

**Проектирование
оснований и фундаментов
на вечномёрзлых грунтах**

Мерзлые грунты – это грунты, имеющие отрицательную температуру ($t \leq 0^{\circ}\text{C}$) и содержащие в своем составе лед.

Мерзлые грунты делятся на:

- сезонномерзлые;*
- многолетнемерзлые (вечномерзлые).*

Вечномерзлые – это грунты, находящиеся в мерзлом состоянии в течение трех и более лет.

Классификация вечномерзлых грунтов

1. По площади распространения (простираания):

- сплошное;*
- островное;*
- прерывистое (кружевное).*

2. По мощности (глубине) простирания:

– малой мощности

(до 5 метров);

– средней мощности

(от 5 до 120 метров);

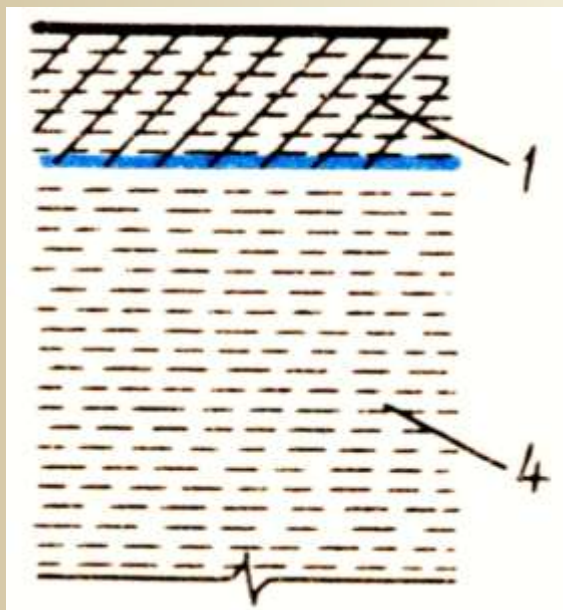
– большой мощности

(более 120 метров).

3. По характеру деятельного слоя:

Деятельный слой – это слой грунта, оттаивающий летом и промерзающий зимой.

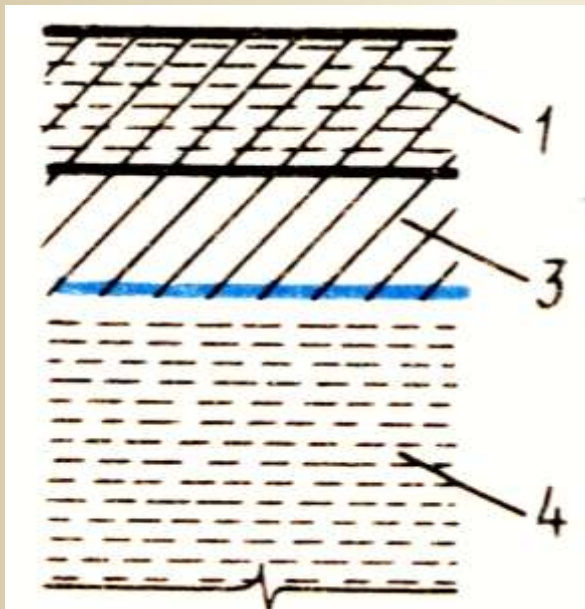
– слившийся деятельный слой;



1 – деятельный слой;

4 – вечномёрзлый грунт.

– неслившийся деятельный слой;

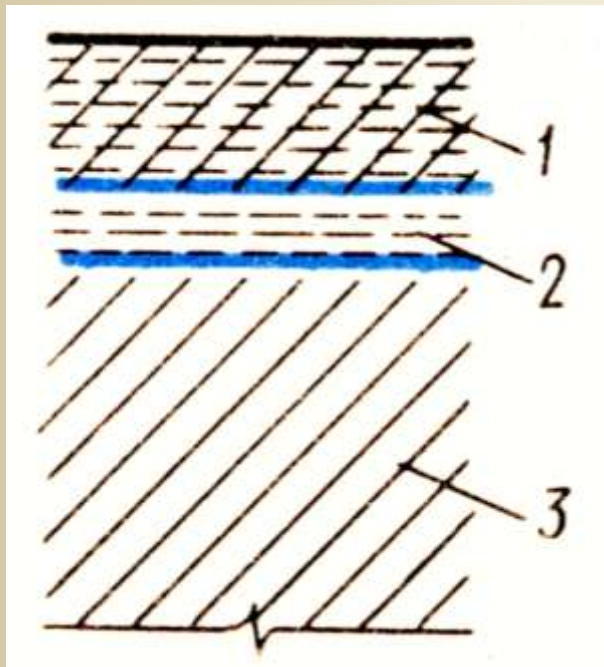


1 – деятельный слой;

3 – талый грунт;

4 – вечномёрзлый грунт.

– деятельный слой с перелетком.



1 – деятельный слой;

2 – перелеток;

3 – талый грунт.

(перелеток – это слой мерзлого грунта небольшой толщины, который с повышением температуры в последующем исчезает)

4. По наличию льда в грунте:

– сильнольдистые

(льда содержится $> 40\%$ по объему);

– льдистые

(льда от 25 до 40 %);

– слабольдистые

(льда $< 25\%$).

5. По степени цементации льдом:

– твердомерзлые грунты

(крупнообломочные, песчаные, пылевато-глинистые грунты, прочно сцементированные льдом, хрупкие при быстром приложении нагрузки, при нагрузках от зданий и сооружений практически не сжимаемы);

– пластичномерзлые грунты

(песчаные, пылевато-глинистые грунты, содержится значительное количество незамерзшей воды, при приложении нагрузки от здания или сооружения сжимаются);

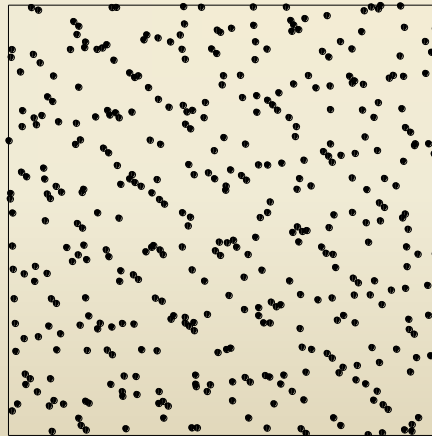
– сыпучемерзлые грунты

(песчаные, крупнообломочные грунты, не сцементированы льдом, имеют примерно такие же деформационные свойства как и немерзлые грунты).

6. По криогенной (морозной) текстуре:

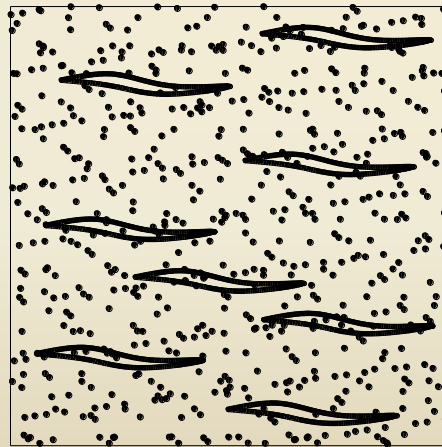
– массивная (слившаяся)

(равномерное расположение ледяных кристаллов);



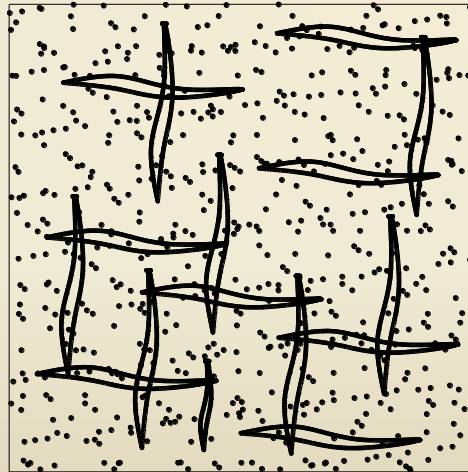
— слоистая

(ледяные включения расположены в виде линз-прослоек с ориентацией в одном направлении);



– *сетчатая (ячеистая)*

(ледяные включения расположены в виде линз-прослоек различной ориентации, образующие сетку);



Гидрогеология вечномёрзлых грунтов представлена:

— надмерзлотными грунтовыми водами

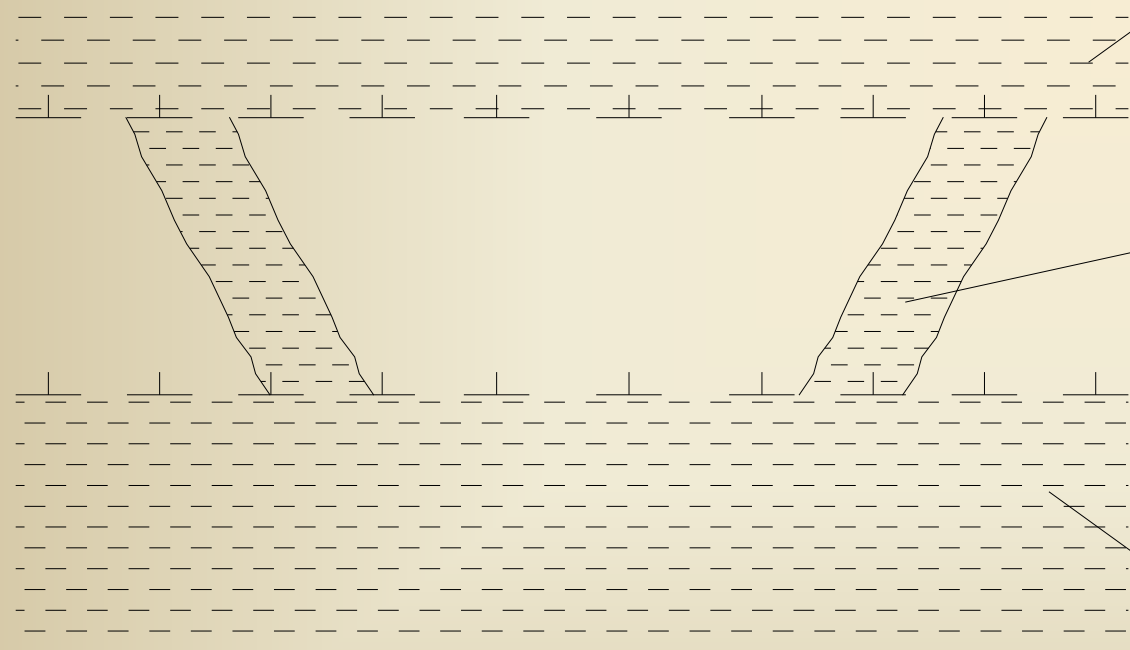
(в деятельном слое);

— межмерзлотными грунтовыми водами

*(между слоями веч-
номёрзлого грунта);*

— подмерзлотными грунтовыми водами

(под слоем вечномёрзлого грунта).



надмерзлотные
грунтовые воды

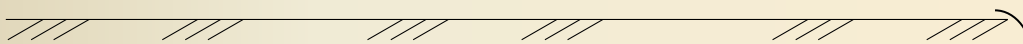
межмерзлотные
грунтовые воды

подмерзлотные
грунтовые воды

Наличие незамерзшей воды существенно влияет на прочность и деформируемость грунта.

При промерзании грунта вода мигрирует к зоне промерзания, увеличивается влажность грунта, возникают силы морозного пучения.

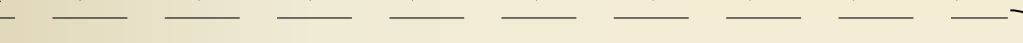
$-t^{\circ}C$



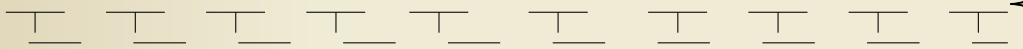
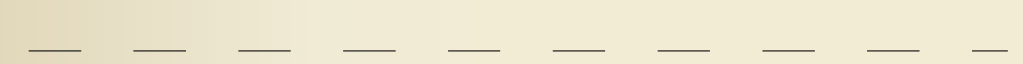
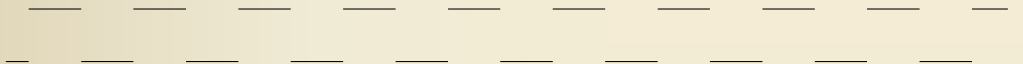
дейт.слой
(пучинистый)



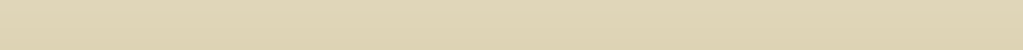
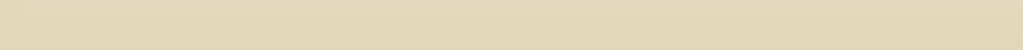
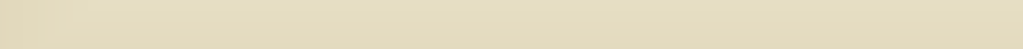
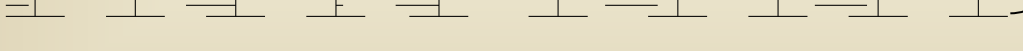
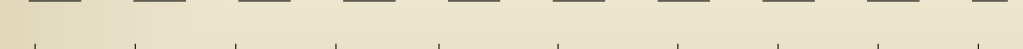
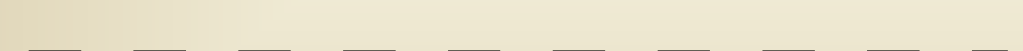
миграция
воды



надмерзлотная
вода



ВМГ

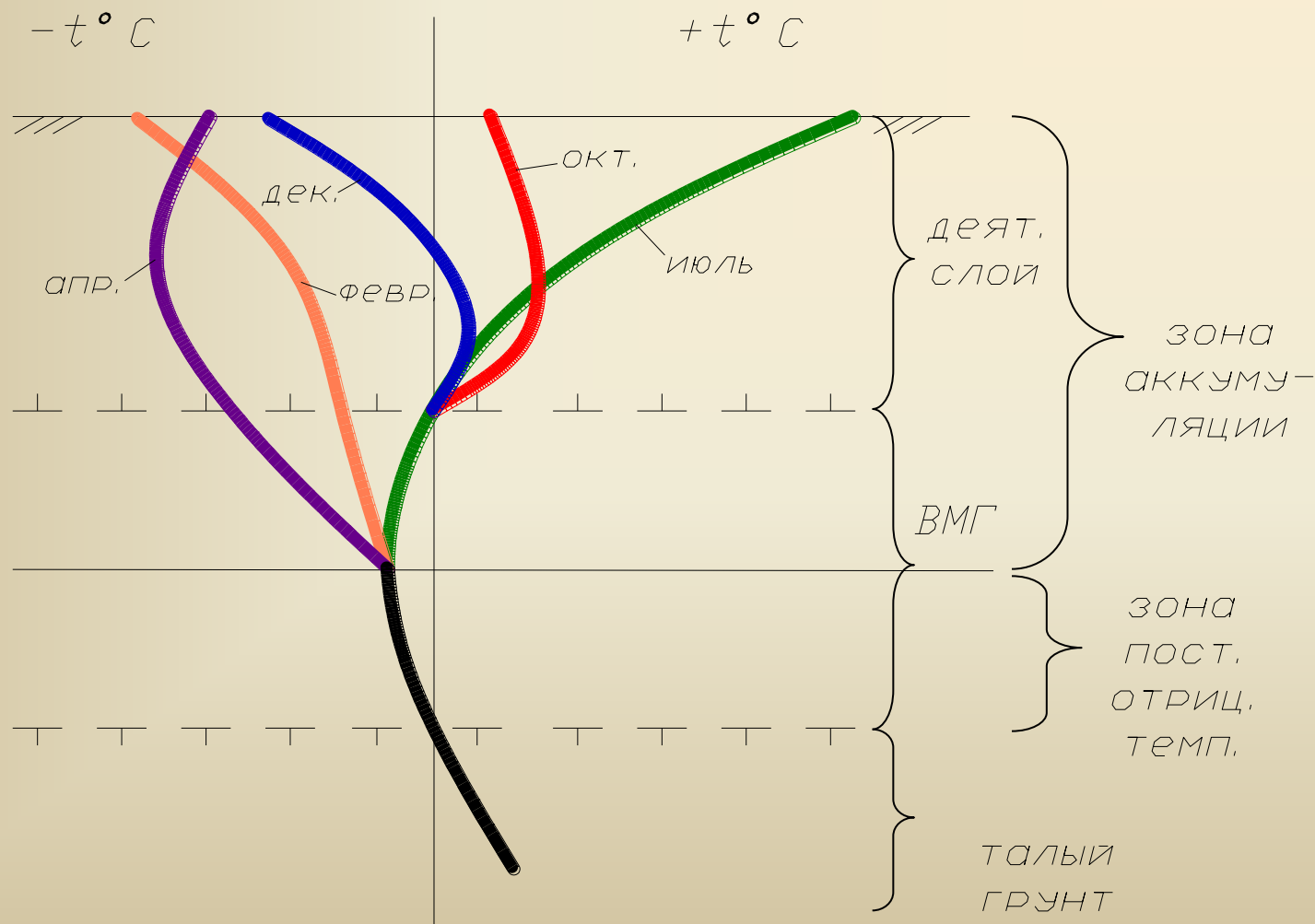


талый
грунт

талый
грунт

***Пригодность ВМГ в качестве оснований фундамен-
тов зависит от его температуры.***

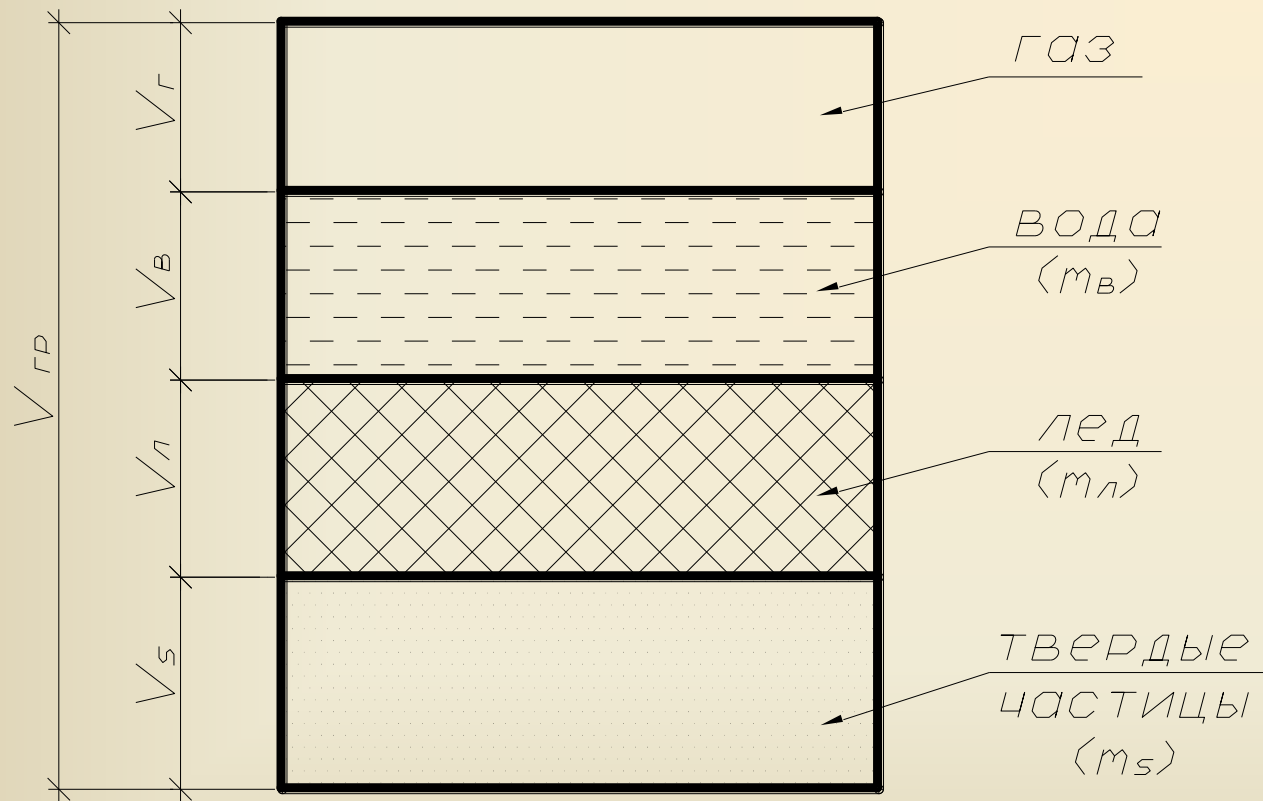
Распределение температуры в грунте в течение года:



Физические свойства вечномёрзлых грунтов

Имеют как физические свойства немерзлых грунтов, так и обладают дополнительными свойствами (только для мерзлых грунтов).

Мерзлый грунт является четырехкомпонентной системой.



Дополнительные физические свойства

1. Суммарная влажность –

*это отношение массы всех видов воды
в грунте к массе твердых частиц
грунта.*

$$\omega_c = \frac{m_w + m_l}{m_s};$$

или

$$\omega_c = \omega_v + \omega_{гр} = \omega_v + \omega_{ц} + \omega_{н},$$

где ω_v — влажность, обусловленная включениями льда;

$\omega_{гр}$ — влажность грунта между включениями льда (из влажности, обусловленной льдом-цементом ($\omega_{ц}$) и незамерзшей водой ($\omega_{н}$)).

2. Суммарная льдистость –

***это отношение объема льда к объему
грунта.***

$$L_c = L_v + L_{\text{ц}} = \frac{V_l}{V_{\text{гр}}},$$

где L_v – льдистость грунта за счет включений льда;

$L_{\text{ц}}$ – льдистость грунта за счет льда-цемента.

