



Кубанский ГАУ

Кубанский государственный  
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

# Лекции по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

Лектор: Полищук А. И.  
заведующий кафедрой  
оснований и фундаментов,  
д-р техн. наук, профессор



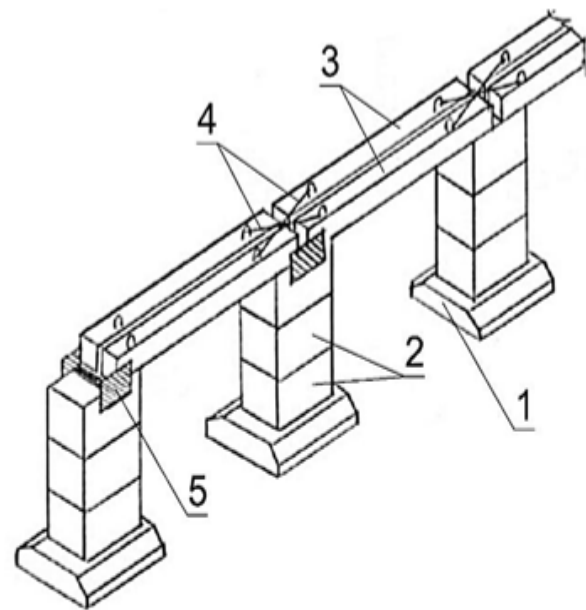
## Конструкции фундаментов мелкого заложения и область их применения

**Отдельные фундаменты** – это кирпичные, каменные, бетонные или железобетонные строительные конструкции, имеющие уширение опорной части. Отдельные фундаменты могут выполняться в монолитном или сборном варианте. Выделяют следующие виды отдельных фундаментов:

- отдельные (столбчатые) фундаменты под стены;
- отдельные фундаменты под колонны (столбы).

**Отдельные (столбчатые) фундаменты под стены** представляют собой столбы из сборных или монолитных элементов, возводимых из бетона, железобетона, кирпича, бута

**Отдельные фундаменты под колонны** – это строительные конструкции, имеющие плитную часть и подколонник. Такие фундаменты могут быть монолитными и сборными из отдельных элементов. Сопряжение сборных колонн с отдельным фундаментом осуществляется с помощью стакана, а монолитных колонн – путем соединения их арматуры с выпусками из фундамента. Для зданий, сооружений испытывающих на отметке поверхности земли постоянные горизонтальные усилия, могут устраиваться отдельные фундаменты с наклонной подошвой.

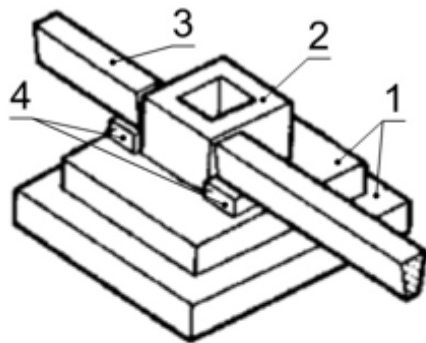


Столбчатые фундаменты под стены:

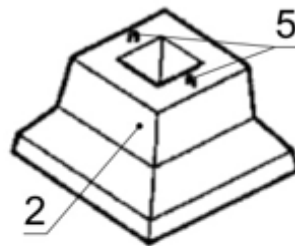
- 1 – плитная часть фундамента (блоки ленточного фундамента ФЛ);
- 2 – столбчатая часть фундамента (бетонные блоки марки ФБС);
- 3 – несущие железобетонные фундаментные балки; 4 – проволоочная скрутка для соединения монтажных петель; 5 – закладные элементы для соединения балок с фундаментами

