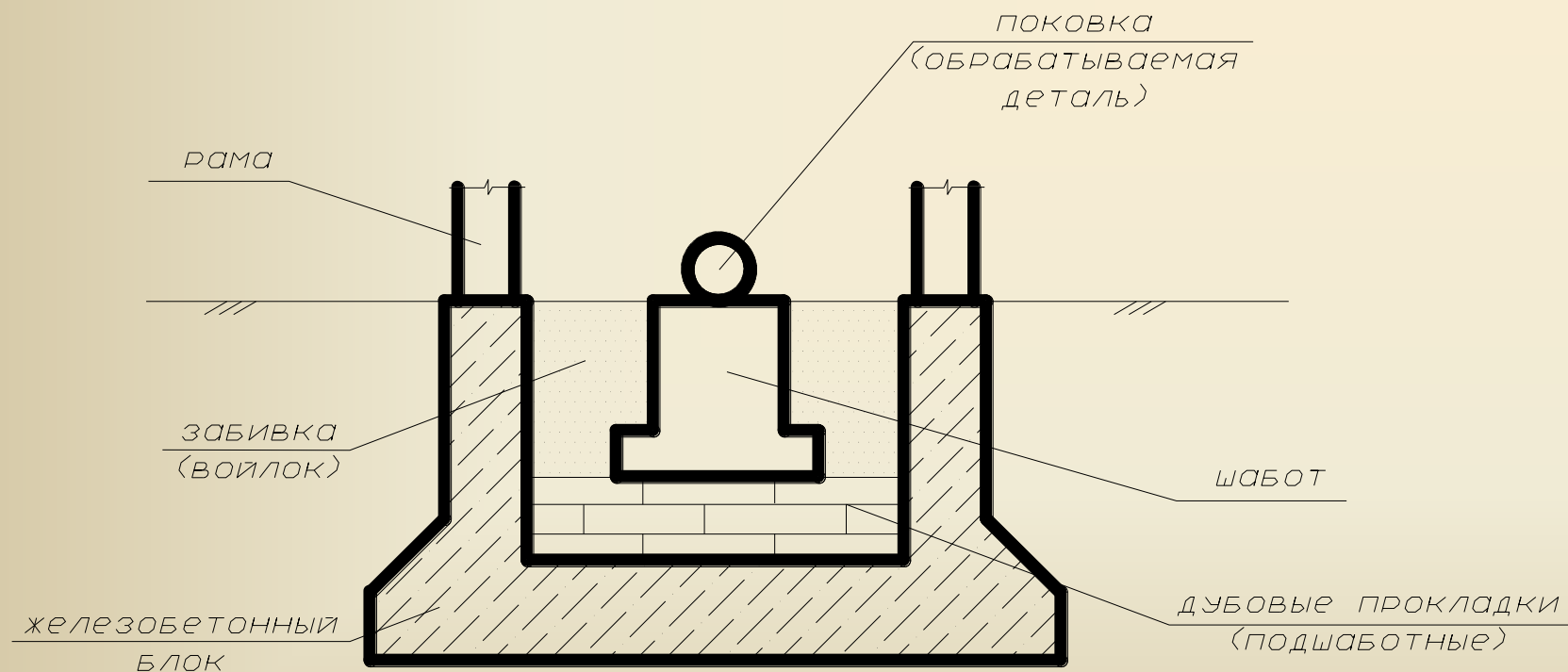


2. Массивные фундаменты:

а) под компрессоры

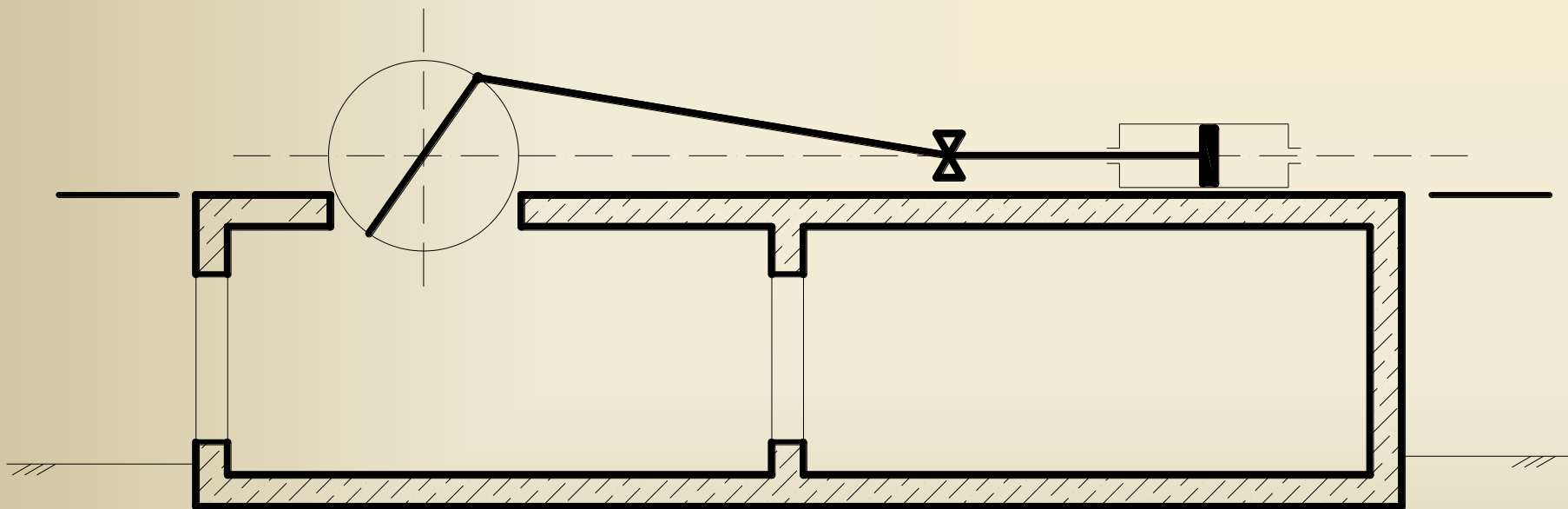


б) под ковочный молот

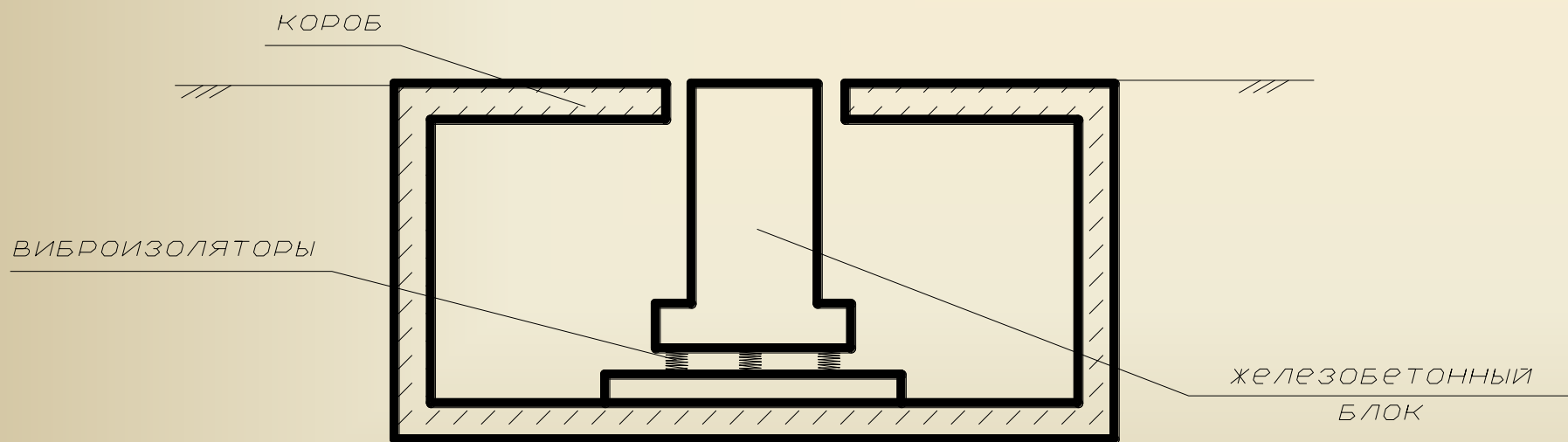


3. Стеновые фундаменты:

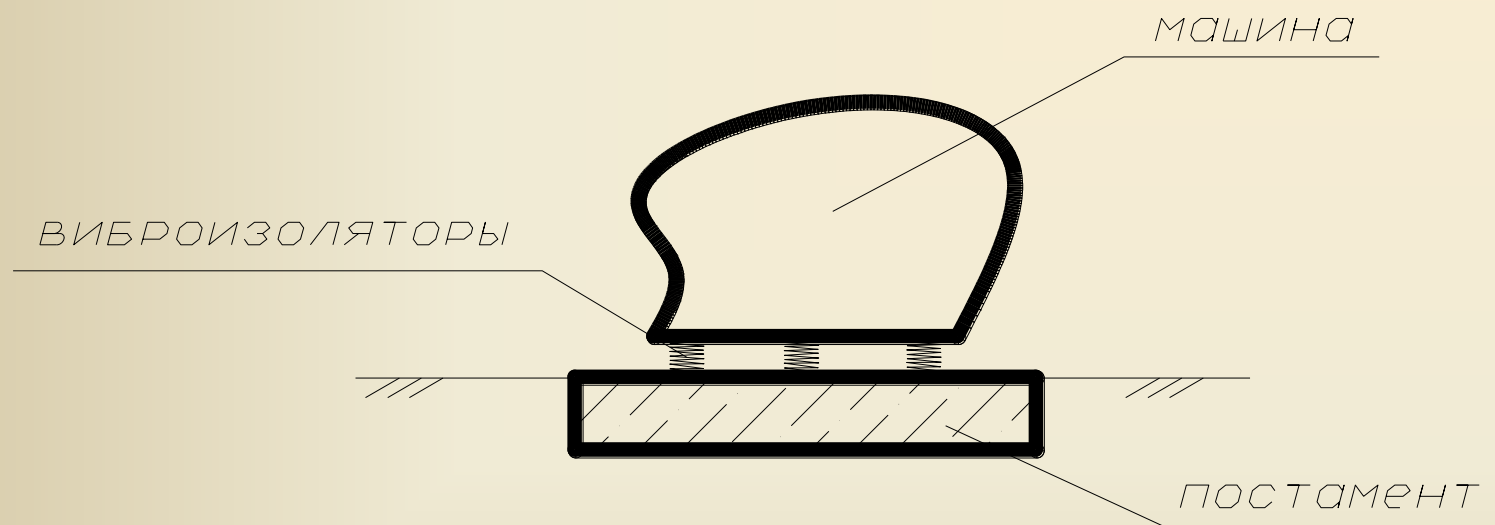
а) под компрессоры



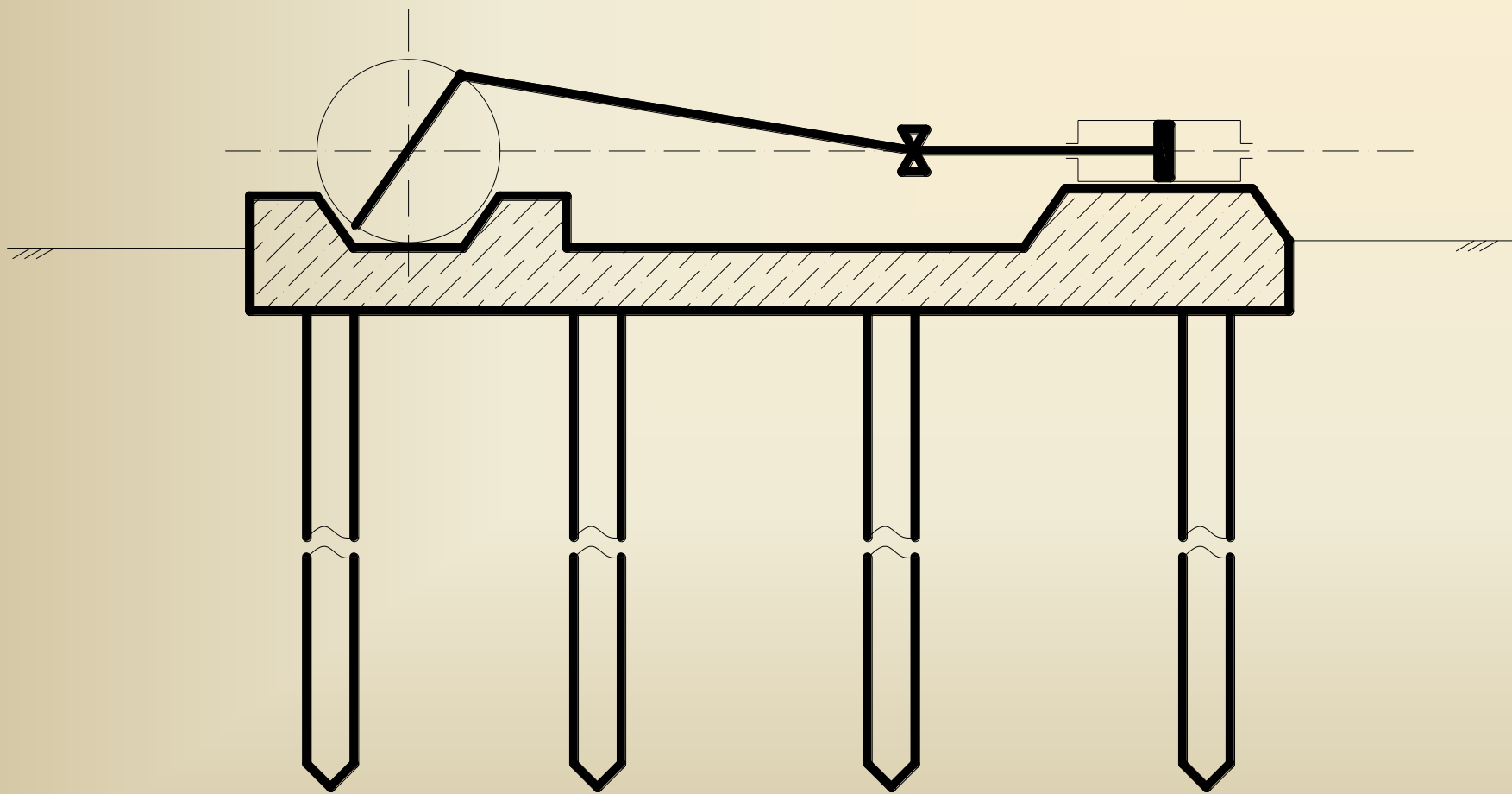
б) под ковочный молот (коробчатые фундаменты)



4. *Фундамент – постамент*



5. Свайные фундаменты



**Принципы
расчета
фундаментов
под машины**

(в соответствии со СНиП 2.02.05-87)

$$1) P_{cp} \leq \gamma_{c0} \cdot \gamma_{c1} \cdot R,$$

где γ_{c0} – коэффициент условия работы, учитывающий характер динамических нагрузок и ответственность машин

($\gamma_{c0} = 0,5$ – для молотов, формовочных машин, $\gamma_{c0} = 0,8$ – для дробилок, мельниц, компрессоров);

γ_{c1} – коэффициент условия работы грунтового основания ($\gamma_{c1} = 1,0$ или $\gamma_{c1} = 0,7$);

P_{cp} – среднее давление под подошвой фундамента на основание от расчетные статических нагрузок;

R – расчетное сопротивление основания.

$$2) \ a \leq a_u,$$

*где a – наибольшая амплитуда колебаний фунда-
мента, определяется расчетом;*

например,

для машин с импульсной нагрузкой (молоты и т.п.):

$$a_z = \frac{(1 + \varepsilon) \cdot I}{m \cdot \lambda_z},$$

*a_z – наибольшая амплитуда колебаний фунда-
мента при импульсной нагрузке;*

I – импульс силы ($I = m_0 \cdot v$);

m – масса системы;

λ_z – частота свободных колебаний (собственных);

ε – коэффициент восстановления удара;

a_u – максимально допустимая амплитуда колебаний фундамента, принимается по СНиП 2.02.05-87 (зависит от вида машины и частоты колебаний) или по тех.паспорту машины.