3. Относительная льдистость –

это отношение массы льда к массе воды в твердой и жидкой фазе.

$$i_o = \frac{m_l}{m_l + m_w}.$$

Также, для расчетов используются следующие теплотехнические характеристики мерзлого грунта:

1) удельная теплоемкость грунта (с) –

это количество тепла в ккал, необходимое для изменения температуры 1см^3 грунта на 1°C ;

2) коэффициент теплопроводности (λ) –

это количество тепла в ккал, проходящее в 1 секунду через площадь 1 см^2 слоя грунта, толщиной 1 см при разности температур на наружных поверхностях в 1°C ;

*3) коэффициент температуропроводности (a) –
характеризует скорость выравнива-
ния температур в различных точках
грунта.*

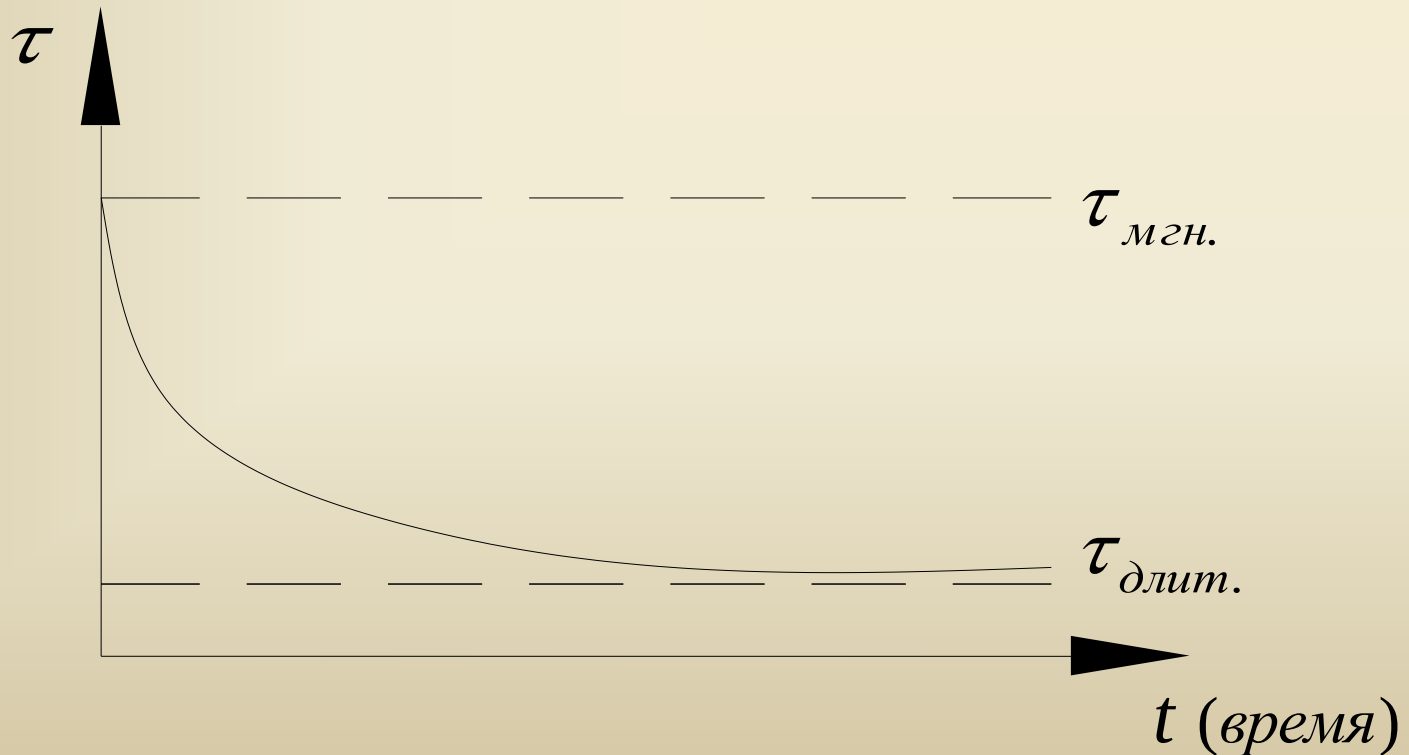
$$a = \frac{\lambda}{c}$$

Механические свойства ВМГ

Зависят от продолжительности действия нагрузки и температуры грунта, так как связи между частицами грунта в основном представлены льдом (пластичновязкое тело, обладающее свойством ползучести).

Давление на грунт при котором ползучесть ледяных включений отсутствует (не проявляется) называется длительной прочностью мерзлого грунта.

На начальном этапе загрузки — мгновенная прочность.



При длительном действии нагрузки сопротивление мерзлого грунта может быть в 5 – 10 раз меньше, чем при кратковременном (мгновенном) воздействии.

Прочность (сопротивление) ВМГ характеризуется законом Кулона (см. курс «Механика грунтов»)

$$\tau_t = \sigma_t \cdot \operatorname{tg} \varphi_t + c_t,$$

где τ_t – касательные напряжения (сопротивление сдвигу);

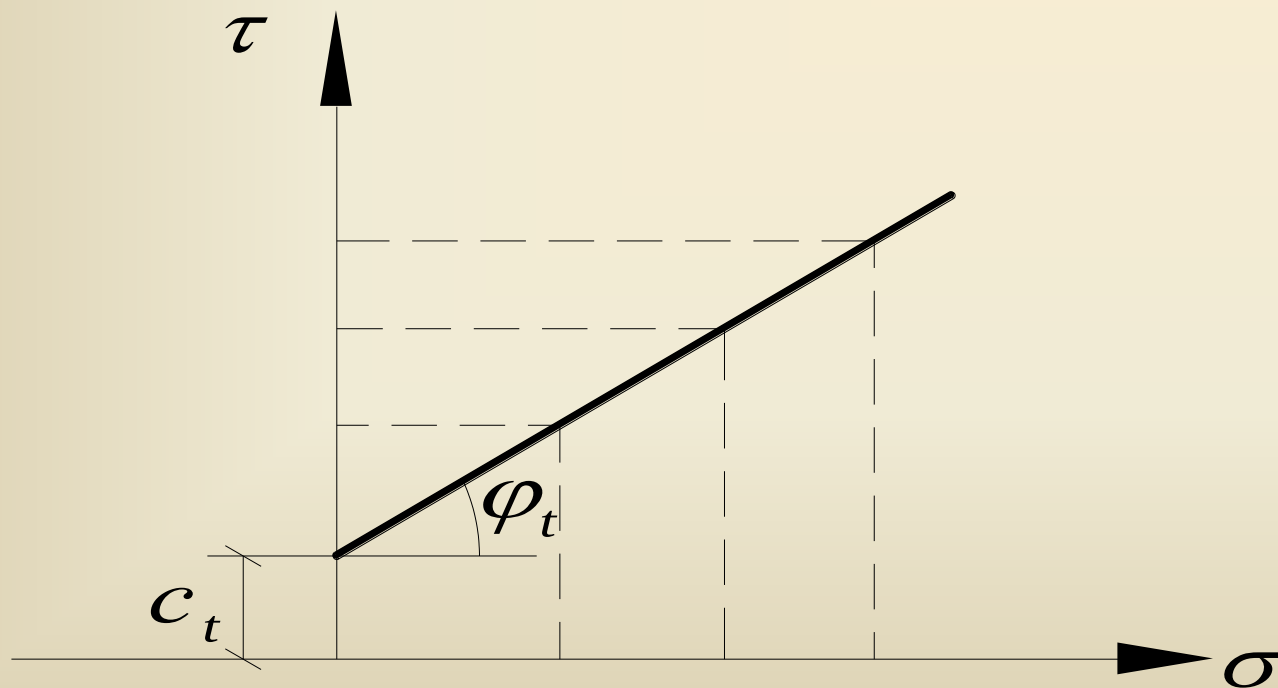
σ – нормальные давления;

φ_t – угол внутреннего трения;

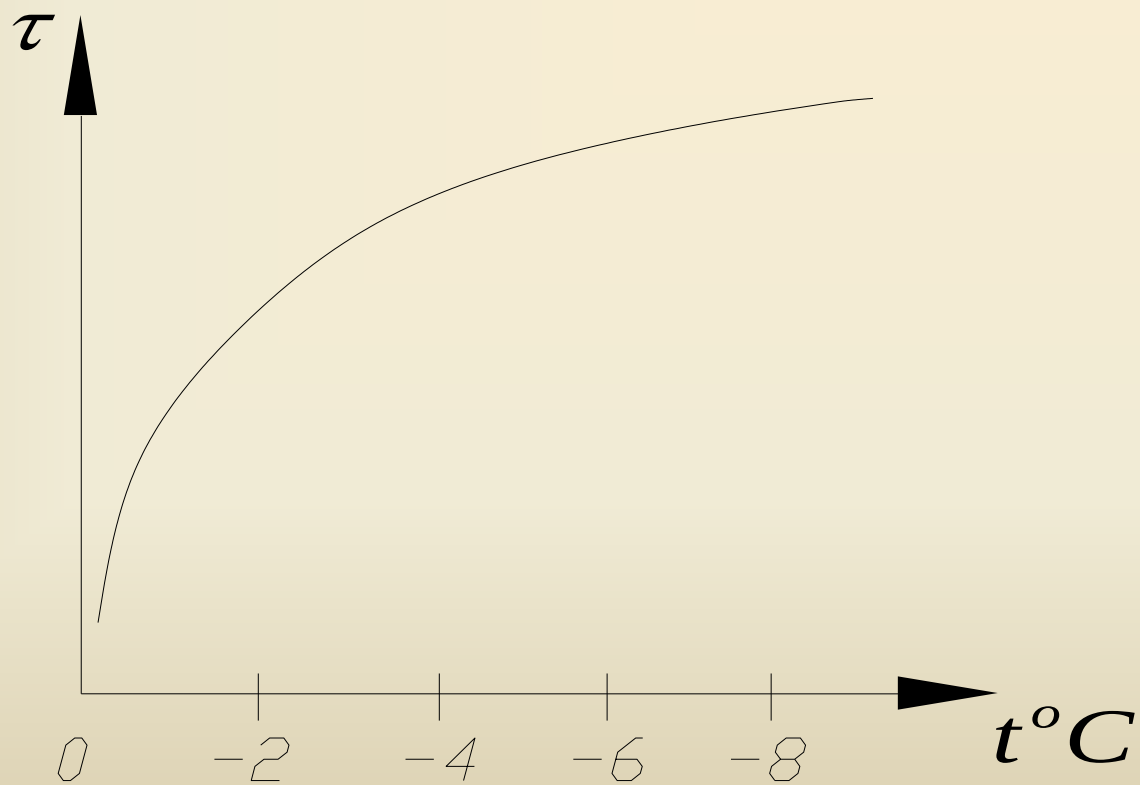
c_t – удельная сила сцепления.

*Зависимость сдвигу ВМГ
от нормального давления (а) и температуры (б)*

а)



б)



Деформируемость (сжимаемость) ВМГ

Зависит от характера, величины и длительности действия нагрузки.

Твердомерзлые грунты деформируются незначительно и относятся к категории малосжимаемых.

ВМГ обладают как упругими, так и остаточными деформациями. Упругие преобладают у твердомерзлых грунтов и при быстром приложении нагрузки, остаточные – для грунтов с t близкой к 0°C и при медленном приложении нагрузки.

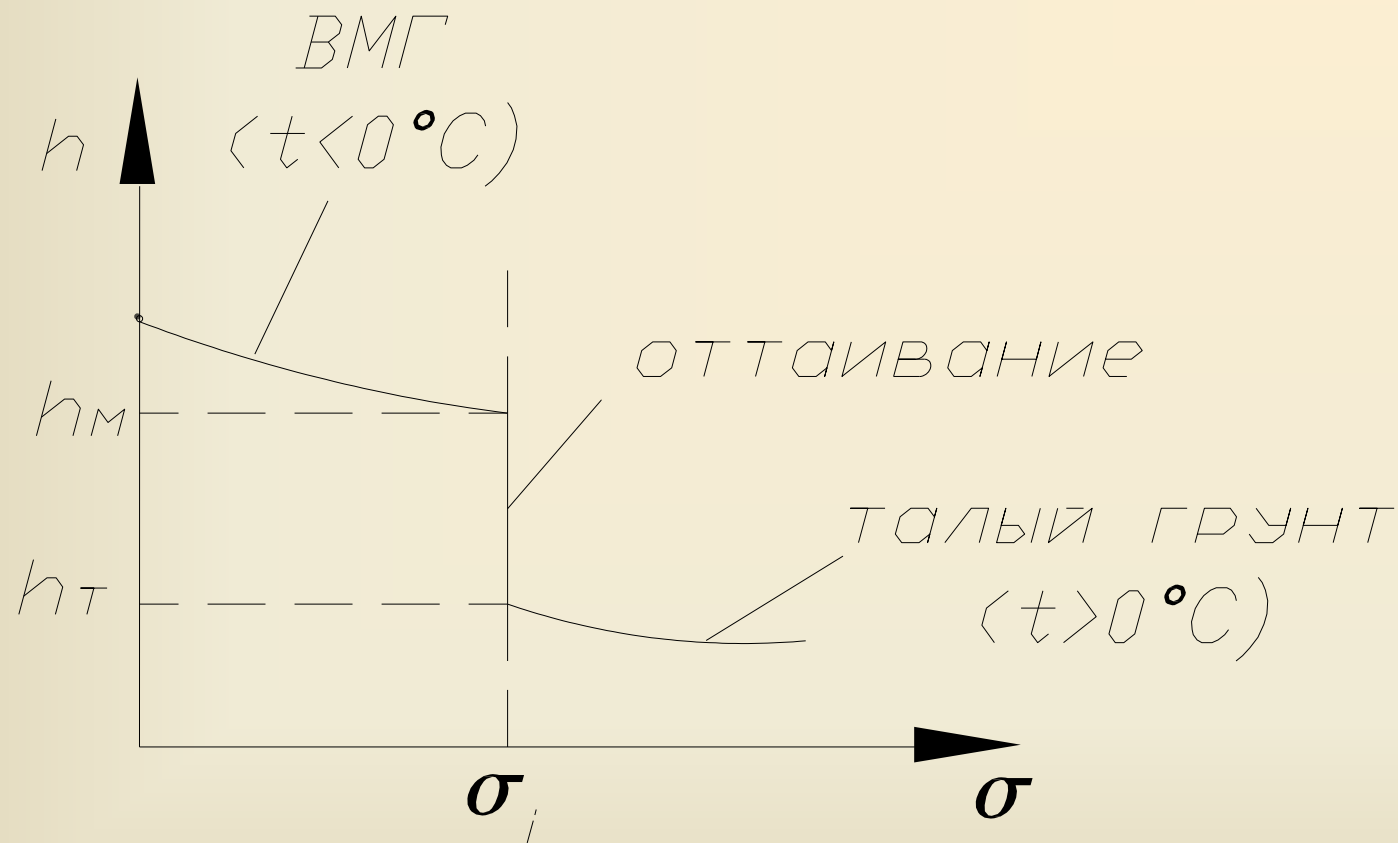
Деформируемость характеризуется показателями:

E – модуль деформации, МПа;

a – коэффициент уплотнения (сжимаемости), МПа⁻¹

как и для талых грунтов.

Деформируемость ВМГ существенно изменяется при переходе от мерзлого состояния к талому (подобно просадочному при замачиванию грунту – см. лекцию «Лессовидные просадочные грунты»).



$$S_{om} = h_m - h_t$$

Деформации ВМГ при оттаивании возможны и без нагрузки (за счет вытаивания ледяных включений).

Оценивается коэффициентом оттаивания:

$$A_{th} = \frac{S_{om}}{h_m},$$

где S_{om} – осадка слоя грунта, оттаивающего без приложения внешней нагрузки, мм;

h_m – высота слоя (образца) грунта в мерзлом состоянии, мм.

Принципы
использования вечномёрзлых грунтов
в качестве оснований

I принцип использования вечномерзлых

грунтов в качестве основания –

сохранение вечномерзлого состояния грунтов как в процессе строительства, так и в течение всего периода эксплуатации зданий и сооружений.

II принцип использования вечномёрзлых

грунтов в качестве основания –

**использование в основании зданий
и сооружений предварительно
оттаявших грунтов или грунтов,
оттаивающих в период эксплуа-
тации.**

Выбор принципа использования вечноммерзлых грунтов в качестве оснований зданий и сооружений производится на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом:

- инженерно-геологических и криологических условий строительной площадки;*
- технического назначения здания;*
- теплового режима здания;*
- объемно-планировочного решения здания.*

Применение на одной строительной площадке двух принципов использования вечноммерзлых грунтов в качестве оснований зданий и сооружений допускается только в качестве исключения.

Принятый принцип использования вечномёрзлых грунтов в качестве оснований зданий и сооружений должен соблюдаться с начала производства строительных работ и до окончания эксплуатации здания (до его ликвидации).

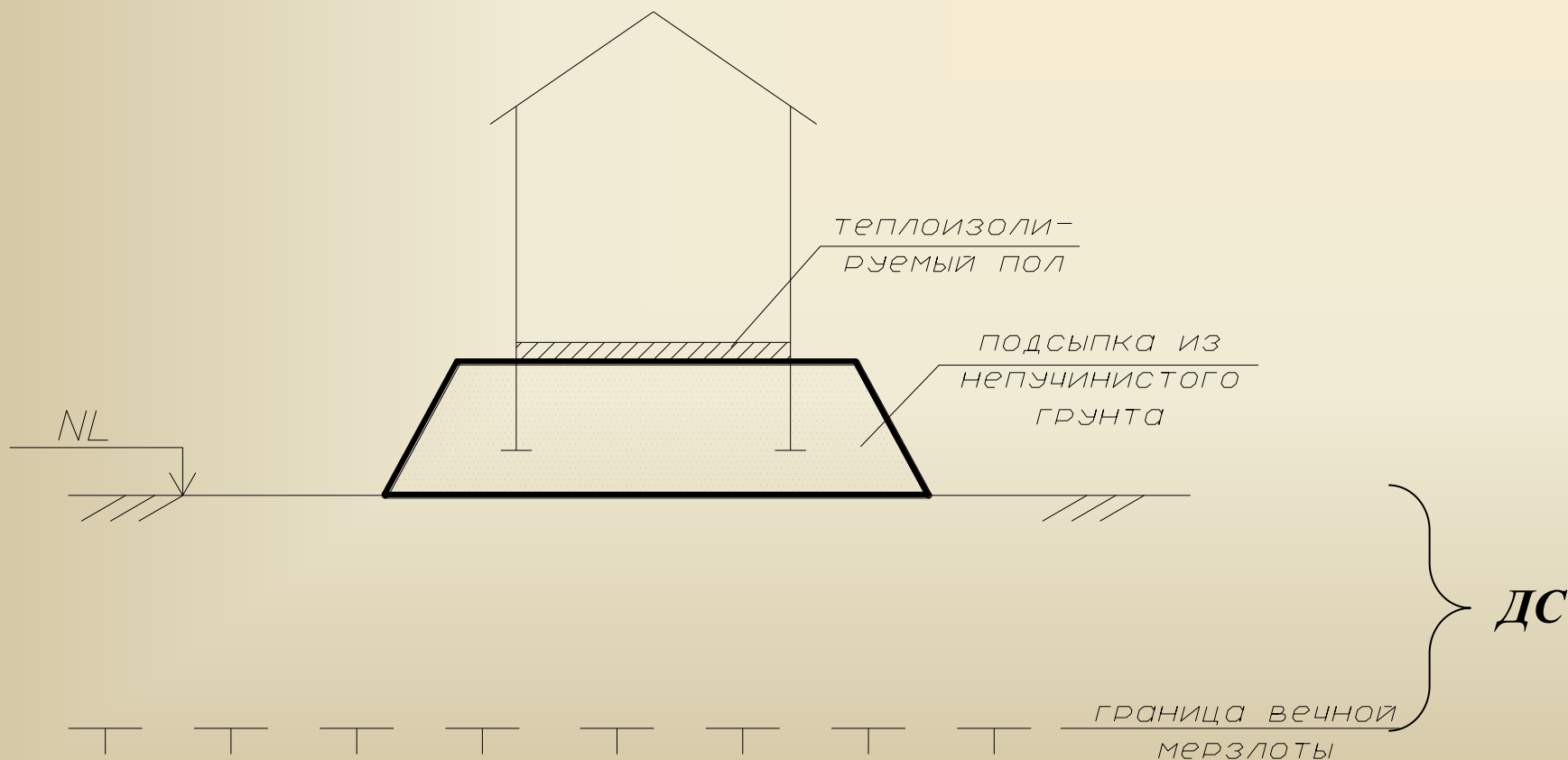
I принцип использования ВМГ

Применяется, когда грунты можно сохранить в вечномёрзлом состоянии и это экономически целесообразно, а также при деформациях здания при оттаивании, превышающих предельнодопустимые значения.

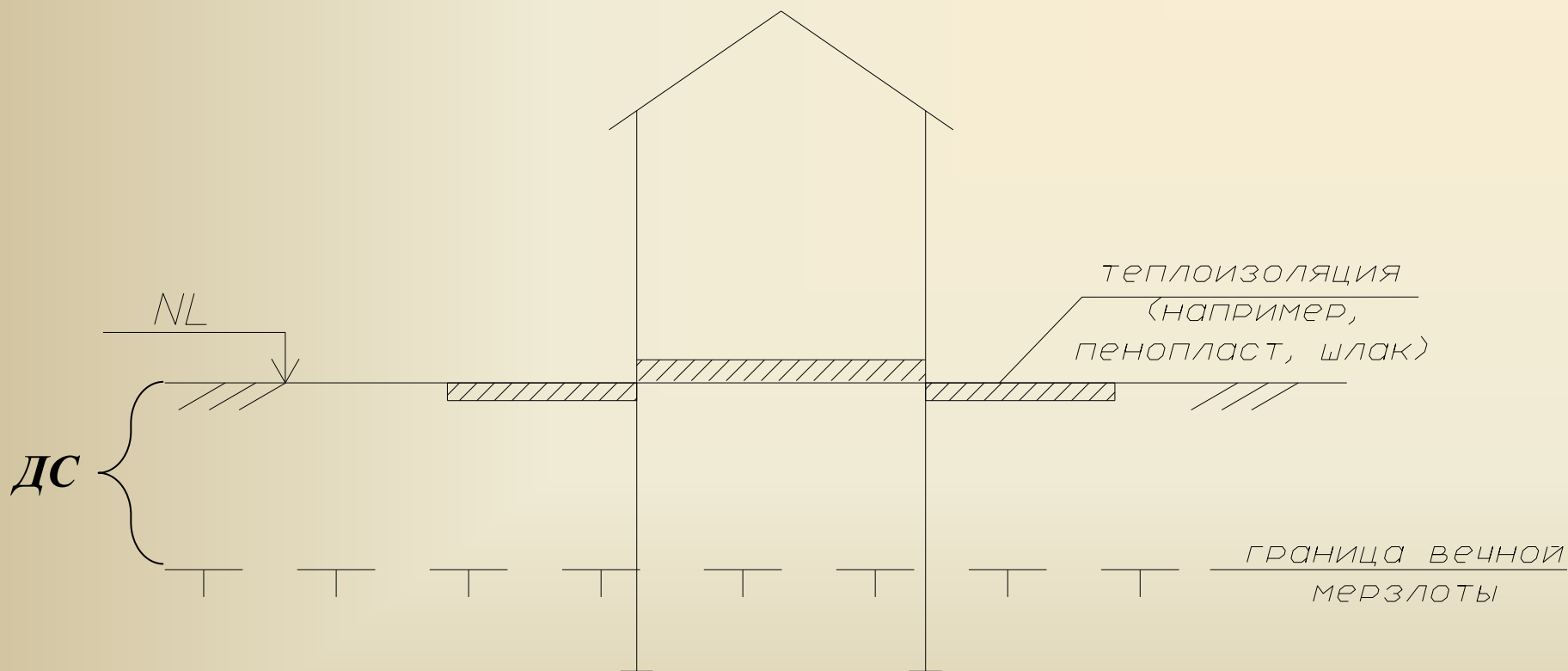
Используется как правило в твердомерзлых грунтах, реже в пластичномёрзлых при их искусственном промораживании.