Конструкции фундаментов мелкого заложения и  
область их применения

открытых котлованах



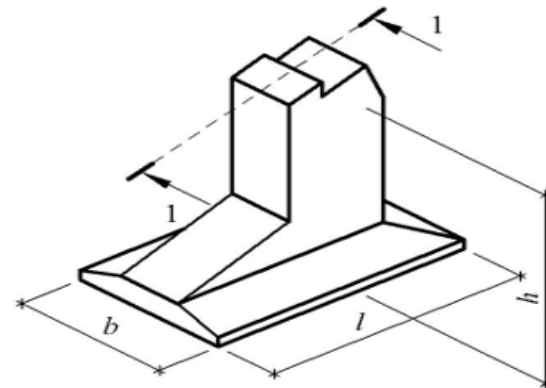
а



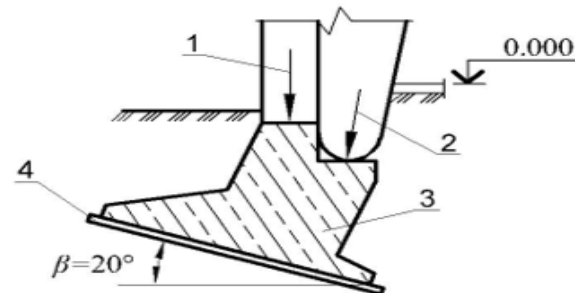
б

Отдельные фундаменты под колонны  
в сборном исполнении:

а, б – различные конструктивные решения; 1 – фундаментные  
плиты; 2 – подколонник; 3 – рандбалка (фундаментная балка);  
4 – бетонные столбики; 5 – монтажные петли



1-1



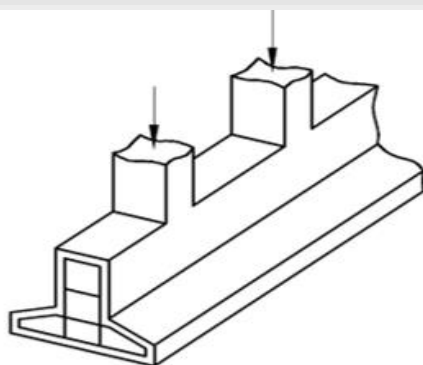
Отдельный фундамент с наклонной подошвой:  
1 – нагрузка от ограждающей конструкции (стены, панели);  
2 – нагрузка от колонны (рамы, потурамы);  
3 – отдельный фундамент; 4 – бетонная подготовка

## Конструкции фундаментов мелкого заложения и область их применения

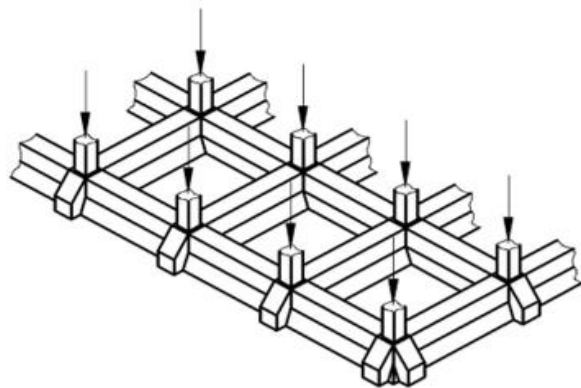
**Ленточные фундаменты** используют для передачи нагрузки на основание от протяженных элементов строительных конструкций, например, стен зданий или ряда колонн.

**Ленточные фундаменты под колонны** воспринимают нагрузку от ряда колонн. Они устраиваются для уменьшения неравномерностей осадки отдельных колонн. Конструктивное решение ленточных фундаментов из перекрестных лент.

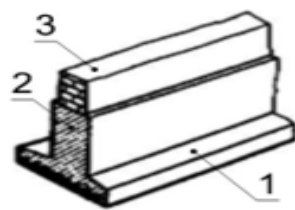
**Ленточные фундаменты под стены** устраивают либо монолитными, либо из сборных блоков. Монолитные железобетонные ленточные фундаменты выполняются в виде нижней армированной ленты и неармированной или малоармированной фундаментной стены. При строительстве на прочных грунтах (модуль деформации грунта 15 МПа и более) при уровне подземных вод ниже подошвы фундамента возможно применение прерывистых ленточных фундаментов.