Мероприятия по сохранению вечной мерзлоты

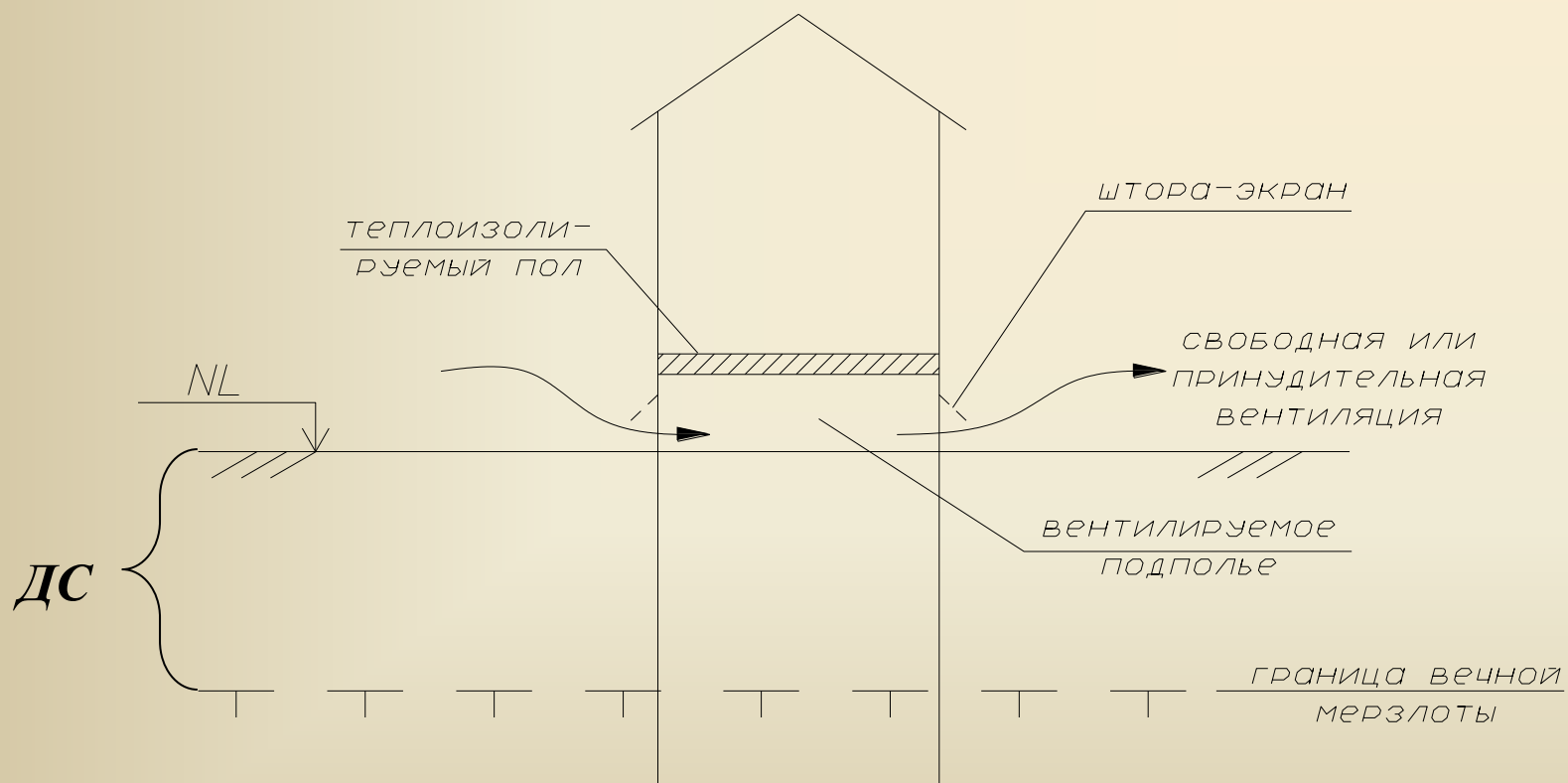
1. Устройство здания на теплоизолирующих подсыпках (песок, щебень, шлак и т.д.)



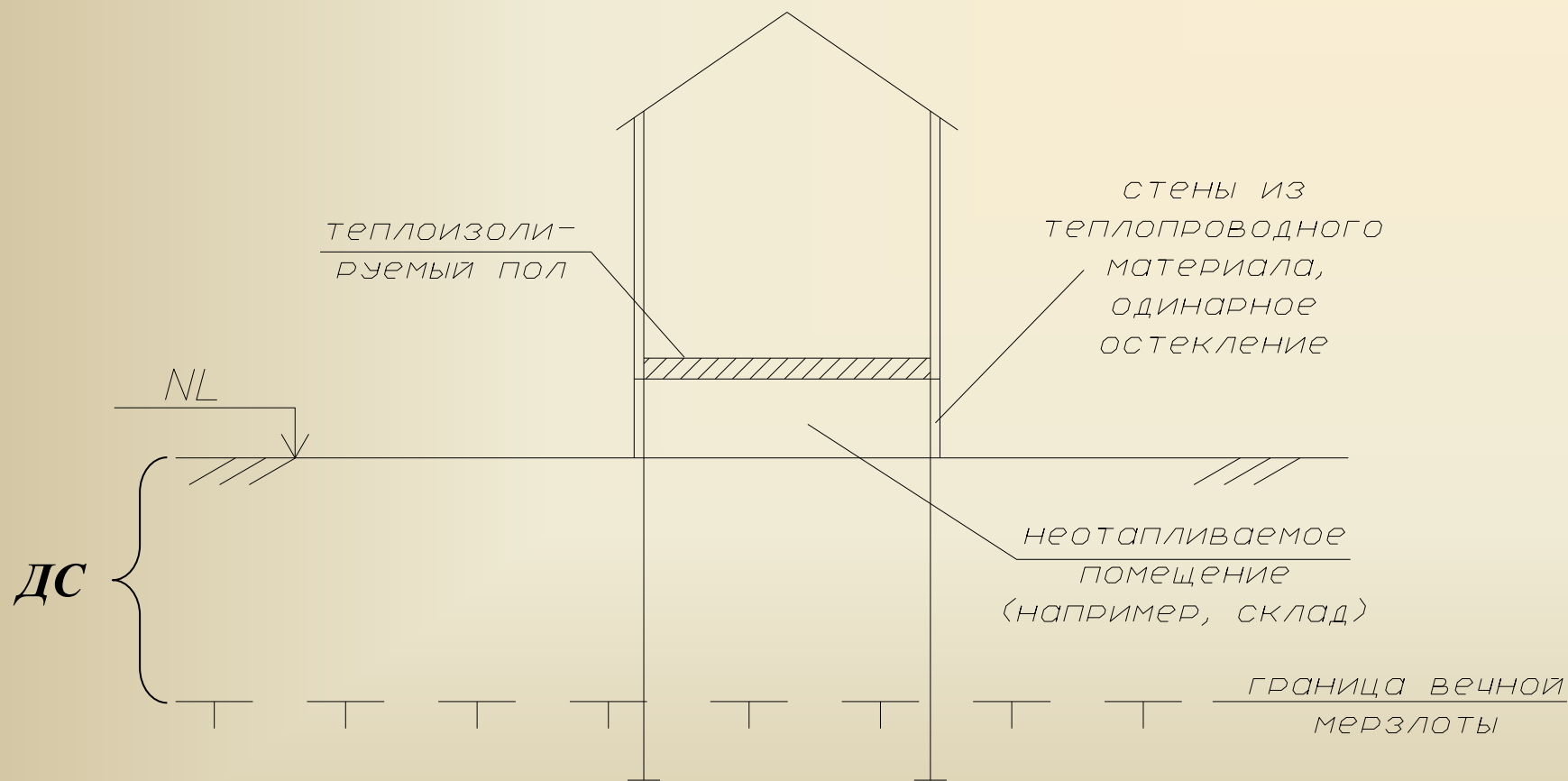
2. Устройство теплоизоляции под полом и в непосредственной близости от здания



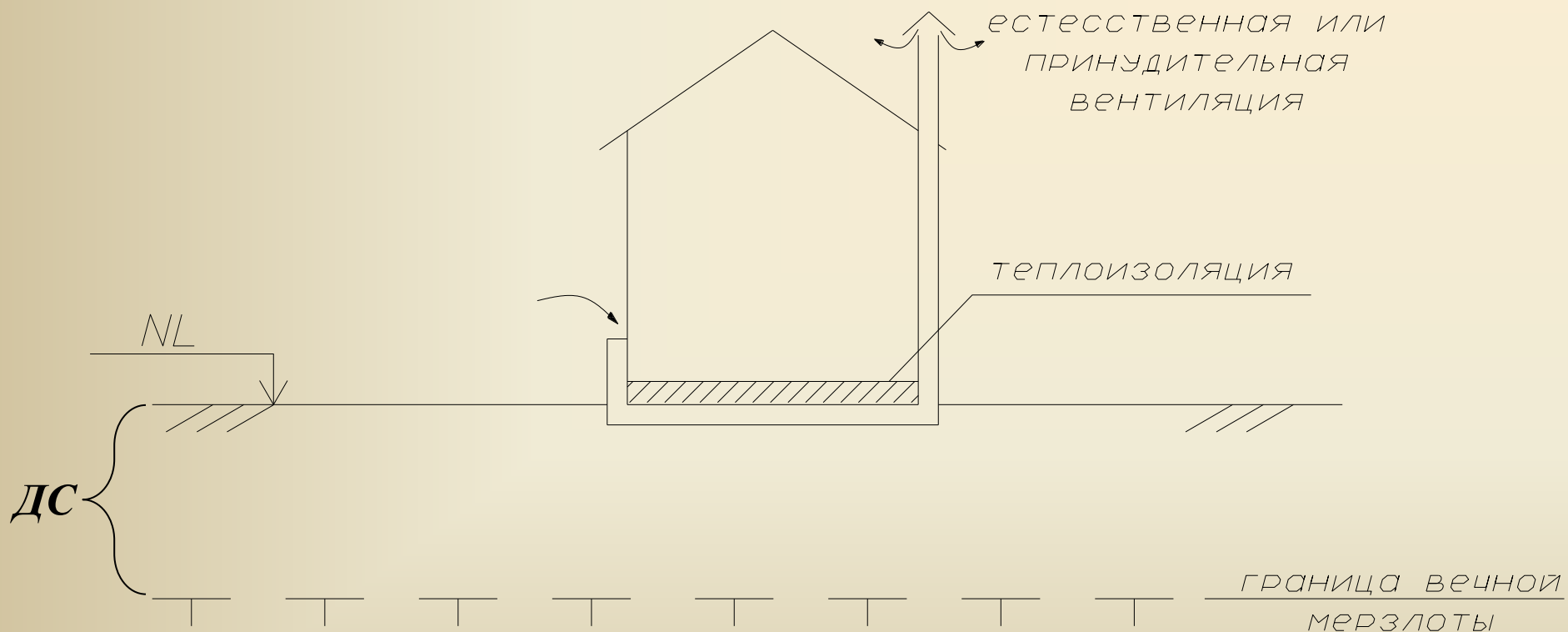
3. Устройство охлаждаемых вентилируемых подполий



4. Устройство неотапливаемых (холодных) 1 этажей

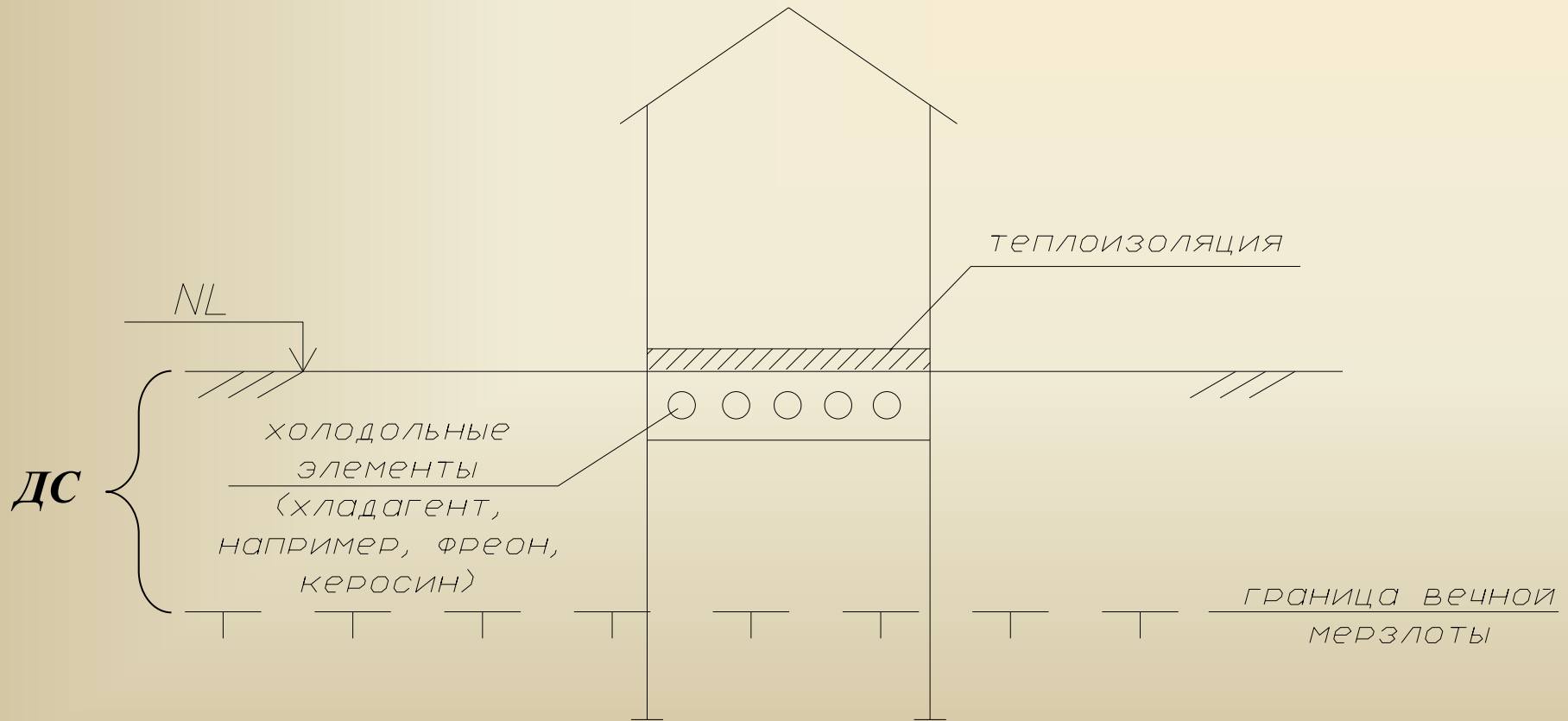


5. Устройство вентиляционных каналов под полом 1 этажа



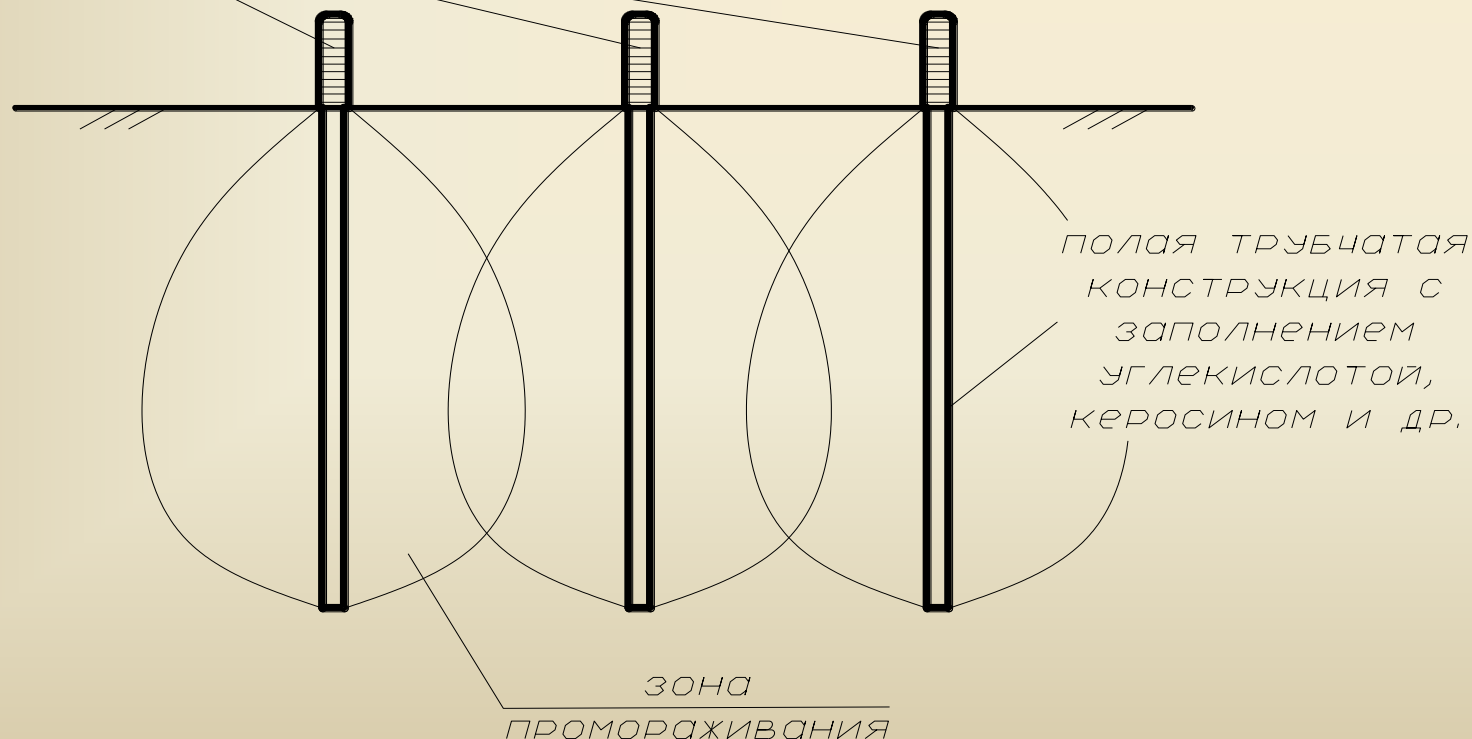
6. Искусственное охлаждение грунта (промораживание):

а) расположенными вблизи поверхности хладоэлементами

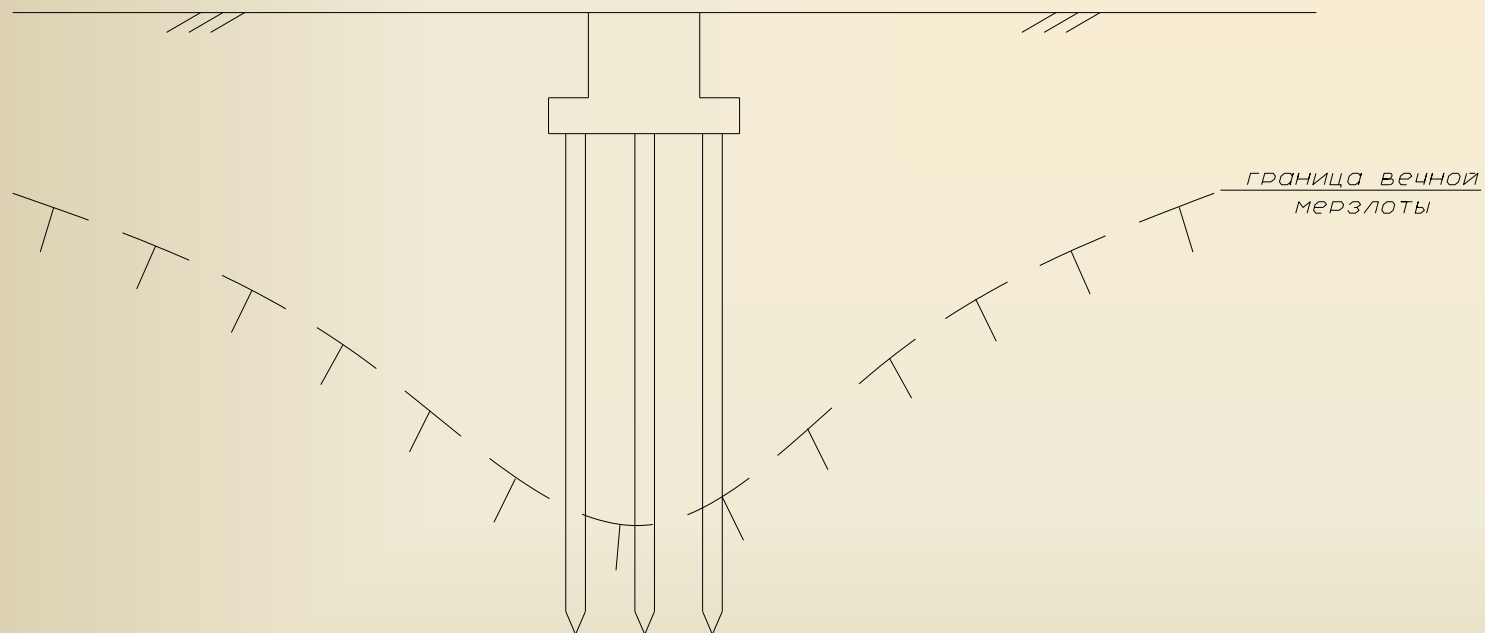


б) сезоннодействующими охлаждающими устройствами (СОУ)

теплообменники

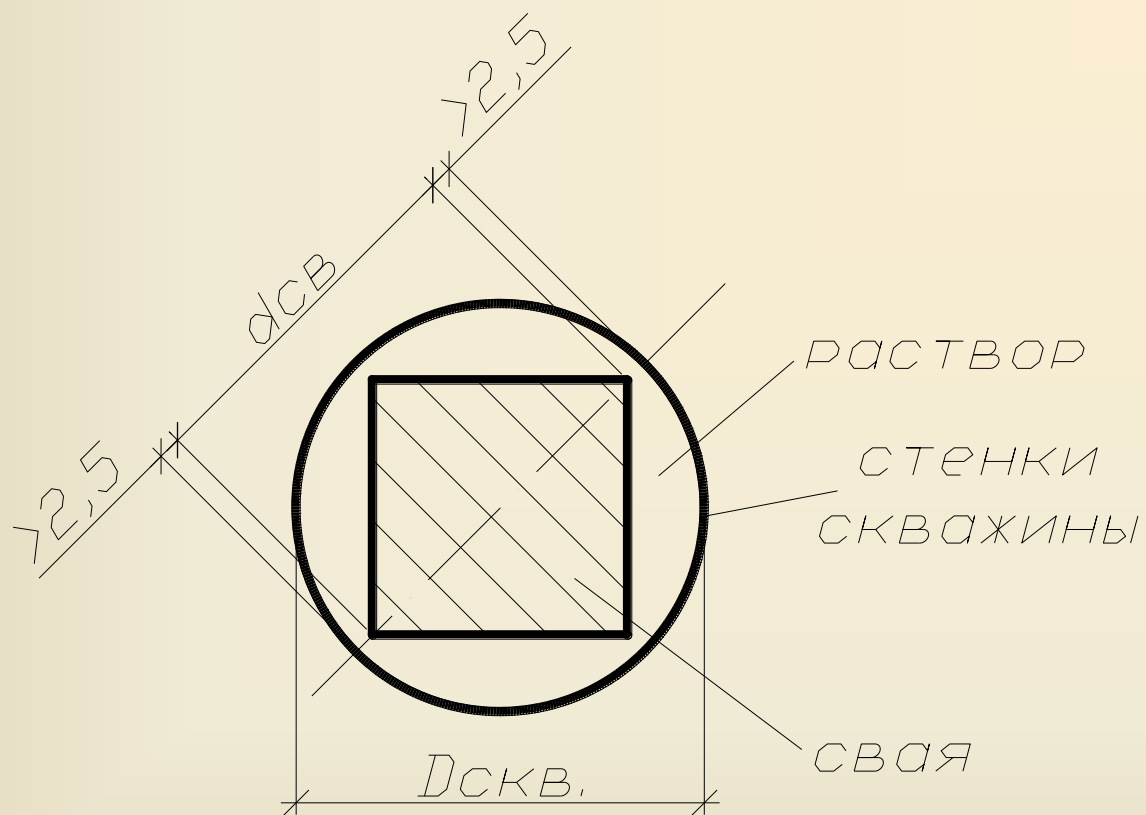


7. Устройство свайных фундаментов



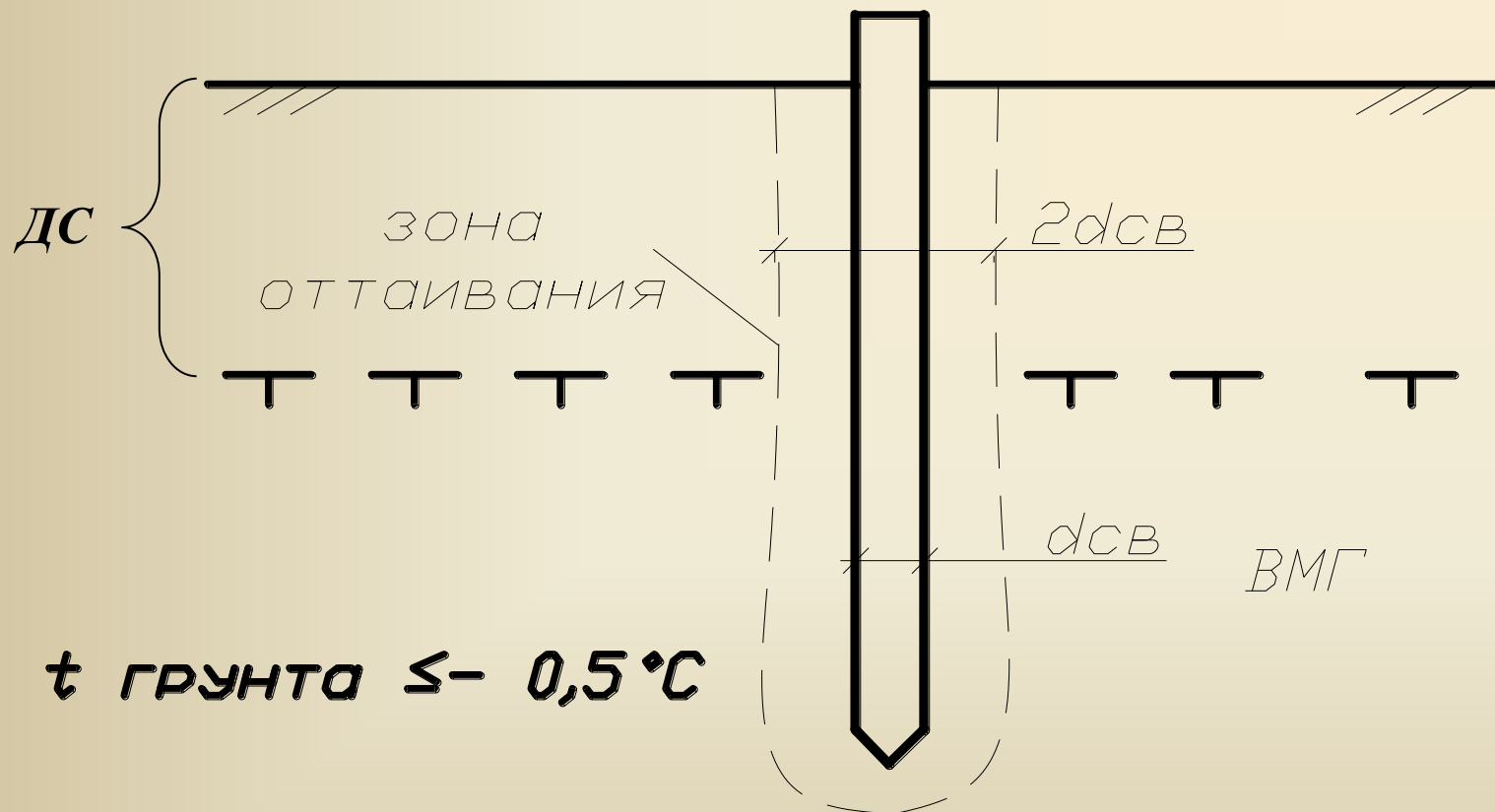
При I принципе используются фундаменты мелкого заложения (все типы) с заглублением подошвы в ВМГ, а также свайные фундаменты из следующих основных видов свай:

а) буроопускные – сваи сплошные или полые, свободно опускаемые в скважины, диаметр которых не менее, чем на 5 см превышает размер их наибольшего поперечного сечения, с заполнением свободного пространства глинисто-песчаным или цементно-песчаным раствором (который в последующем смерзается с грунтом и сваем);

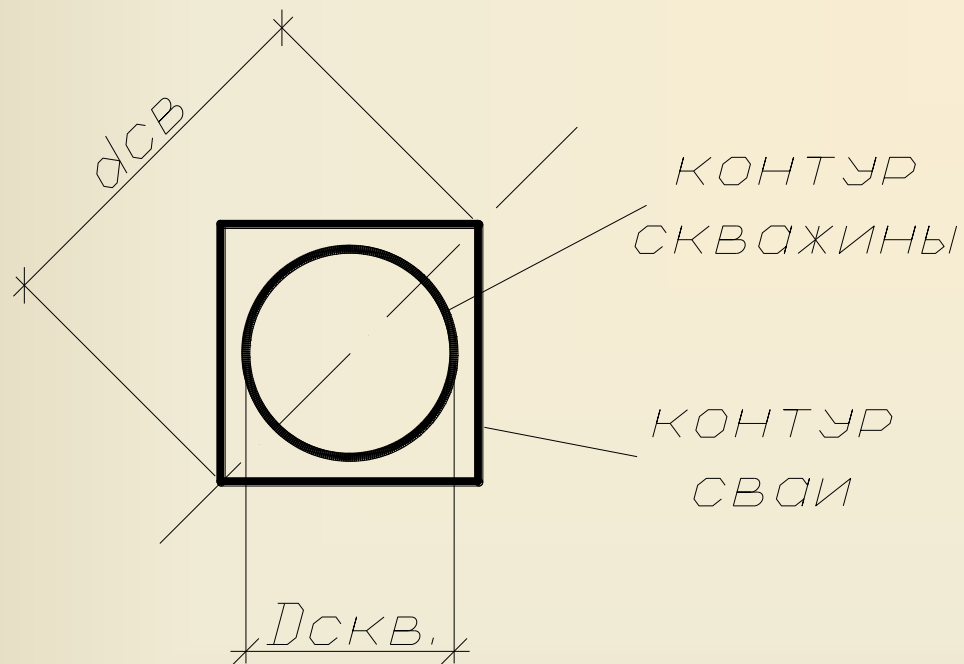


$t_{\text{грунта}} \leq - 0,5^{\circ}\text{C}$

б) опускные – сваи сплошные или полые, погружаемые в грунт под действием собственного веса (или с пригрузкой) в оттаянный грунт (зона до $2 d_{св}$), с последующим промораживанием грунта;

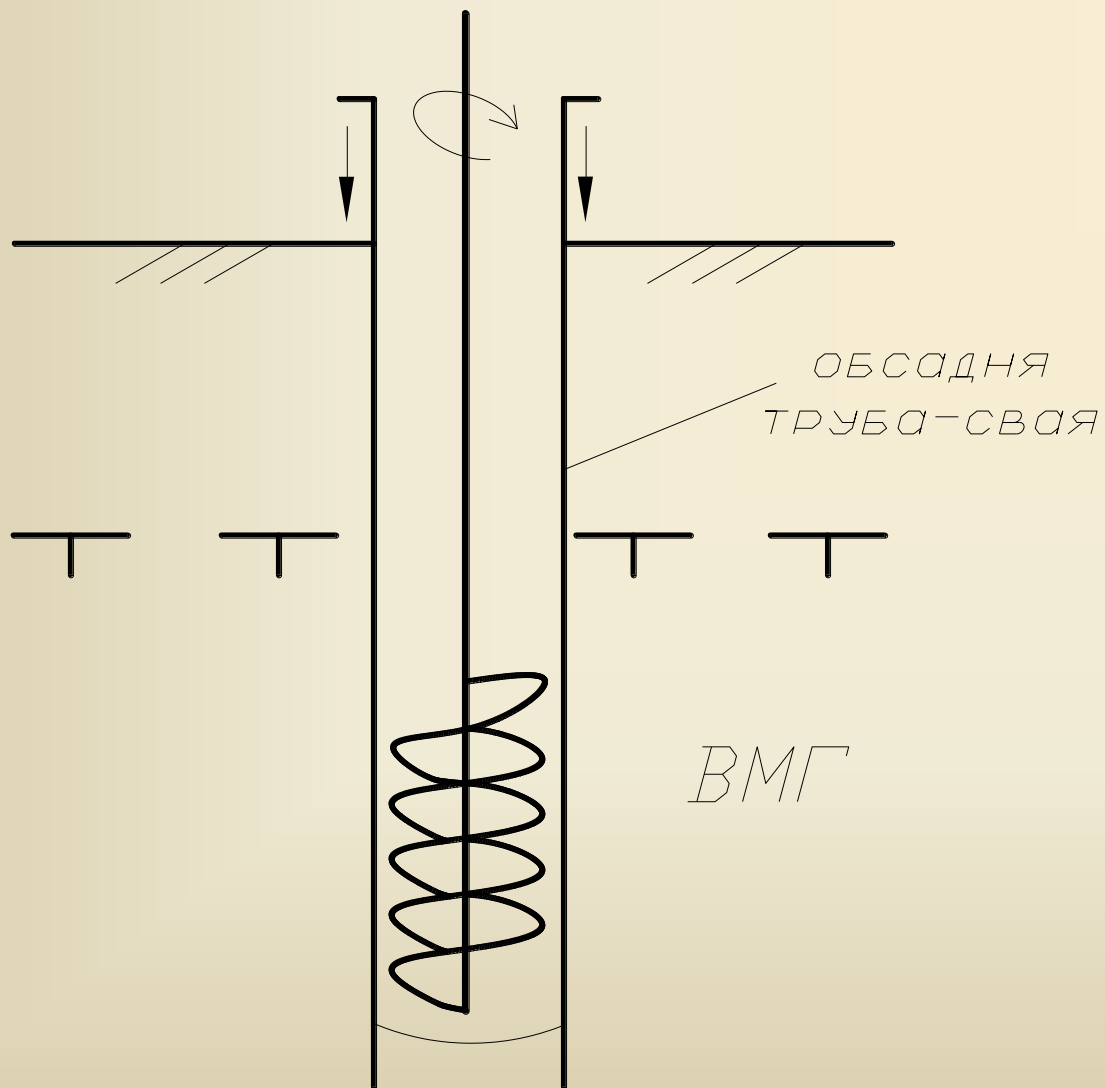


в) бурозабивные (или забивные) – сваи сплошные или полые, погружаемые забивкой в лидерные скважины (или без лидерных скважин – пластичномерзлый грунт), диаметр которых меньше наибольшего поперечного сечения сваи;



$$D_{скв} < d_{св}$$

2) бурообсадные – полые сваи и сваи-оболочки, погружаемые в грунт путем его разбуривания через полость сваи и периодического осаживания погружаемой сваи.



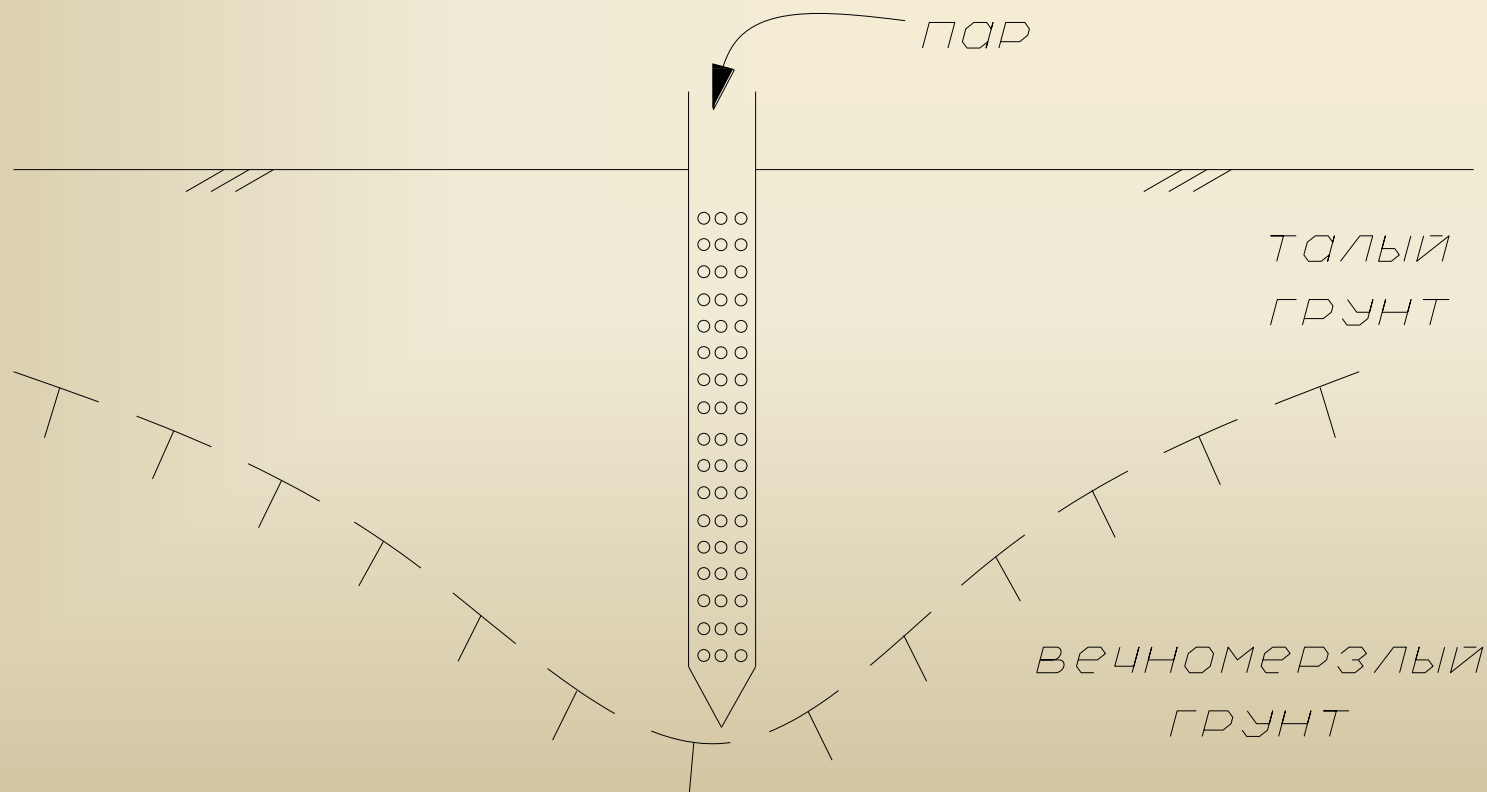
Возможно применение и других свай. Главное условие – их применение не должно приводить к недопустимому повышению температуры (растеплению) грунта.

II принцип использования ВМГ

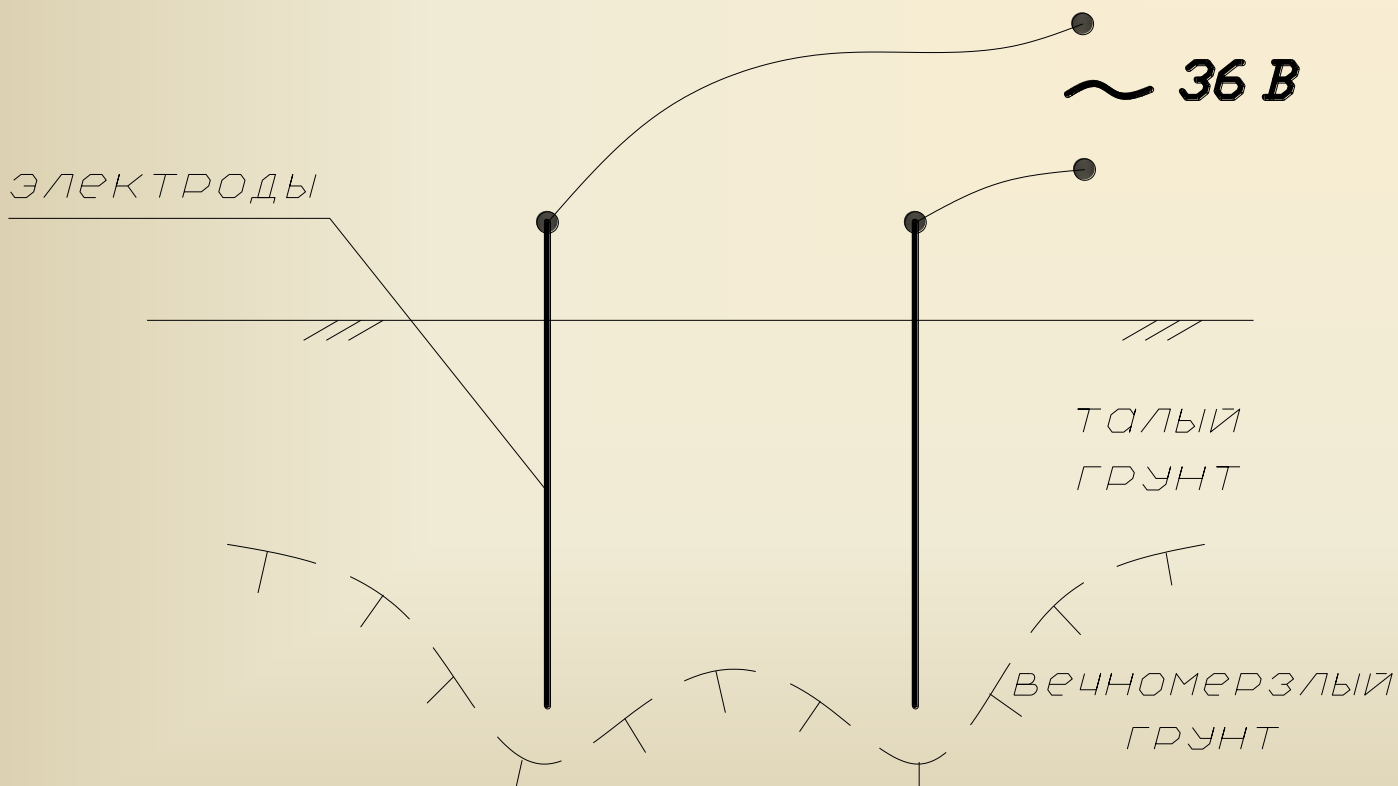
*Применяется, когда нет возможности
или не целесообразно сохранять грунты
в вечномерзлом состоянии.*

Мероприятия по предварительному оттаиванию вечномерзлых грунтов

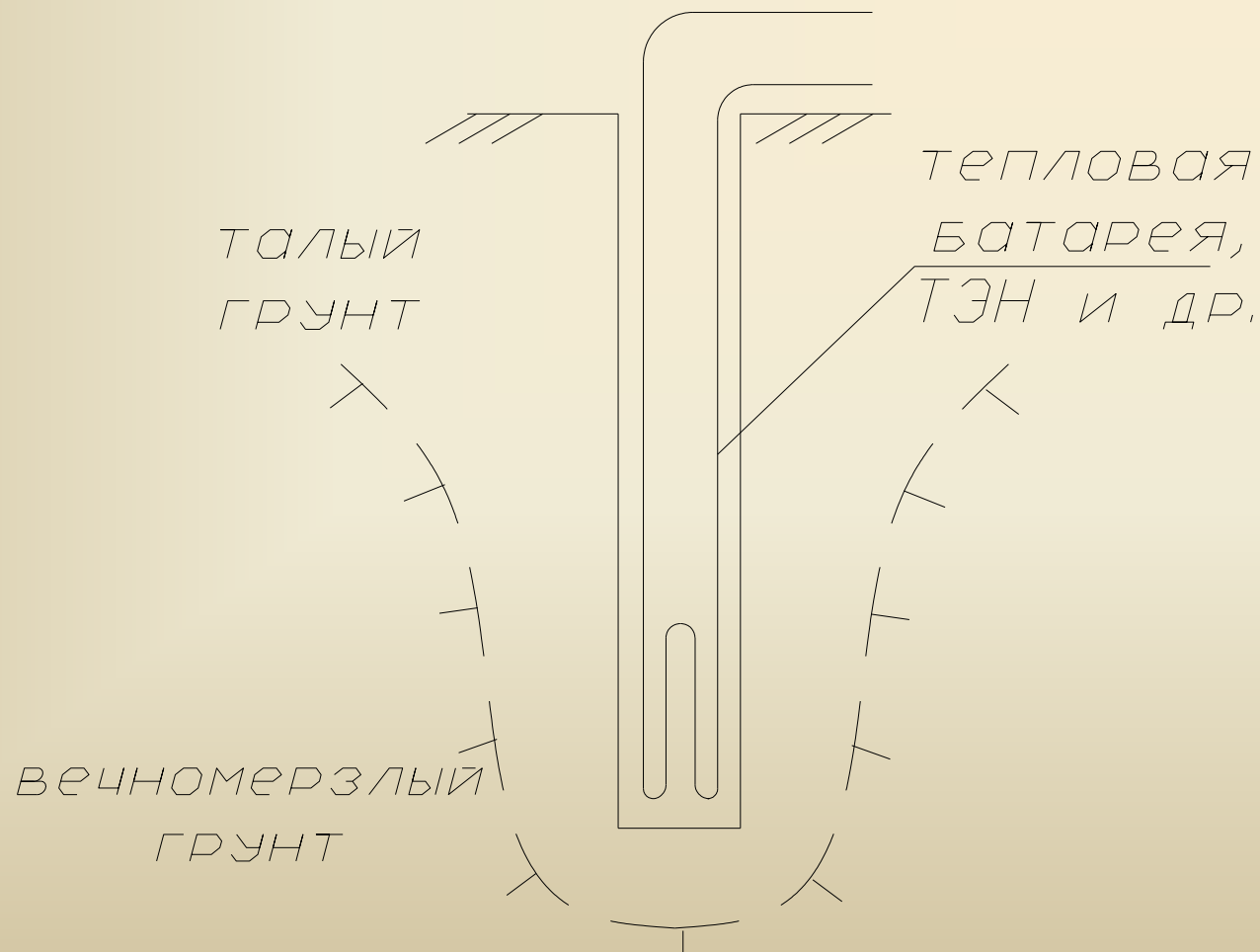
1. Гидрооттаивание (в гравийно-галечниковых и песчаных грунтах)