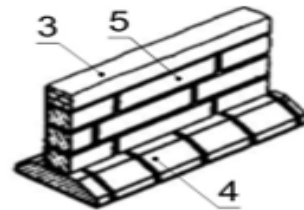
а



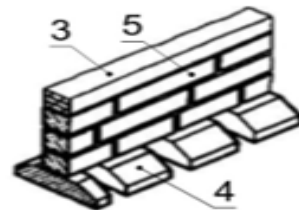
б



а



б



в

Ленточные фундаменты под стены зданий:

а – монолитный железобетонный; б – сборный из железобетонных, бетонных элементов и непрерывной лентой;  
в – сборный прерывистый из железобетонных и бетонных элементов и прерывистой лентой; 1 – армированная лента; 2 – фундаментная бетонная стена; 3 – кирпичная стена здания; 4 – отдельные железобетонные плиты; 5 – сборные бетонные стеновые блоки

Ленточные фундаменты под колонны зданий:

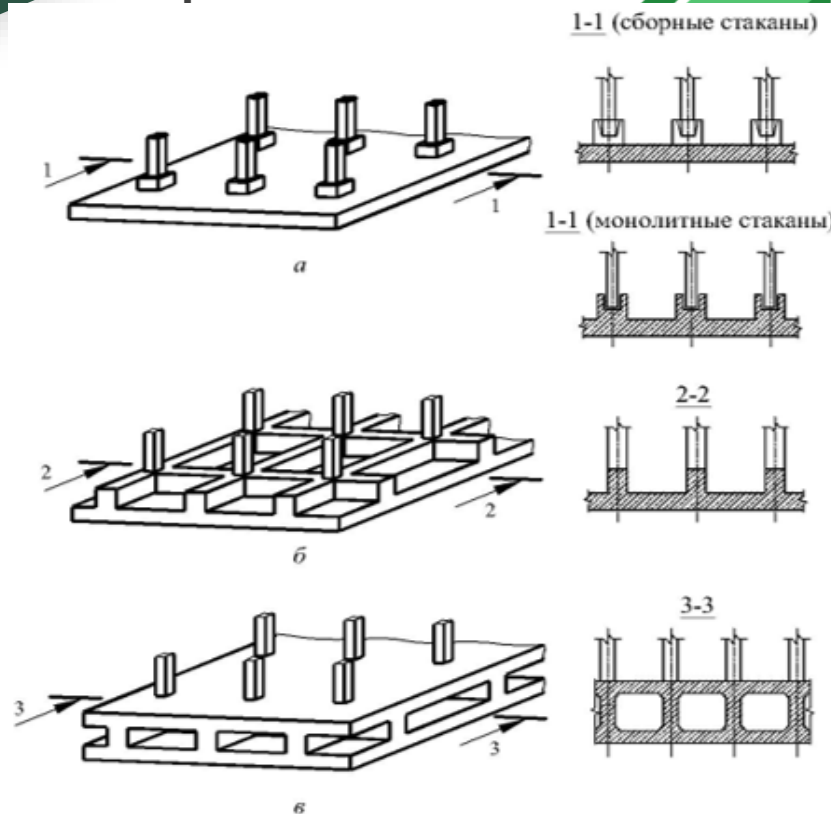
а – монолитный ленточный; б – то же в виде перекрестных лент

## Конструкции фундаментов мелкого заложения и область их применения

**Сплошные (плитные) фундаменты** устраиваются под всем зданием, сооружением (или под их отдельные части) в виде сплошных железобетонных плит. Такие фундаментные плиты работают на изгиб в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Фундаментные плиты разрезаются в плане только осадочными швами. В пределах каждого выделенного отсека рассматриваемое конструктивное решение фундаментов обеспечивает жесткость здания и его совместную работу с основанием.

Сплошные (плитные) фундаменты выполняются, как правило, из монолитного железобетона. По конструктивным решениям их разделяют на **плитные сплошные, ребристые и коробчатые**. Опираение колонн на гладкие и коробчатые плиты осуществляется через сборные или монолитные стаканы; ребристые плиты соединяются с колоннами с помощью монолитных стаканов или выпусков арматуры.

## открытых котлованах



Сплошные (плитные) фундаменты:

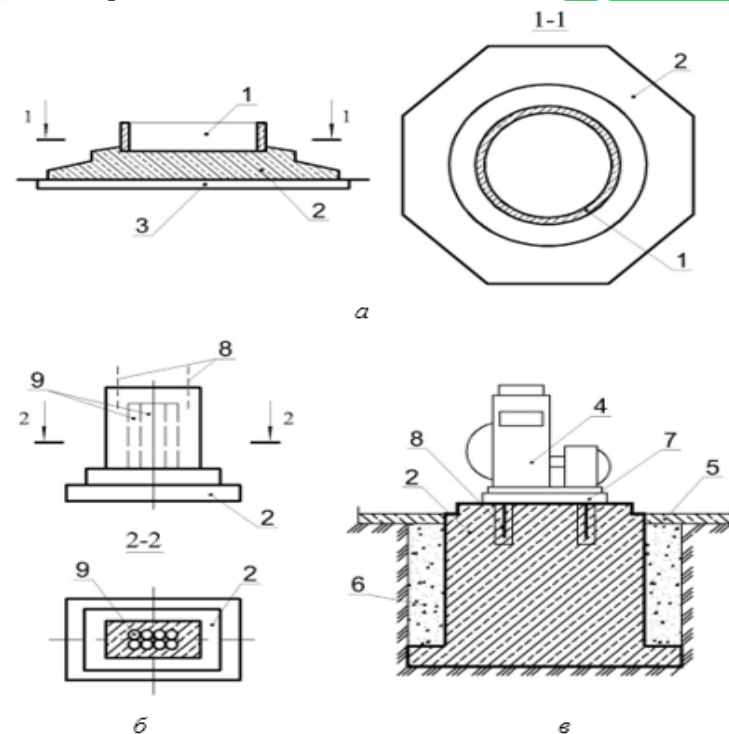
а – в виде монолитной сплошной железобетонной плиты со сборными или монолитными стаканами; б – в виде железобетонной ребристой плиты; в – в виде железобетонной плиты коробчатого сечения

## Конструкции фундаментов мелкого заложения и область их применения

**Массивные фундаменты** – это фундаменты, устраиваемые в виде жесткого бетонного или железобетонного массива обычно под разные (в том числе небольших размеров в плане) сооружения (лифтовые шахты, лестничные клетки, башни, мачты, дымовые трубы, доменные печи, устои мостов и т. д.).

Массивные фундаменты выполняются обычно в монолитном варианте. С целью сокращения объема бетона в тело массивного фундамента могут закладываться **пустотообразователи**, в качестве которых используют картонные или полиэтиленовые вкладыши диаметром 100–300 мм.

## открытых котлованах



Массивные фундаменты сооружений:

а – под дымовую трубу; б – под опору производственного сооружения;

в – под производственное оборудование;

1 – труба (кирпичная, железобетонная); 2 – массивный монолитный фундамент; 3 – бетонная подготовка; 4 – производственное оборудование; 5 – бетонный пол по грунту; 6 – грунт обратной засыпки; 7 – рама под оборудование; 8 – фундаментный анкер; 9 – ~~пустотообразователи~~

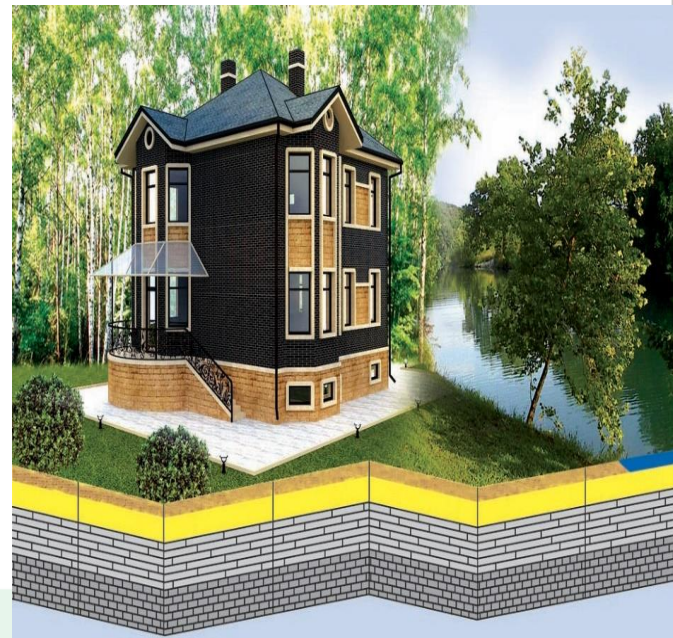
**Под оценкой грунтовых условий** понимается обобщение результатов исследований свойств грунтов, выполненных на стадии инженерно-геологических изысканий, и выявление возможности их использования в качестве основания фундаментов зданий или сооружений. Оценка грунтовых условий площадок строительства производится по результатам описания геоморфологии, литологического строения и инженерно-геологических разрезов, а также данным о физико-механических свойствах грунтов и гидрогеологических условий строительства, которые приводятся в отчетах (заключениях) по инженерно-геологическим изысканиям. От качества и полноты материалов изысканий во многом зависят надежность и экономичность принимаемых в проекте решений по основаниям и фундаментам зданий, сооружений. На основании анализа материалов инженерно-геологических изысканий, имеющих в отчетах, заключениях и других документах, проектировщикам необходимо сформировать исходные данные для оценки грунтовых условий строительства здания (сооружения). При этом необходимо также **дать ответы на следующие вопросы:**