2. Электропрогрев



3. Разогрев источником тепла, размещенными в скважинах



4. Сжигание бурого угля на поверхности грунта

При использовании ВМГ по II принципу СП 25.13330.2012 рекомендует предусматривать мероприятия:

а) по уменьшению деформаций основания (предварительное оттаивание, замену льдистых грунтов на крупнообломочные, ограничение глубины протаивания, увеличение глубины заложения фундамента с прорезкой льдистых грунтов и опиранием подошвы на скальные и малосжимаемые грунты);

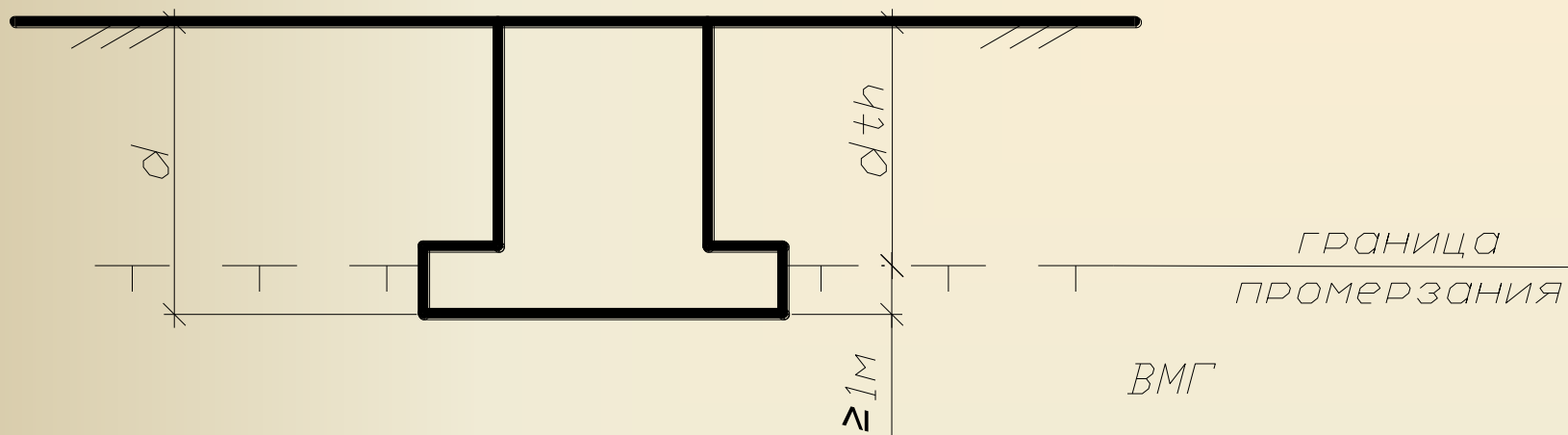
б) по приспособлению конструкций здания (сооружения) к восприятию неравномерных деформаций (увеличение прочности и пространственной жесткости, например, устройством поэтажных ж/б поясов, наоборот – увеличением податливости и гибкости конструкций посредством разрезки его деформационными швами, устройством шарнирного соединения конструкций и т.п.).

Принципы проектирования
оснований и фундаментов
в условиях вечной мерзлоты

*Расчет оснований и фундаментов
при I принципе использования ВМГ*

а) глубина заложения фундамента d :

– столбчатый (ленточный)



$$d \geq d_{th} + 1(м)$$

d_{th} – глубина сезонного оттаивания грунта (толщина деятельного слоя).

При возведении на подсыпке – не зависит от d_{th}

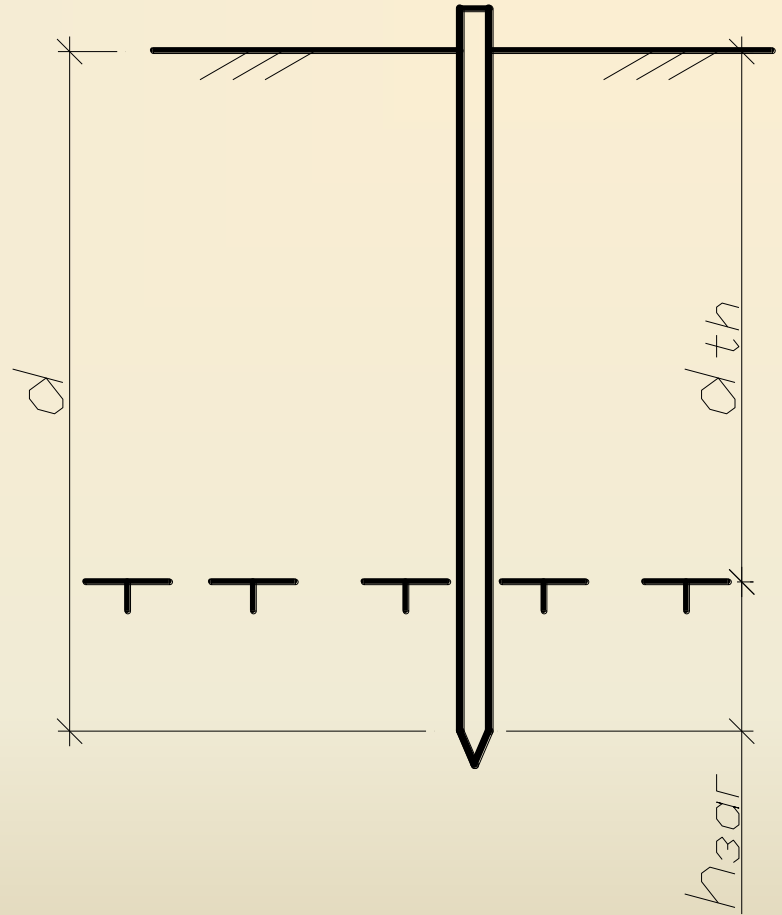
– *свайные фундаменты:*

· *зданий и сооружений*

$$d \geq d_{th} + h_{заг} = d_{th} + 2 (м)$$

· *опор мостов*

$$d \geq d_{th} + h_{заг} = d_{th} + 4 (м)$$



б) расчет основания

– твердомерзлые грунты рассчитываются:

- по I группе ПС (всегда);***
- проверка на действие сил морозного пучения (при наличии в ДС пучинистого грунта).***

Расчетное условие I группы ПС:

$$F \leq F_u / \gamma_n ,$$

где F – расчетная нагрузка на основание;

F_u – несущая способность основания фундамента мелкого заложения или висячей сваи, определяется для ФМЗ расчетом, для сваи – расчетом и затем проверяется полевыми испытаниями сваи или статическим зондированием;

γ_n – коэффициент надежности, зависит от уровня ответственности здания (1,1 ÷ 1,2).

$$F_u = \gamma_t \cdot \gamma_c \left(R \cdot A + \sum_{i=1}^n R_{af,i} \cdot A_{af,i} \right),$$

где γ_t – температурный коэффициент, учитывающий случайные изменения температуры воздуха;

γ_c – коэффициент условий работы, зависящий от вида и способа устройства фундамента;

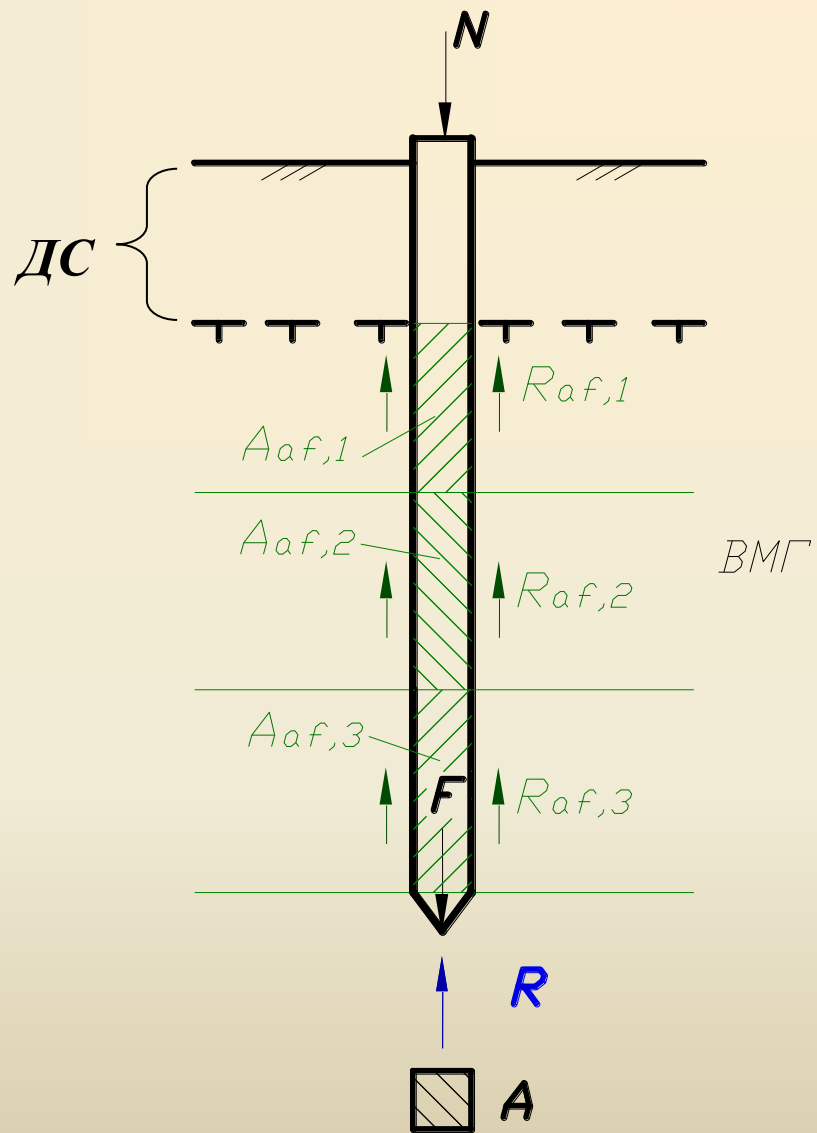
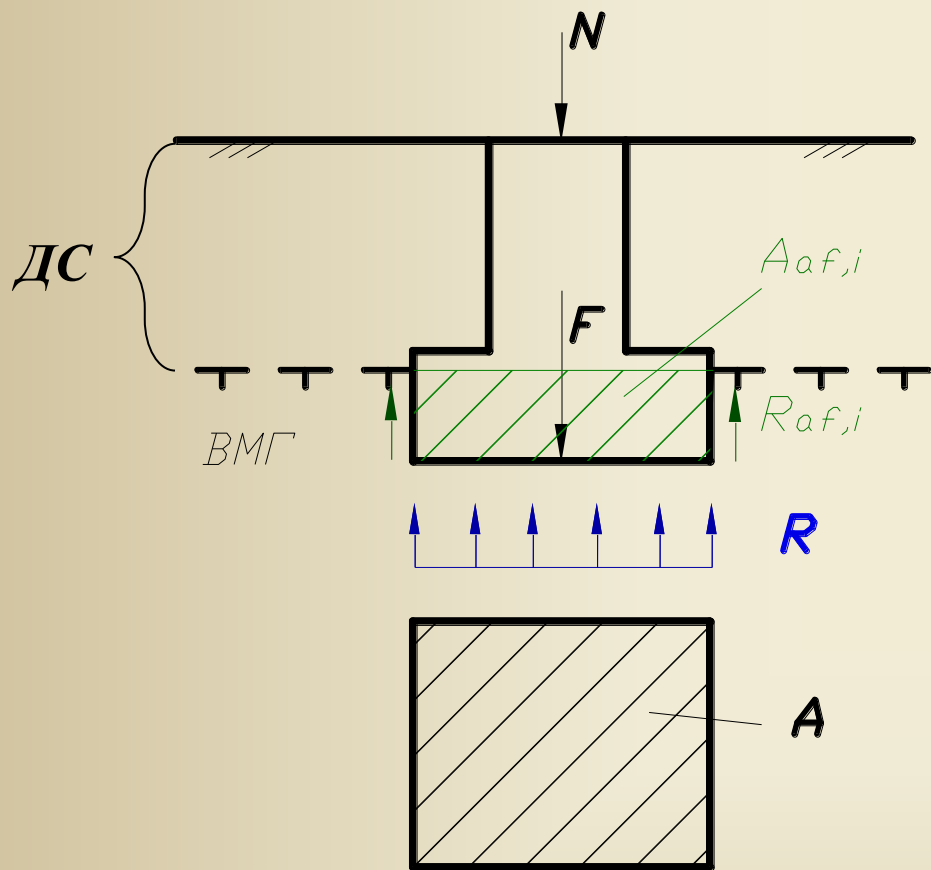
R – расчетное сопротивление грунта под подошвой столбчатого фундамента или нижним концом сваи;

A — площадь подошвы столбчатого фундамента или опирания сваи на грунт;

$R_{af,i}$ — расчетное сопротивление мерзлого грунта по боковой поверхности сваи или столбчатого фундамента в пределах i -го слоя;

$A_{af,i}$ — площадь смерзания грунта с боковой поверхностью сваи или столбчатого фундамента в пределах i -го слоя;

n — количество слоёв.

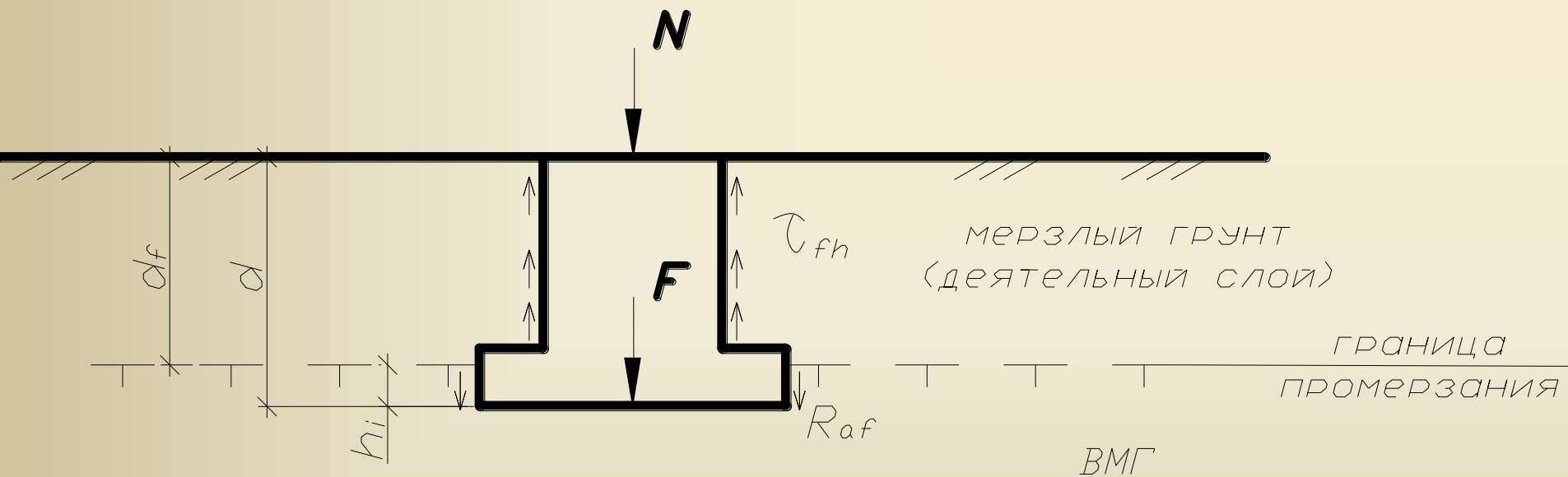


При невыполнении условия

$$F \leq F_u / \gamma_n$$

необходимо увеличить размеры подошвы фундамента (поперечное сечение сваи) или глубину заложения, или количество свай (для свайного фундамента).

Проверка на действие сил морозного пучения



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

где τ_{fh} – расчетная удельная касательная сила морозного пучения (определяется, как правило, опытным путем, но для сооружений II и III уровней ответственности допускается принимать по таблицам СП в зависимости от глубины сезонного промерзания-оттаивания, состава и влажности грунта – max 130 кПа, min 50 кПа);

A_{fh} – площадь боковой поверхности смерзания фундамента в пределах расчетной глубины сезонного промерзания;

F – расчетная нагрузка на фундамент, принимается с коэффициентом безопасности = 0,9 по наиболее невыгодному сочетанию нагрузок (включая выдергивающие усилия и т.п.);

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения (для фундаментов опор мостов = 1,3; для всех остальных = 1,1);

γ_c – коэффициент условия работы (всегда = 1,0);

F_r – расчетное значение силы, удерживающие фундамент от выпучивания.

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

где R_{af} – расчетное сопротивление мерзлого грунта по поверхности фундамента (сила смерзания).

При невыполнении условия

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

необходимо заглубить фундамент в ВМГ (увеличить F_r), либо предпринять конструкционные меры по снижению сил морозного пучения (противопучинистая засыпка пазух, обмазка боковой поверхности фундамента).

– пластичномерзлые грунты рассчитываются:

- по I группе ПС (всегда);*
- по II группе ПС (всегда);*
- проверка устойчивости на действие сил морозного пучения (при наличии в ДС пучинистого грунта).*

Расчет по I группе ПС и проверка на действие сил морозного пучения – см. выше (для твердомерзлых грунтов).

***Расчетное условие II группы ПС
(расчет по деформациям):***

$$S_f \leq S_u,$$

где S_f – деформация пластичномерзлого грунта от нагрузки здания (сооружения);

S_u – предельно допустимая деформация основания за весь срок эксплуатации здания.

Осадка S_f рассчитывается по правилам проектирования ФМЗ и свайных фундаментов (по соответствующим СП) – см. предыдущие лекции.

При невыполнении условия

$$S_f \leq S_u$$

необходимо увеличить размеры подошвы фундамента (увеличить количество свай в свайном фундаменте), применить мероприятия по улучшению свойств грунта (например, понижение температуры грунта и перевод его в твердомерзлые).

– сыпучемерзлые грунты

Расчеты как для обычных (талых) грунтов, т.е.:

- по II группе ПС ($S \leq S_u$);*
- по I группе ПС ($F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_u$, только в 6 случаях,
предусмотренных
СП 22.13330.2016).*

*Расчеты см. в лекциях «ФМЗ», «Свайные фунда-
менты».*

*Расчет оснований и фундаментов
при II принципе использования ВМГ*

а) глубина заложения фундамента (d) определяется аналогично фундаментам в сезонно мерзлых и талых грунтах (см. лекции «ФМЗ», «Свайные фундаменты»)

б) расчет оснований

- ***по I группе ПС ($F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_u$, только в 6 случаях, предусмотренных СП 22.13330.2016) – см. предыдущие лекции курса ОФ;***
- ***по II группе ПС (всегда);***
- ***проверка устойчивости на действие сил морозного пучения (при наличии в пределах глубины промерзания пучинистых грунтов), как для обычных сезонно мерзлых грунтов.***

***Расчетное условие II группы ПС
(расчет по деформациям без учета совместной
работы оттаивающего основания и сооружения):***

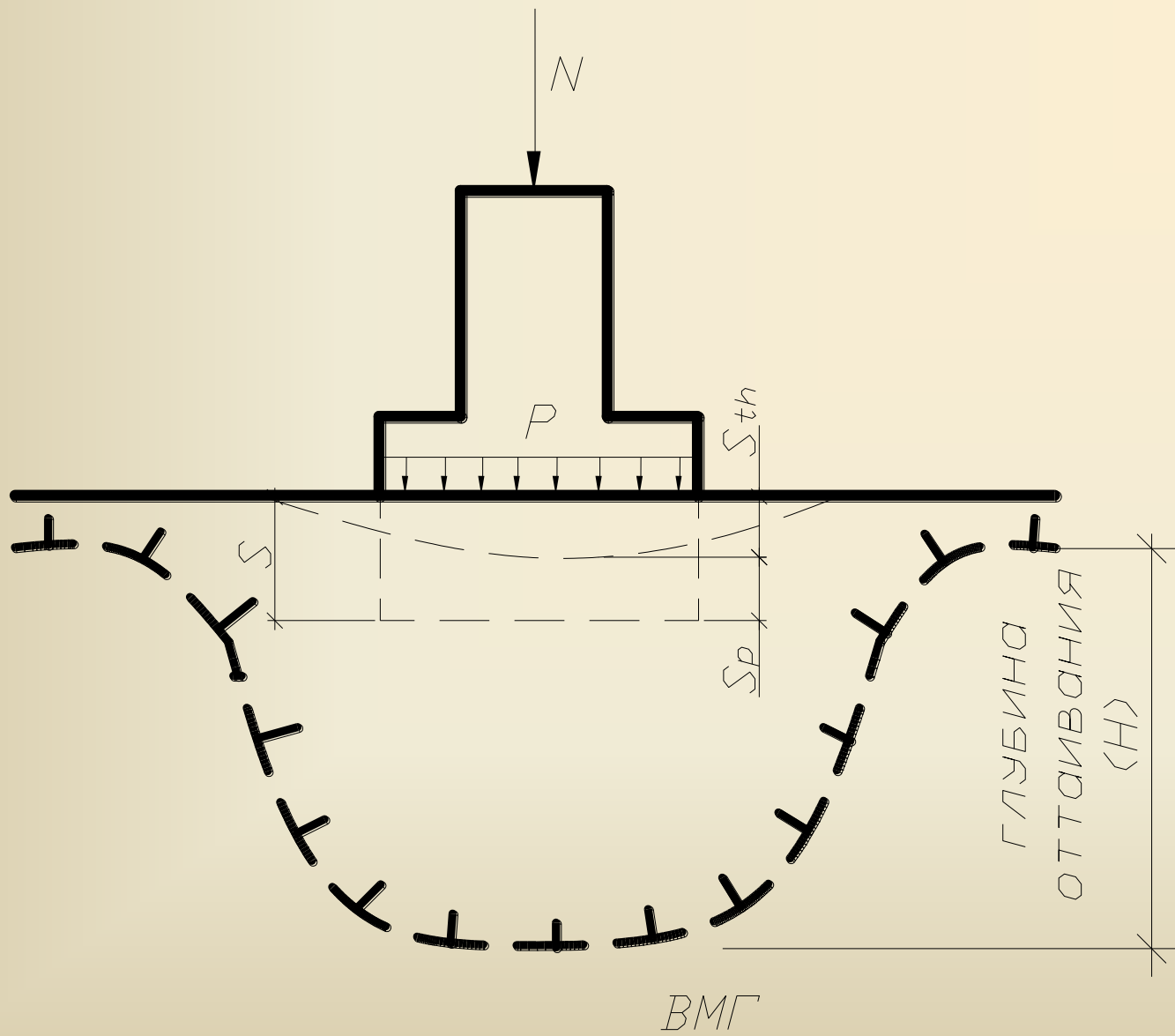
$$S \leq S_u,$$

***где S – осадка оттаивающего в процессе эксплуата-
ции сооружения основания:***

$$S = S_{th} + S_p,$$

S_{th} – составляющая осадки основания, обусловленная собственным весом грунта;

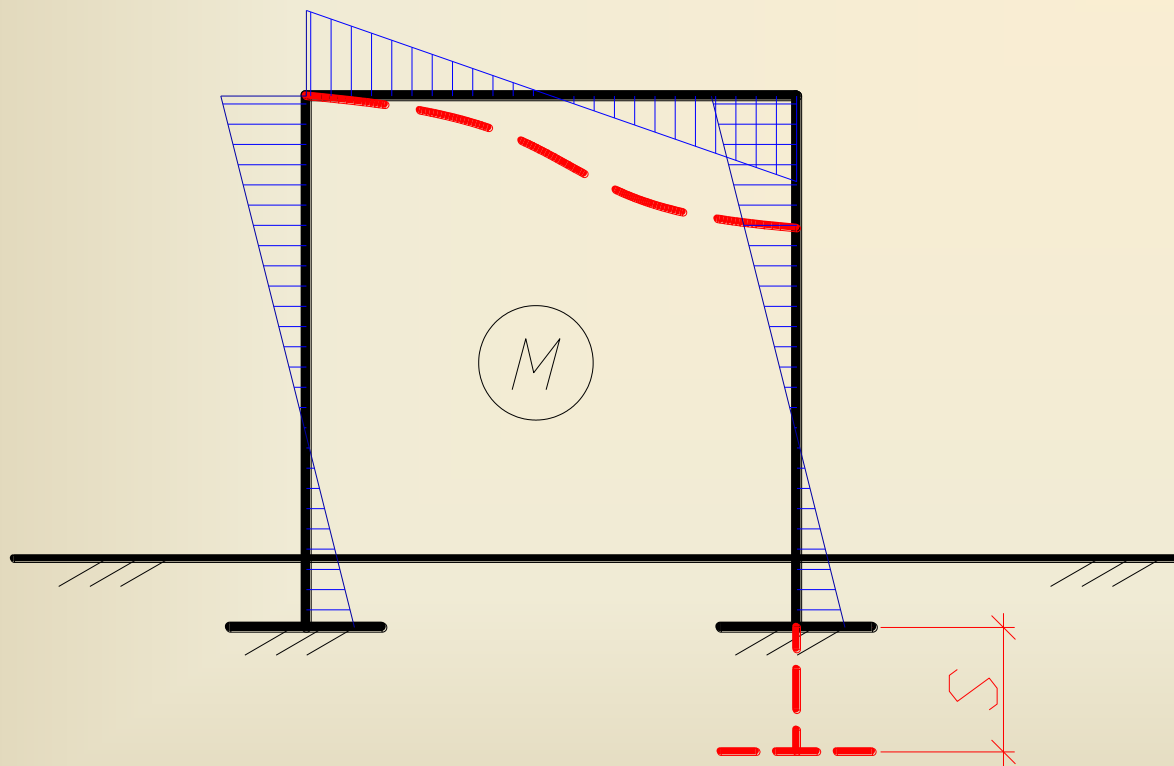
S_p – составляющая осадки основания, обусловленная давлением на грунт от действия веса сооружения (P).



*Деформации оснований с учетом
совместной его работы с сооружением*

$$F_f \leq \frac{F_{fd}}{\gamma_c \cdot \gamma_n},$$

где F_f – расчетные усилия, возникающие в элементах конструкций при неравномерных осадках оттаивающего основания (определяются методами строительной механики);



F_{fd} – предельное значение сопротивления элементов (сечений) конструкций, рассчитываемые по нормам проектирования соответствующих конструкций;

γ_c – коэффициент условия работы (1,25);

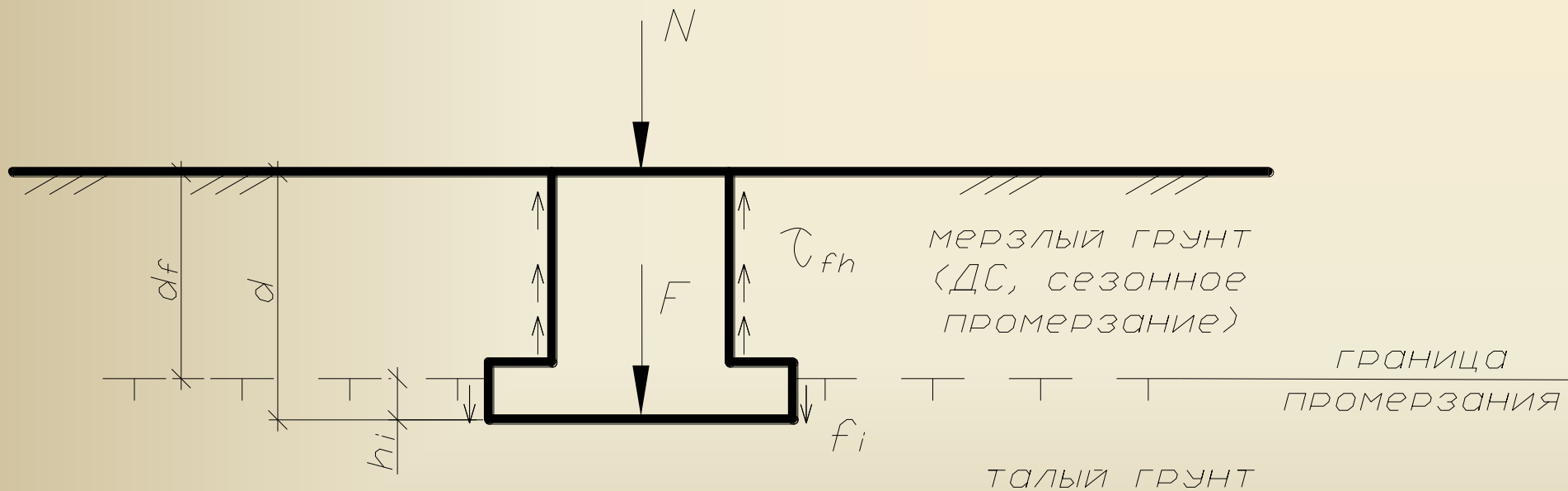
γ_n – коэффициент надёжности по назначению сооружения (I уровень ответственности – 1,2; II – 0,95; III – 0,9).

При невыполнении расчетных условий

$$S \leq S_u, \quad F_f \leq \frac{F_{fh}}{\gamma_c \cdot \gamma_n}$$

*необходимо увеличить размеры подошвы фундамента
или предусмотреть улучшение строительных свойств
основания.*

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.

Основания и фундаменты в условиях сейсмических воздействий

Список дополнительной литературы по теме

1. СП 14.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». М., Стандартинформ, 2018.
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 14.13330.2018:



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 (магнитуда + интенсивность) шкале, используется в России (СССР) и многих странах Европы с 1964 года, включена в СП 14.13330.2018.

<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.

Нормативная интенсивность *сейсмического воздействия в баллах (фоновая сейсмичность) для района строительства принимается по картам ОСР-2015 (СП 14.13330.2018) .*

Расчётная сейсмичность площадки строительства может отличаться от полученных по картам значений и должна определяться по результатам сейсмомикрорайонирования (СМР) – как правило, выполняемого при инженерных изысканиях.

При отсутствии результатов СМР расчётная сейсмичность определяется по таблице СП в зависимости от сейсмичности региона и сейсмических свойств грунтов (категории грунтов), слагающих площадку строительства.

Различают четыре категории грунтов строительной площадки по сейсмическим свойствам:

I – скальные грунты (в том числе многолетнемерзлые и многолетнемерзлые оттаявшие) неветрелые и слабоветрелые, крупнообломочные плотные, вечномерзлые (I принцип, $t \leq -2^{\circ}\text{C}$);

II – скальные грунты 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, $t > -2^0C$);

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

IV – динамически неустойчивые разновидности пылевато-глинистых грунтов (категория III), склонные к разжижению при сейсмическом воздействии.

В зависимости от категории сейсмичность площадки строительства могут иметь следующую сейсмичность:

<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>7</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>
<i>IV</i>	<i>8*</i>	<i>9*</i>	<i>> 9*</i>

** грунты с большей вероятностью склонных к разжижению и потере несущей способности при землетрясениях > 6 баллов.*

Строительство зданий (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.

Роль фундаментов:

а) передача на сооружение колебаний грунта (они являются источниками колебаний строительных конструкций), что и создает сейсмические нагрузки (можно назвать отрицательной такую роль);

б) фундаменты должны воспринять без разрушения и передать сейсмическую нагрузку на основание (основание также – воспринять её), обеспечив общую устойчивость и прочность системы «сооружение - основание» (положительная роль).

В соответствии с СП 22.13330.2016 и СП 14.13330.2018 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:

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

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

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

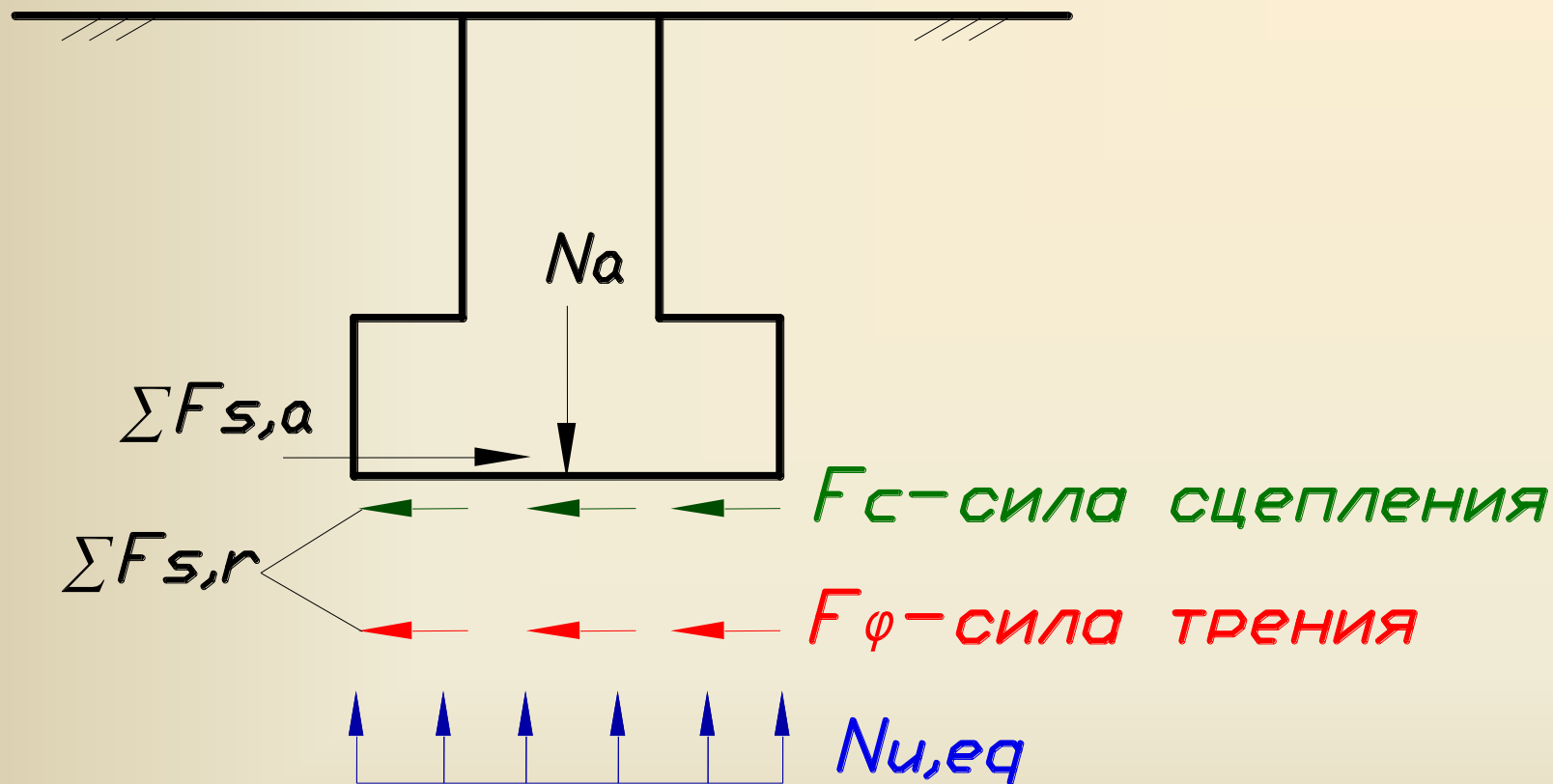
$\gamma_{c,eq}$ – сейсмический коэффициент условий работы, зависит от категории грунтов по сейсмичности (I, II, III) - $\gamma_{c,eq}=1,0; 0,8; 0,6$.

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.



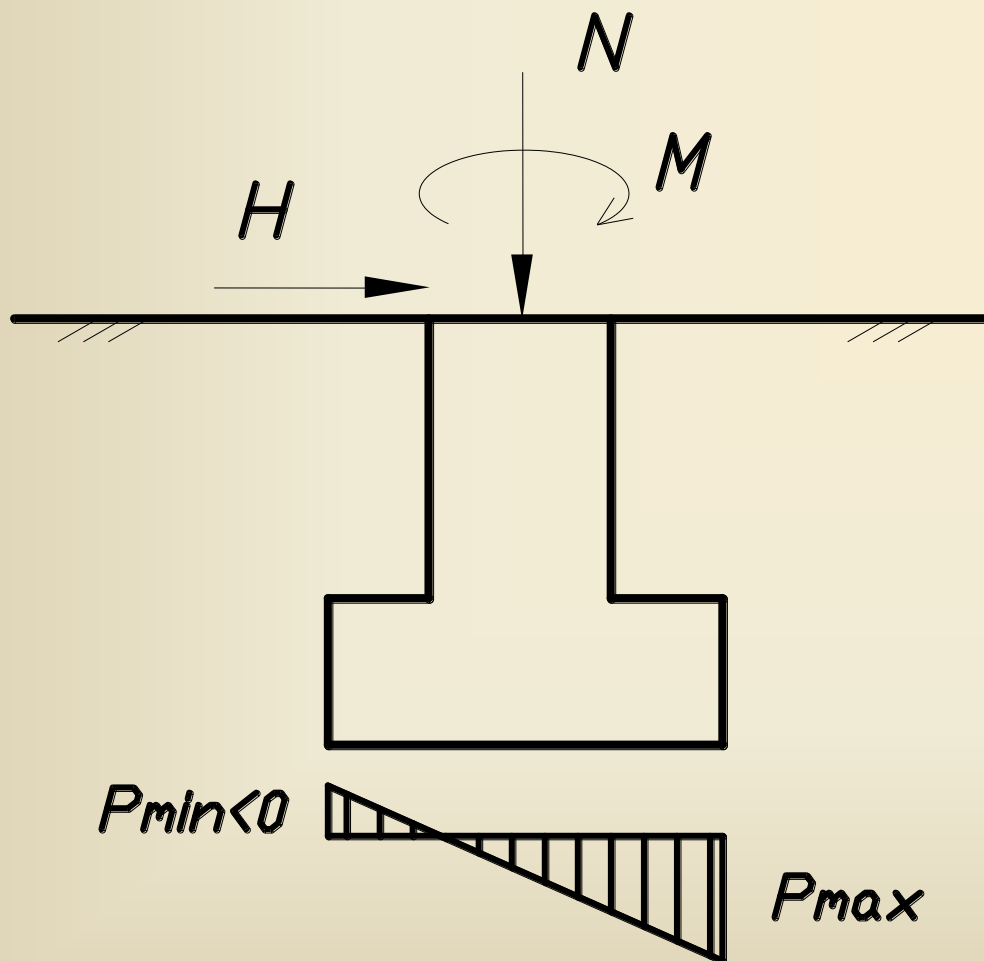
При невыполнении условий $N_a \leq \frac{\gamma_{c,eq}}{\gamma_n} N_{u,eq}$ и

$\sum F_{s,a} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \sum F_{s,r}$ 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 сваей и грунтом в её верхней части, а также уменьшения сил трения по боковой поверхности и снижения расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи.

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

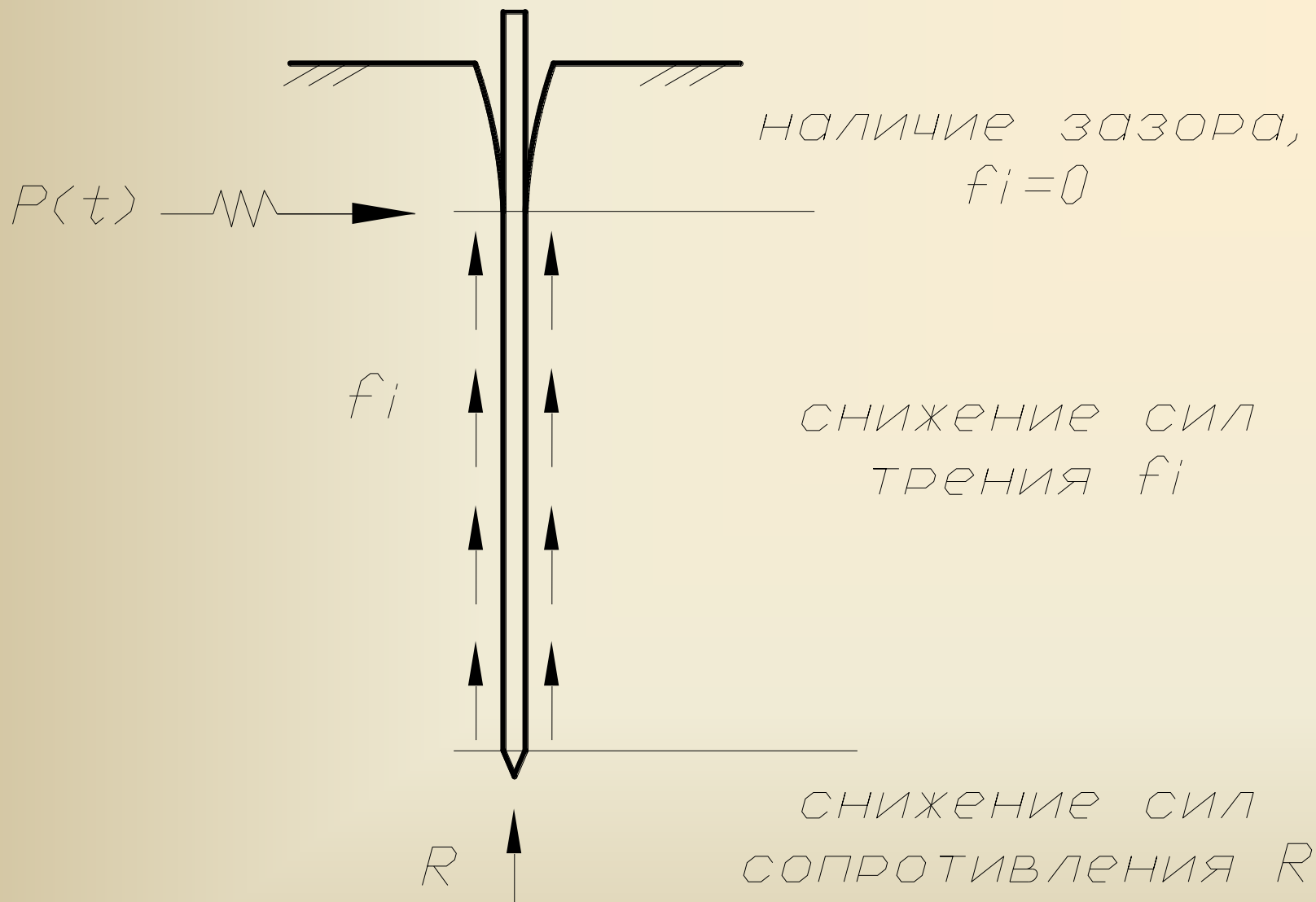
где $F_{d,сейсм}$ – несущая способность сваи при сейсмическом воздействии;

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.



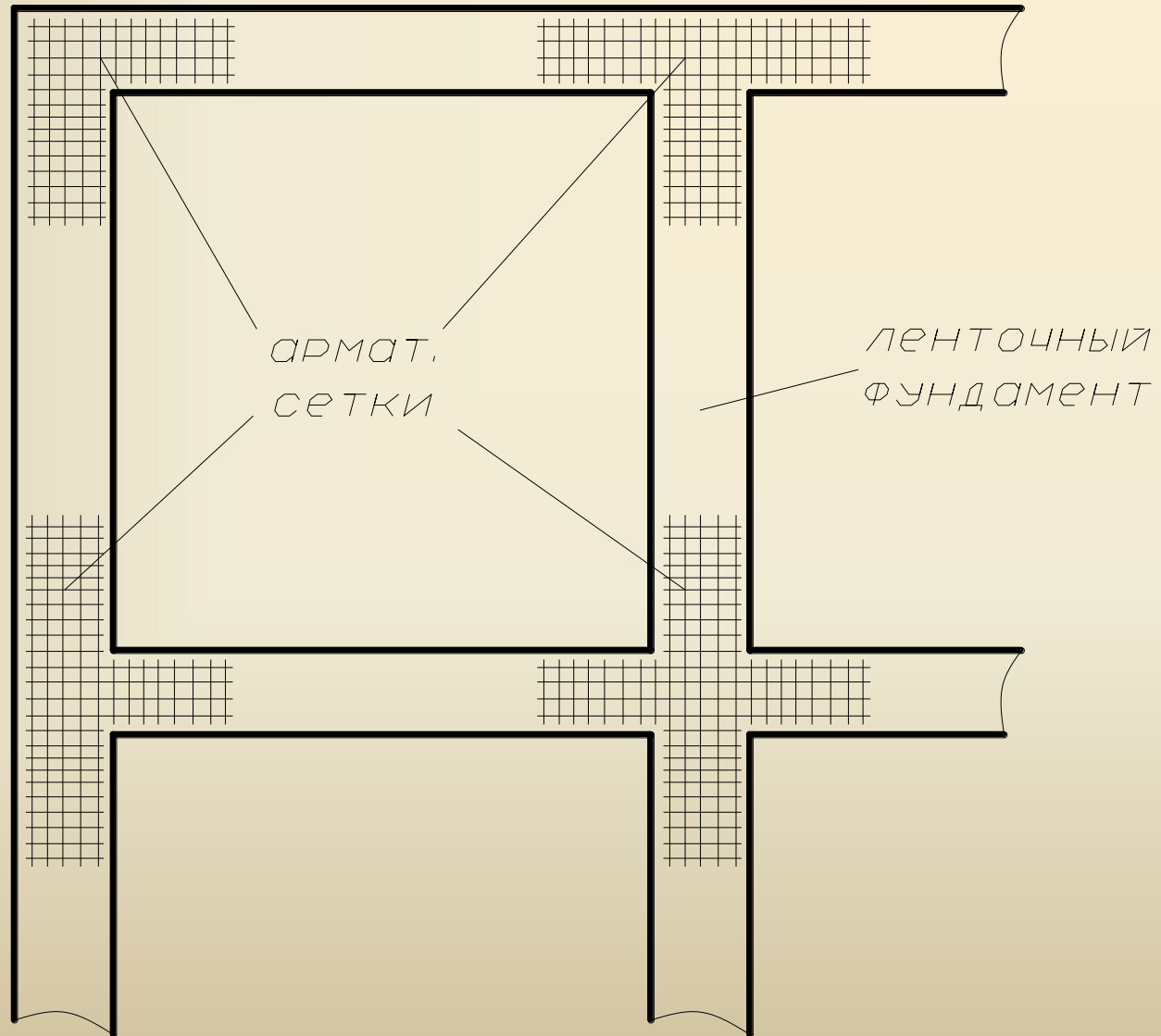
$$F_{d, \text{сейсм}} < F_d$$

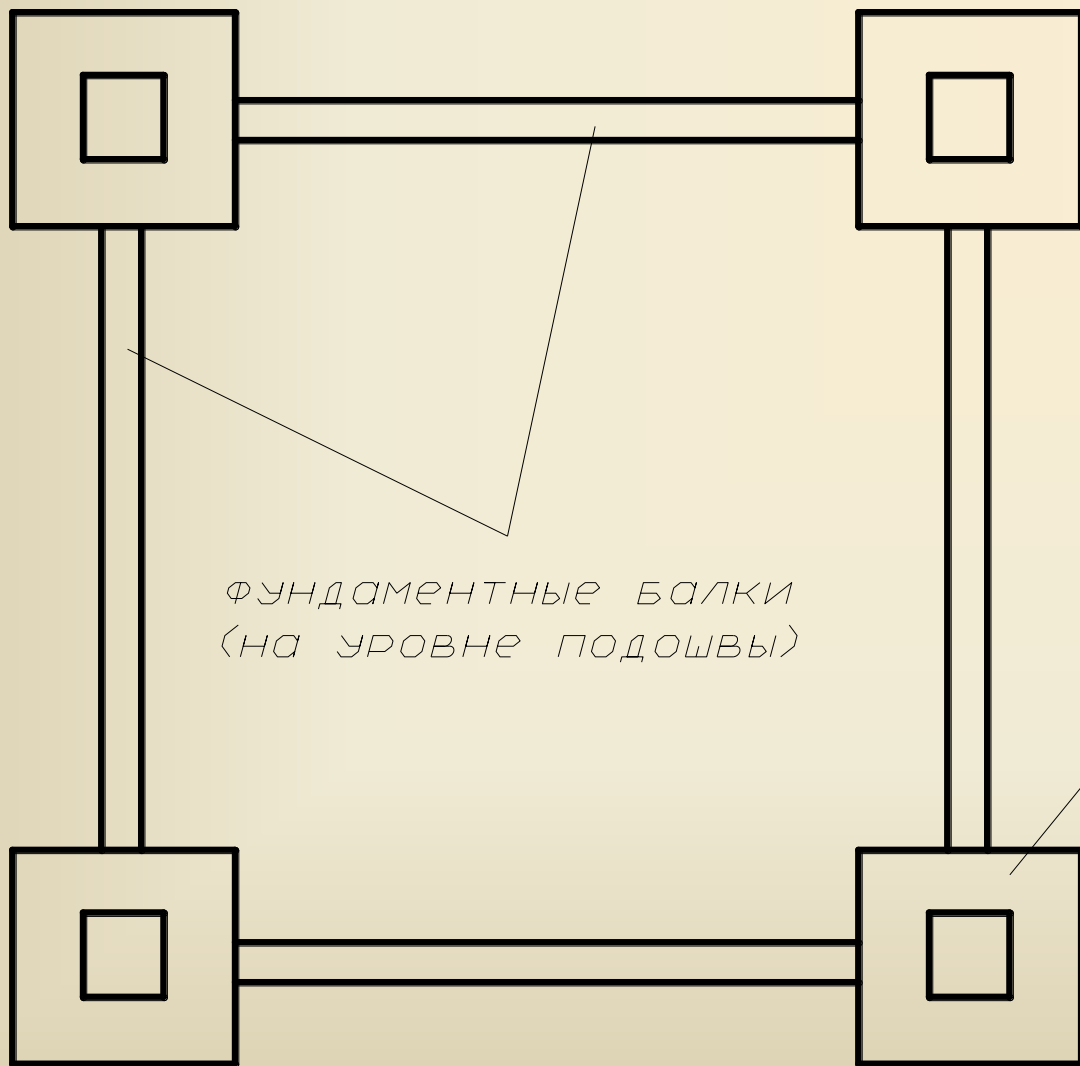
Мероприятия по повышению сейсмостойкости зданий и сооружений:

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

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

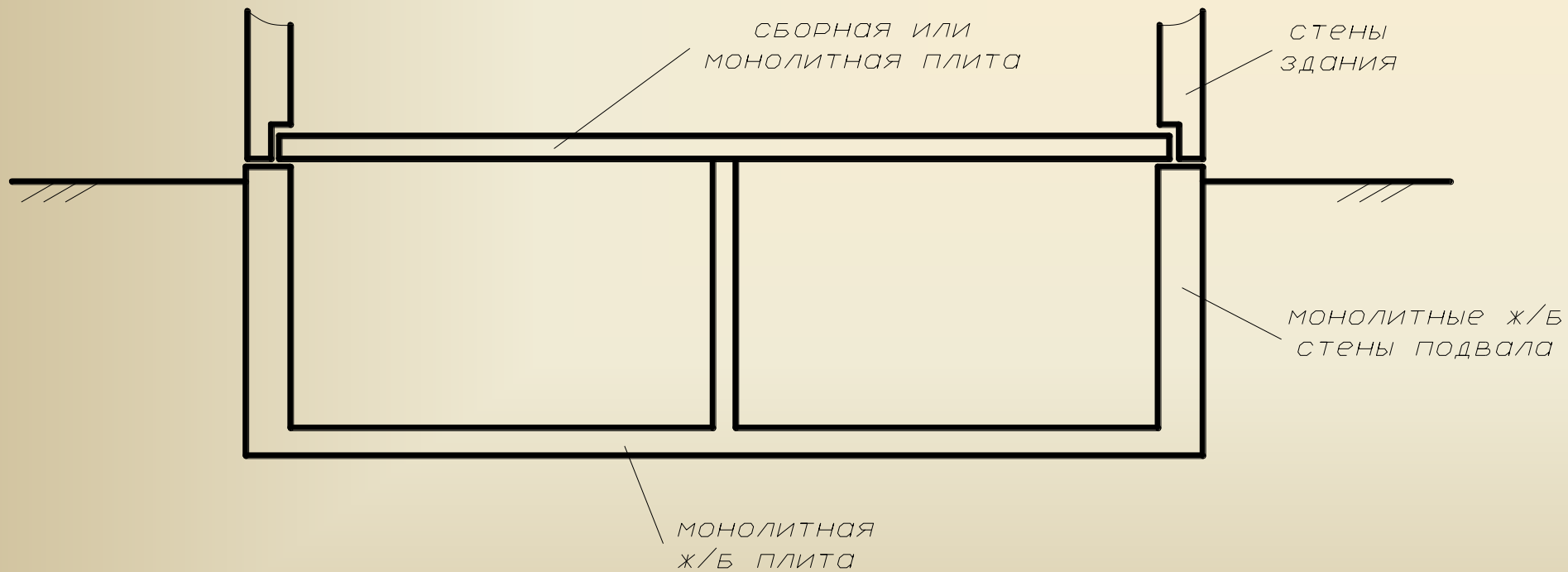
– создание надежных (жестких) конструкций фундаментов;





ФУНДАМЕНТНЫЕ БАЛКИ
(на уровне подошвы)

СТОЛБЧАТЫЙ
ФУНДАМЕНТ

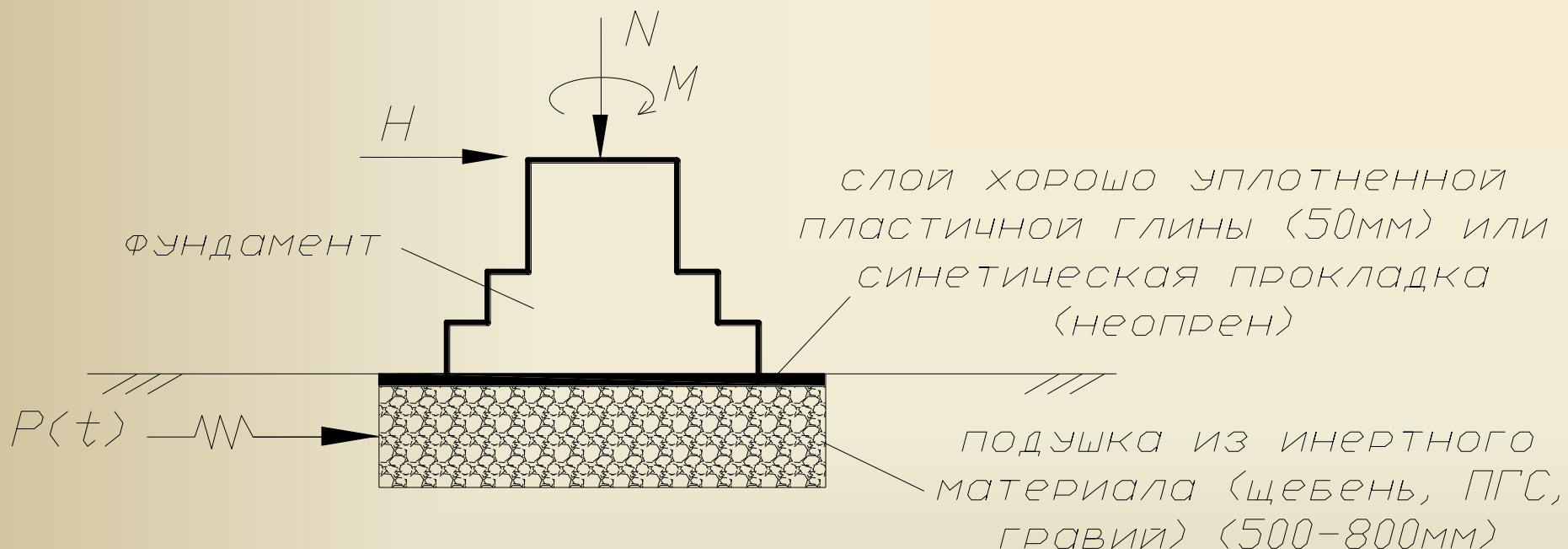


– сейсмоизолирующие фундаменты.

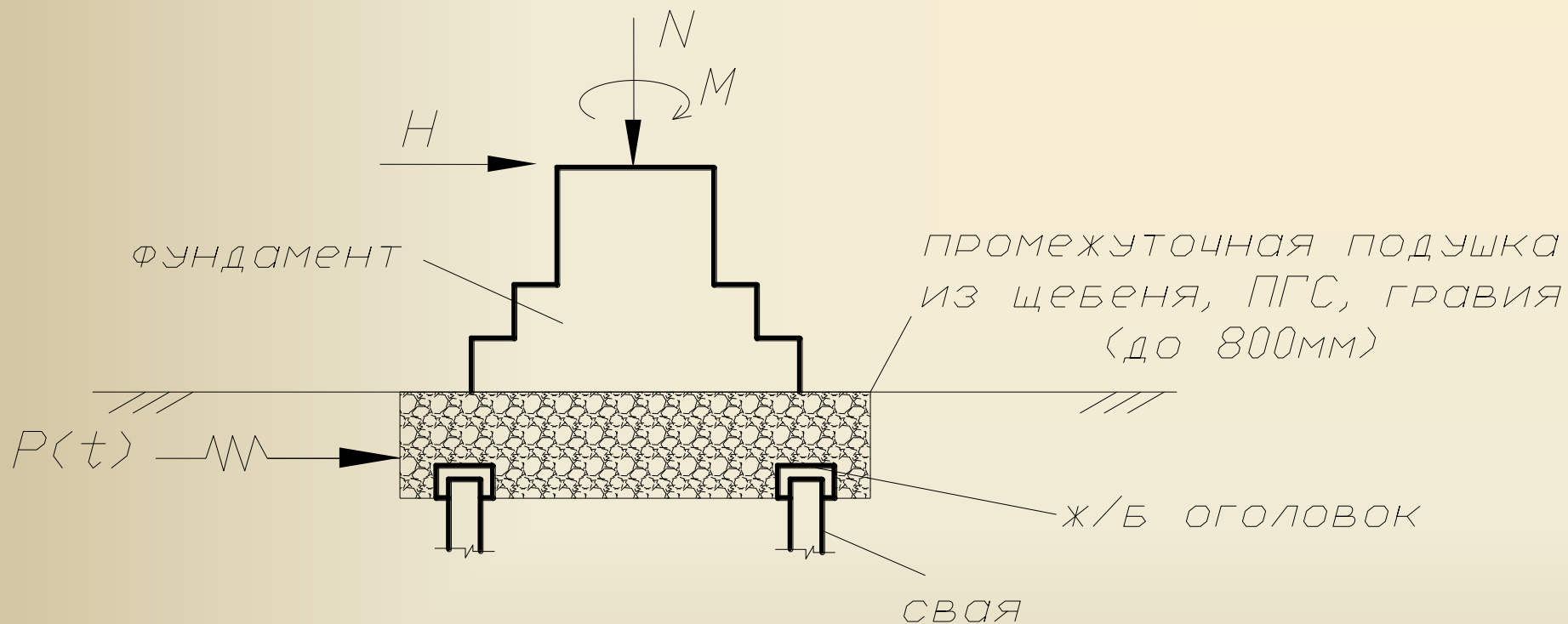
*Конструктивные схемы (примеры)
сейсмоизолирующих фундаментов*

1. Фундаменты с грунтовой промежуточной подушкой

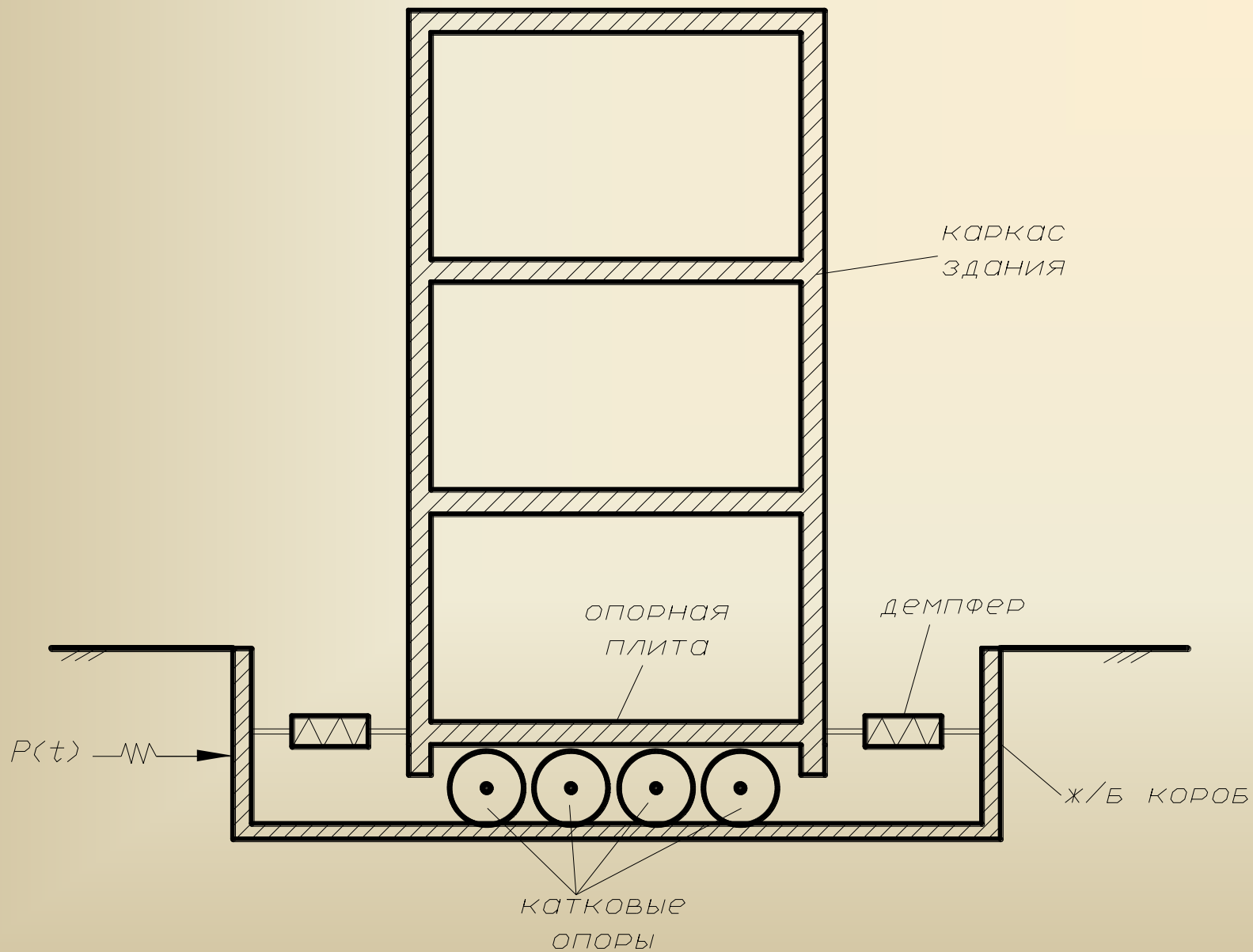
1.1. Столбчатые фундаменты



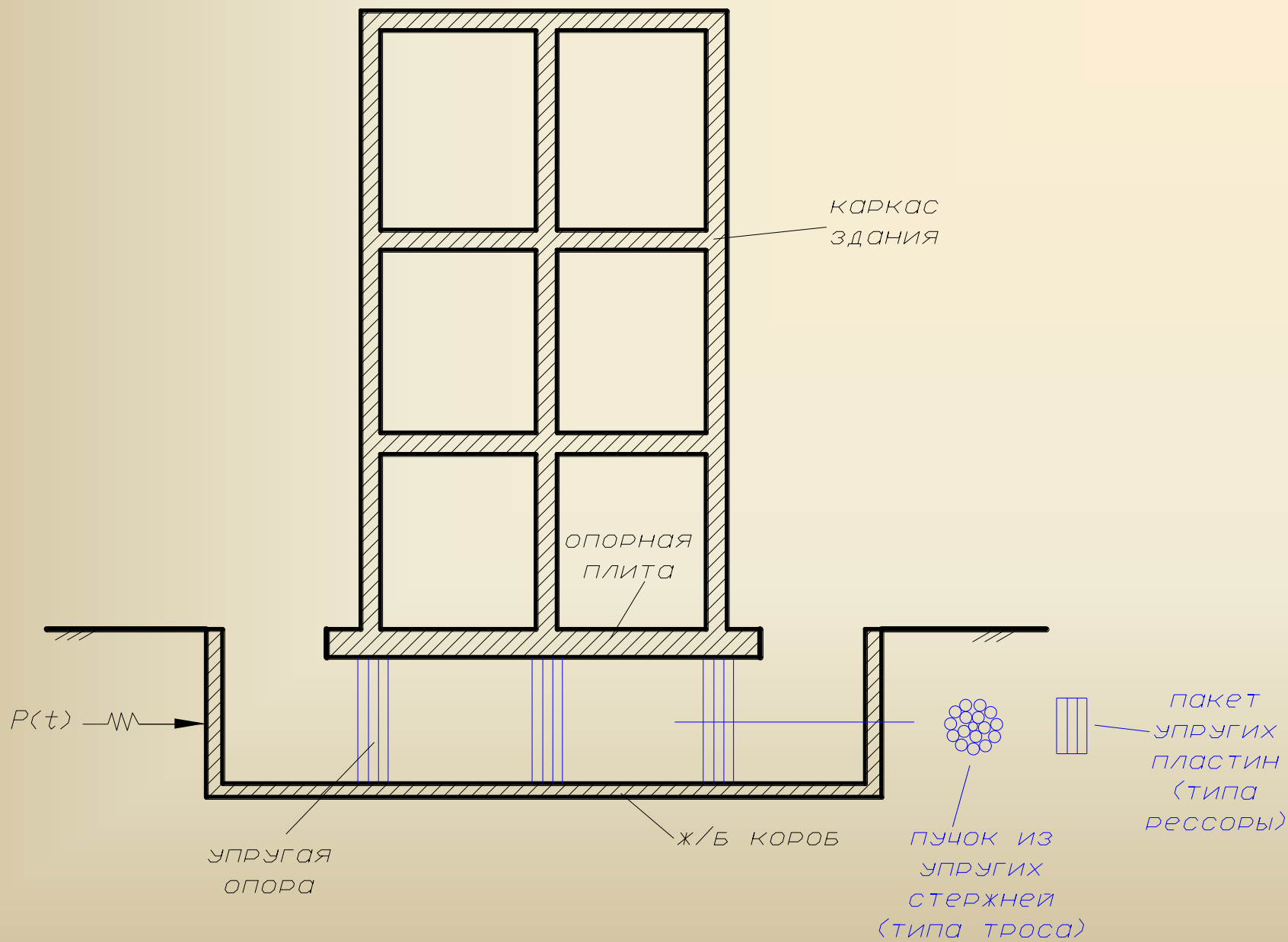
1.2. Свайные фундаменты



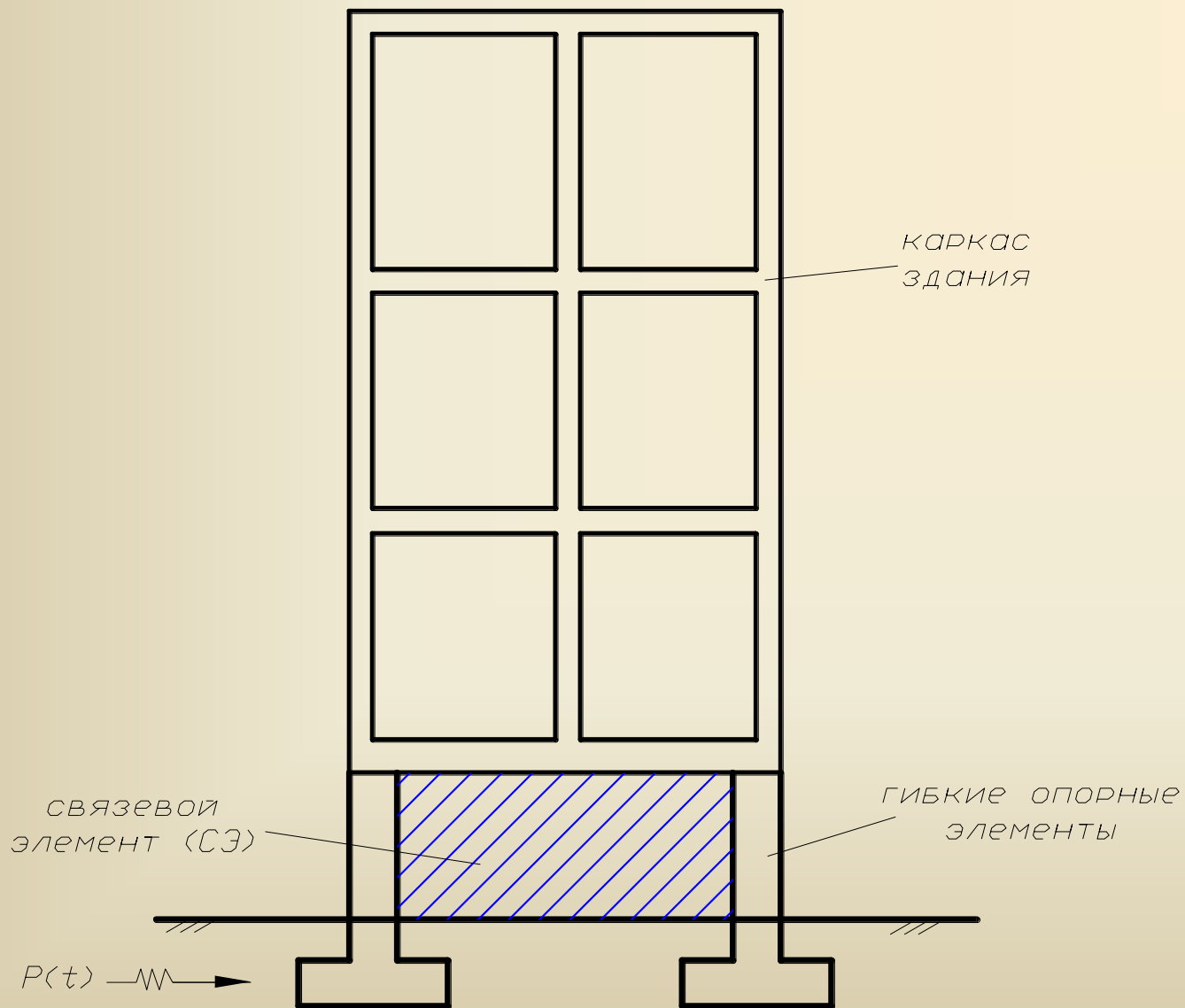
2. Фундаменты – катковые опоры

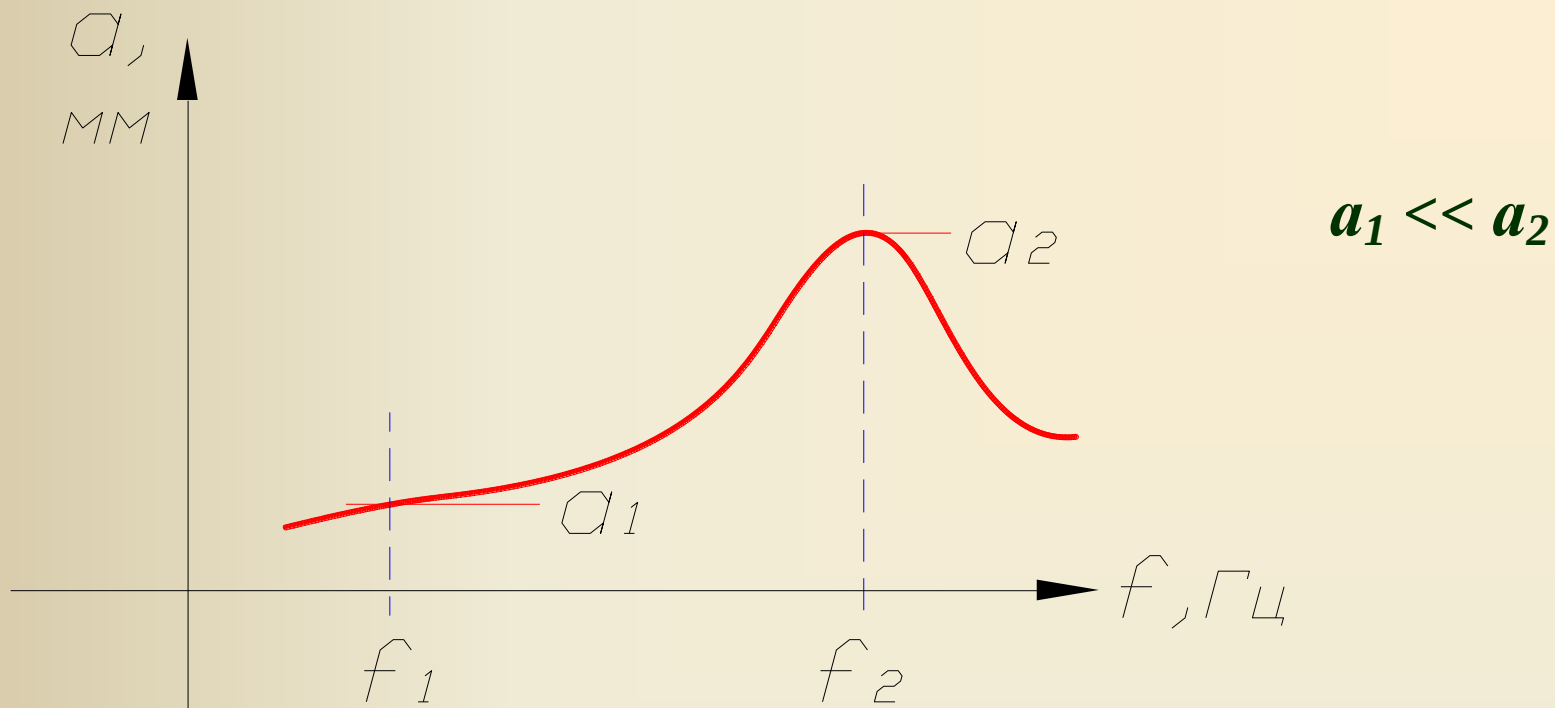


3. Фундаменты с гибкими опорными элементами



4. Фундаменты с выключающимися связями

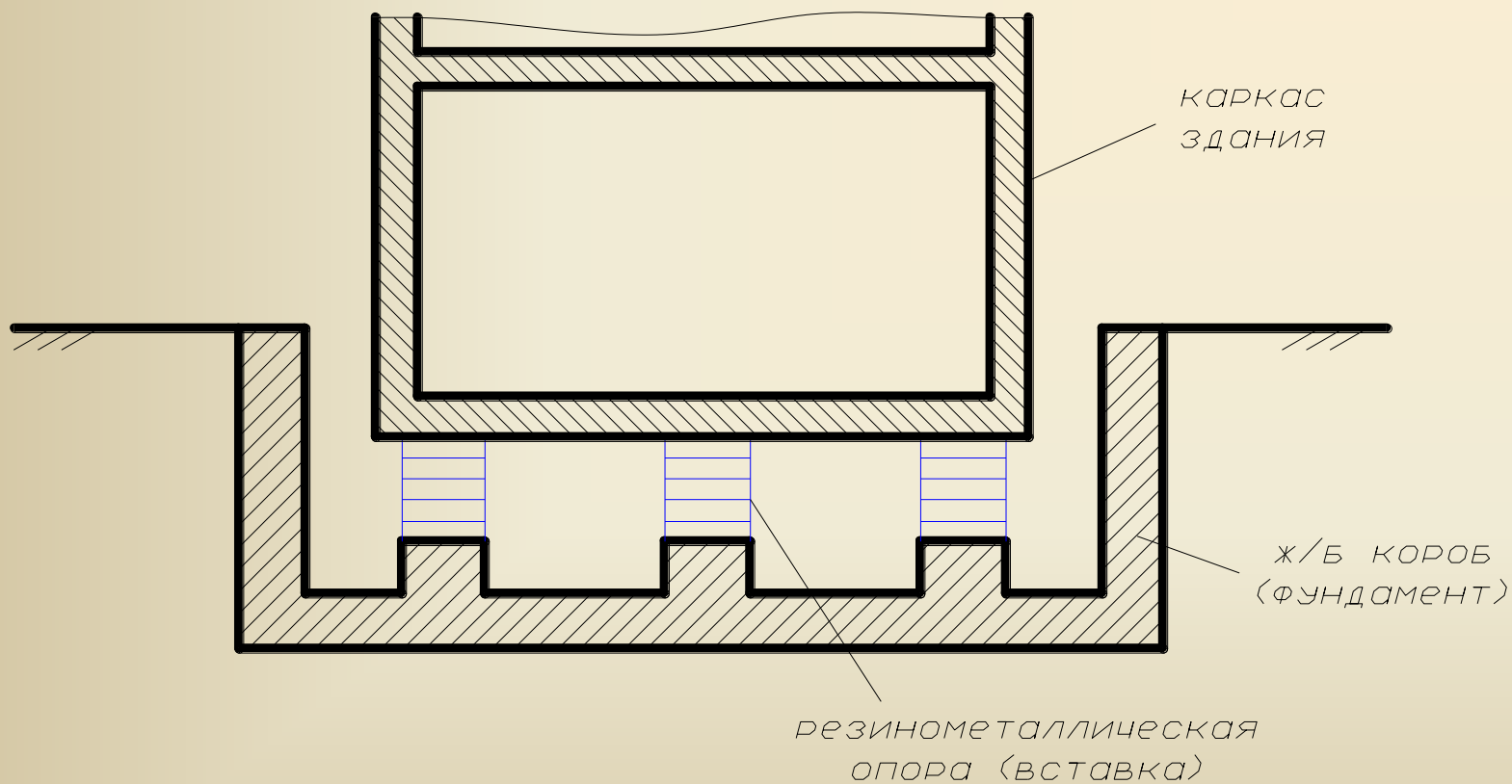




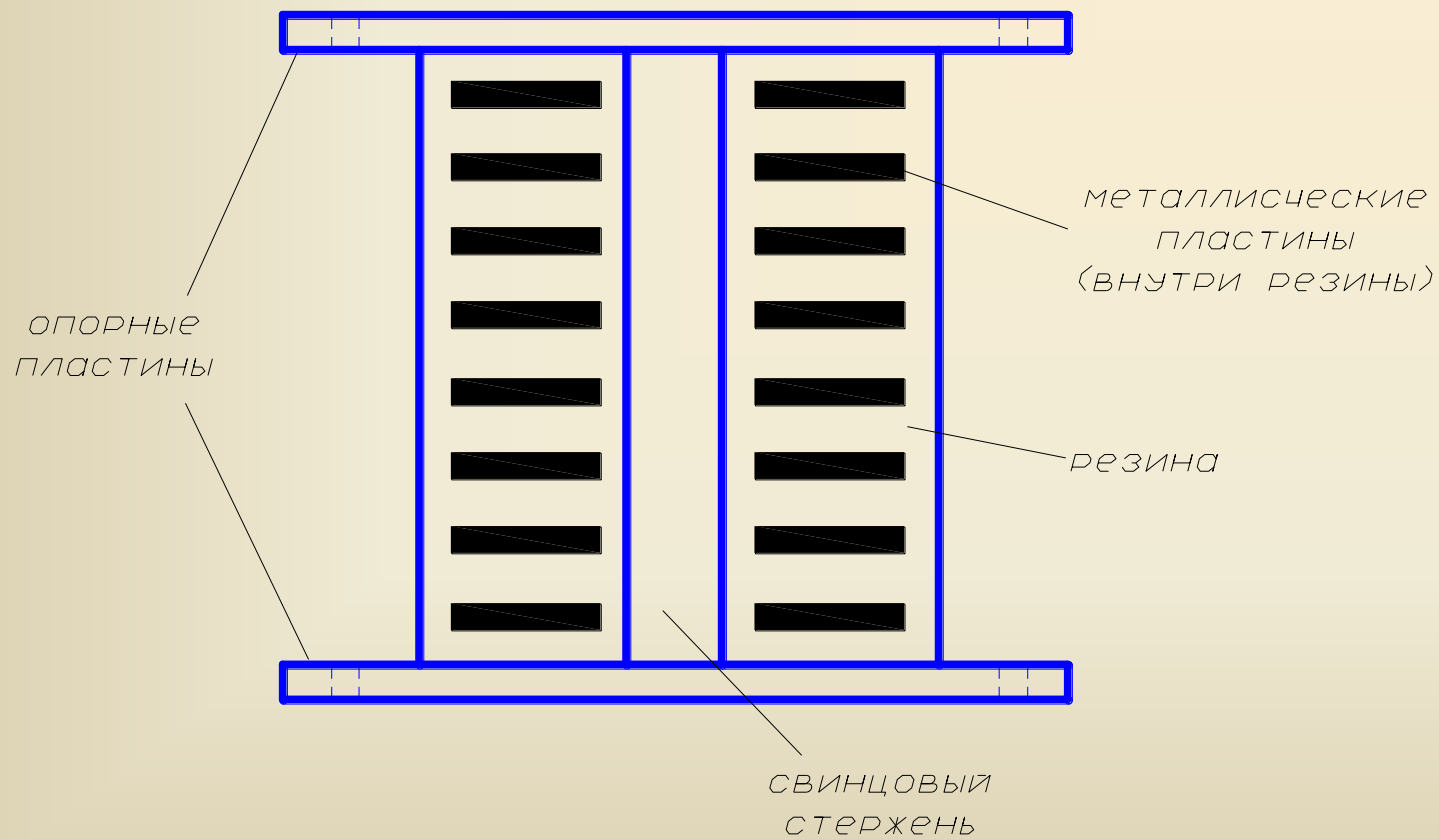
f_2 – частота свободных колебаний без разрушения СЭ;

f_1 – тоже после разрушения СЭ.

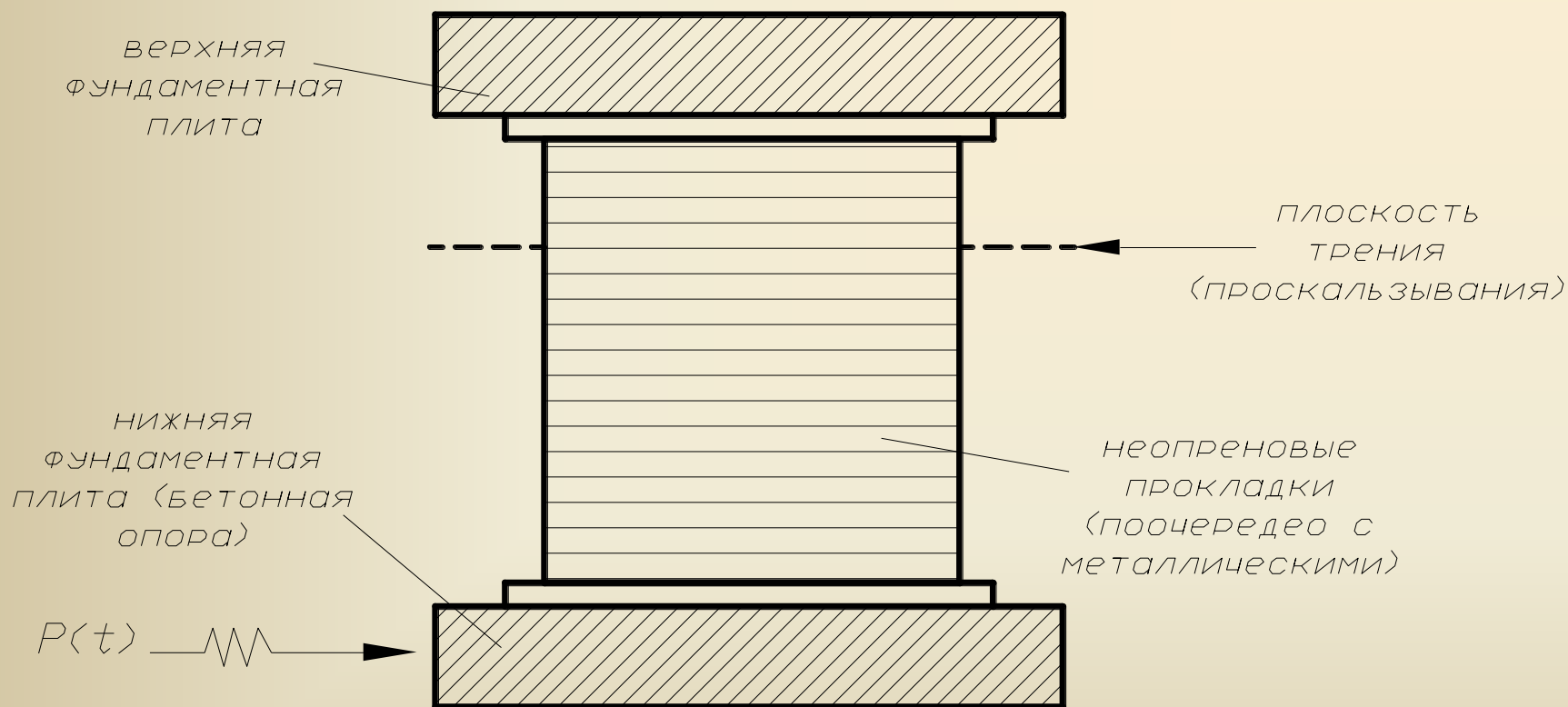
5. Фундаменты с резинометаллическими опорами



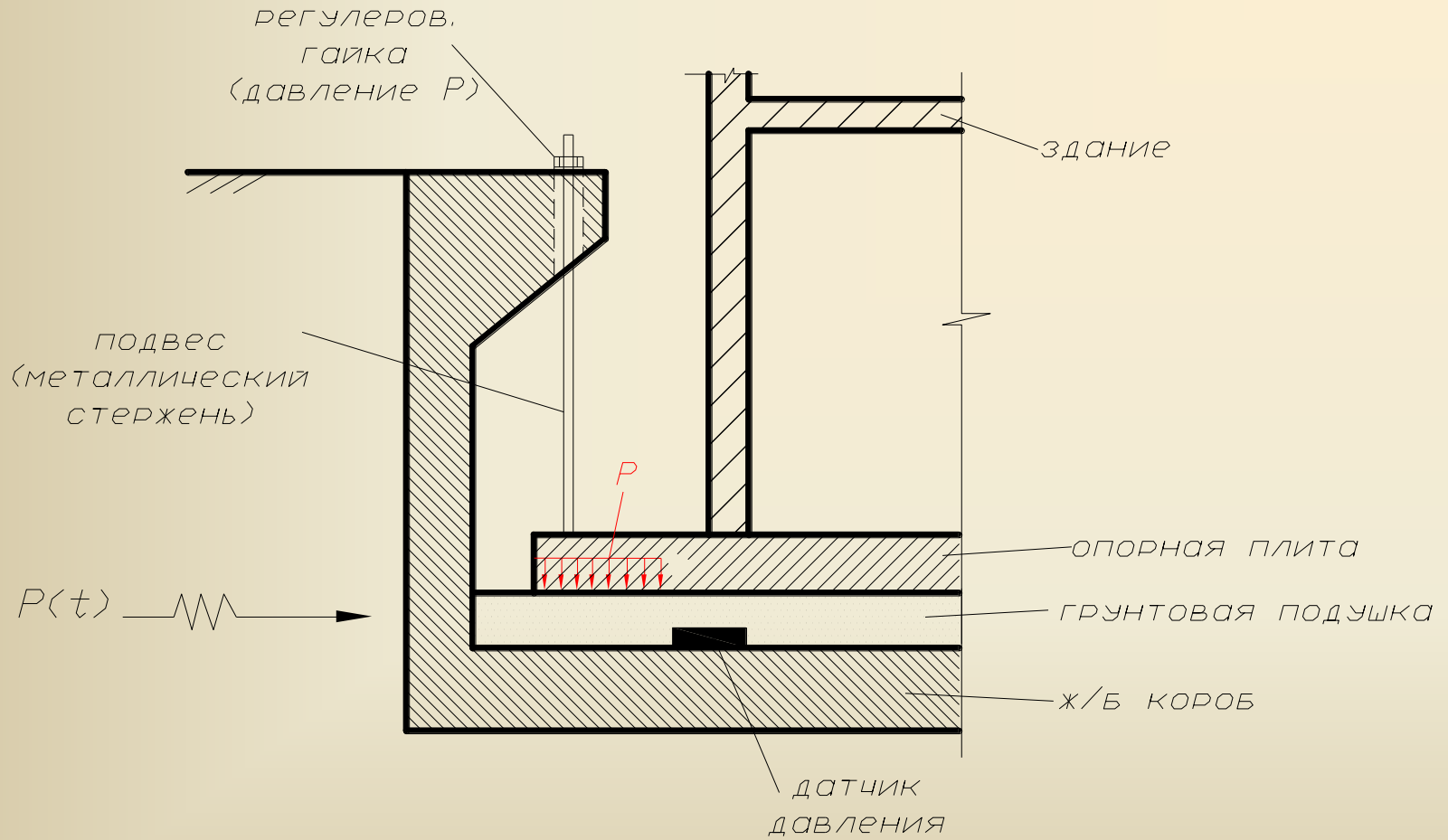
Резинометаллическая опора



6. Фундаменты с фрикционными опорами (опорами трения)



7. Фундаменты с подвесной системой



8. Фундаменты с качающимися опорами (маятниковые опоры)