- могут ли грунты рассматриваемой строительной площадки служить основанием для фундаментов зданий (сооружений) и какой грунт (инженерно-геологический элемент (ИГЭ)) может быть использован в качестве несущего слоя;
- какие виды фундаментов наиболее предпочтительны в рассматриваемых грунтовых условиях (учитывая конструктивные особенности проектируемого здания);
- будут ли изменяться свойства грунтов в период эксплуатации рассматриваемого здания, сооружения под влиянием развития естественных процессов и техногенных воздействий.

При оценке грунтовых условий площадок строительства все грунты в основании фундаментов зданий условно разделяют обычно на прочные и слабые.

К **прочным** относятся грунты, которые могут служить основанием сооружений и обеспечивают их нормальную эксплуатацию: крупнообломочные грунты; плотные и средней плотности пески; твердые и пластичные глинистые грунты с расчетным сопротивлением грунта основания  $R_0 > 200$  кПа, модулем деформации  $E > 5$  МПа.

К **слабым** относятся грунты, которые дают под нагрузкой значительные деформации (осадки) и не могут служить основанием сооружений без предварительных мероприятий: рыхлые пески; текучепластичные и текучие глинистые грунты, а также водонасыщенные глинистые грунты, у которых расчетное сопротивление грунта основания  $R_0 < 150$  кПа, модуль деформации  $E \leq 5$  МПа.



### Выбор глубины заложения подошвы фундаментов зданий

Выбирается слой грунта, который является **несущим**. В дальнейшем рекомендуется придерживаться следующих общих правил:

- минимальная глубина заложения фундаментов принимается не менее 0,5 м от отметки планировки;
- глубина заложения фундамента в несущий слой грунта должна быть не менее 10–15 см;
- фундаменты рекомендуется по возможности закладывать выше уровня подземных вод;
- в слоистых основаниях фундаменты предпочтительно возводить на одном грунте или на грунтах с близкой прочностью и сжимаемостью. Допустимая разность отметок заложения соседних столбчатых фундаментов (или столбчатого и ленточного) определяется по формуле:

$$\Delta h \leq a \cdot \left( \operatorname{tg} \varphi_1 + \frac{c_1}{p} \right), \quad (6.1)$$

где  $a$  – расстояние между фундаментами в свету;

$\varphi_1$ ,  $c_1$  – расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта;

$p$  – среднее давление под подошвой расположенного выше фундамента от расчетных нагрузок (для расчета оснований по несущей способности).

Столбчатые фундаменты, **разделенные** осадочным швом, следует располагать **на одном уровне**.

Фундаменты проектируемого здания (сооружения), непосредственно примыкающие к фундаментам существующего, рекомендуется принимать **на одной отметке**. Переход на большую глубину заложения следует выполнять исходя из условия.

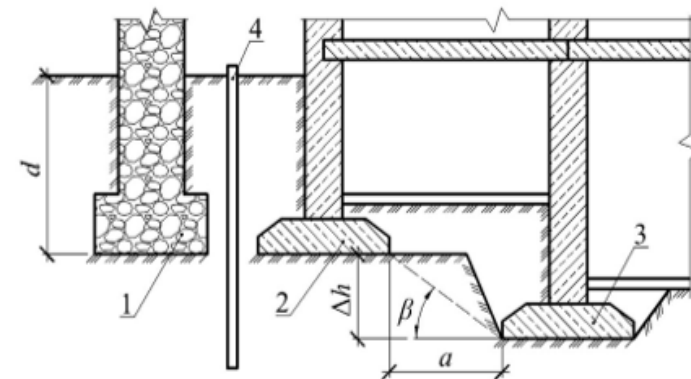


Схема защиты существующего здания от дополнительных осадок при возведении рядом нового здания с большей глубиной заложения фундамента:

- 1 – фундамент существующего здания; 2 – фундамент нового здания; 3 – фундамент с большей глубиной заложения; 4 – шпунтовая стенка



## ЛЕКЦИЯ 2. Фундаменты возводимые в открытых котлованах

### Выбор глубины заложения подошвы фундаментов зданий

В **пучинистых грунтах** для наружных и внутренних стен глубина заложения  $d$  фундаментов здания обычно назначается не менее расчетной глубины промерзания  $d_f$ . К пучинистым грунтам относятся мелкие и пылеватые пески, супеси, независимо от показателя текучести (консистенции), а также суглинки и глины с показателем текучести  $I_L > 0,25$ .

В **непучинистых грунтах** глубина заложения фундаментов не зависит от глубины их промерзания. К непучинистым относятся грунты крупнообломочные с заполнителем (песок, гравий и др.) до 10 %; пески гравелистые, крупные и средней крупности; пески мелкие и пылеватые при  $S_r < 0,6$ , а также пески мелкие и пылеватые, содержащие менее 15 % по массе частиц мельче 0,05 мм (независимо от  $S_r$ ). Минимальная глубина заложения  $d$  в таких грунтах принимается обычно не менее 0,5 м от спланированной поверхности земли.

**Глубина заложения фундамента  $d$**  из условия промерзания грунтов назначается в зависимости от их вида, состояния, начальной влажности и уровня подземных вод в период промерзания. Промерзание водонасыщенных грунтов сопровождается образованием в них прослоек льда, толщина которых увеличивается по мере миграции воды из слоев, расположенных ниже уровня подземных вод. Это приводит к возникновению сил пучения по подошве и боковой поверхности фундамента, которые могут вызвать подъем сооружения. Последующее оттаивание таких грунтов приводит к резкому снижению их несущей способности и просадкам основания здания (сооружения).

Глубина заложения фундаментов в зависимости от расчетной глубины промерзания грунтов (данные СП 22.13330.2016)

Грунты под подошвой фундамента	Глубина заложения фундаментов в зависимости от глубины расположения уровня подземных вод $d_w$ м, при	
	$d_w \leq d_f + 2$	$d_w > d_f + 2$
Скальные, крупнообломочные с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности	Не зависит от $d_f$	Не зависит от $d_f$
Пески мелкие и пылеватые	Не менее $d_f$	То же
Супеси с показателем текучести $I_L < 0$	То же	»
То же, при $I_L \geq 0$	»	Не менее $d_f$
Суглинки, глины, а также крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем при показателе текучести грунта или заполнителя $I_L \geq 0,25$	»	То же
То же, при $I_L < 0,25$	»	Не менее 0,5 $d_f$

**Примечания.** 1. В случаях, когда глубина заложения фундаментов не зависит от расчетной глубины промерзания  $d_f$  соответствующие грунты, указанные в настоящей таблице, должны залегать до глубины не менее нормативной глубины промерзания  $d_{fn}$ . 2. Положение уровня подземных вод должно приниматься с учетом указаний п. 5.4 СП 22.13330.2016.

## Выбор глубины заложения подошвы фундаментов зданий

**Расчетная глубина** сезонного промерзания  $d_f$  определяется по формуле:

$$d_f = k_h \cdot d_{fn}, \quad (8.1)$$

где  $d_{fn}$  – нормативная глубина промерзания (м), определяемая по рекомендациям СП 22.13330.2016 (п. 5.5.2, 5.5.3), либо схематическим картам; для песков и супесей значения  $d_{fn}$ , найденное по карте, следует умножить на коэффициент 1,2;

$k_h$  – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима здания (сооружения), принимаемый для наружных фундаментов отапливаемых зданий по таблице ; для наружных и внутренних фундаментов неотапливаемых зданий  $k_h = 1,1$ , кроме районов с отрицательной среднегодовой температурой.

**Нормативную глубину** сезонного промерзания грунта  $d_{fn}$  (м) при отсутствии данных многолетних наблюдений, согласно СП 22.13330.2016 (п. 5.5.3), следует определять на основе теплотехнических расчетов. Для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение допускается определять по формуле:

$$d_{fn} = d_0 \cdot \sqrt{M_t}, \quad (8.2)$$

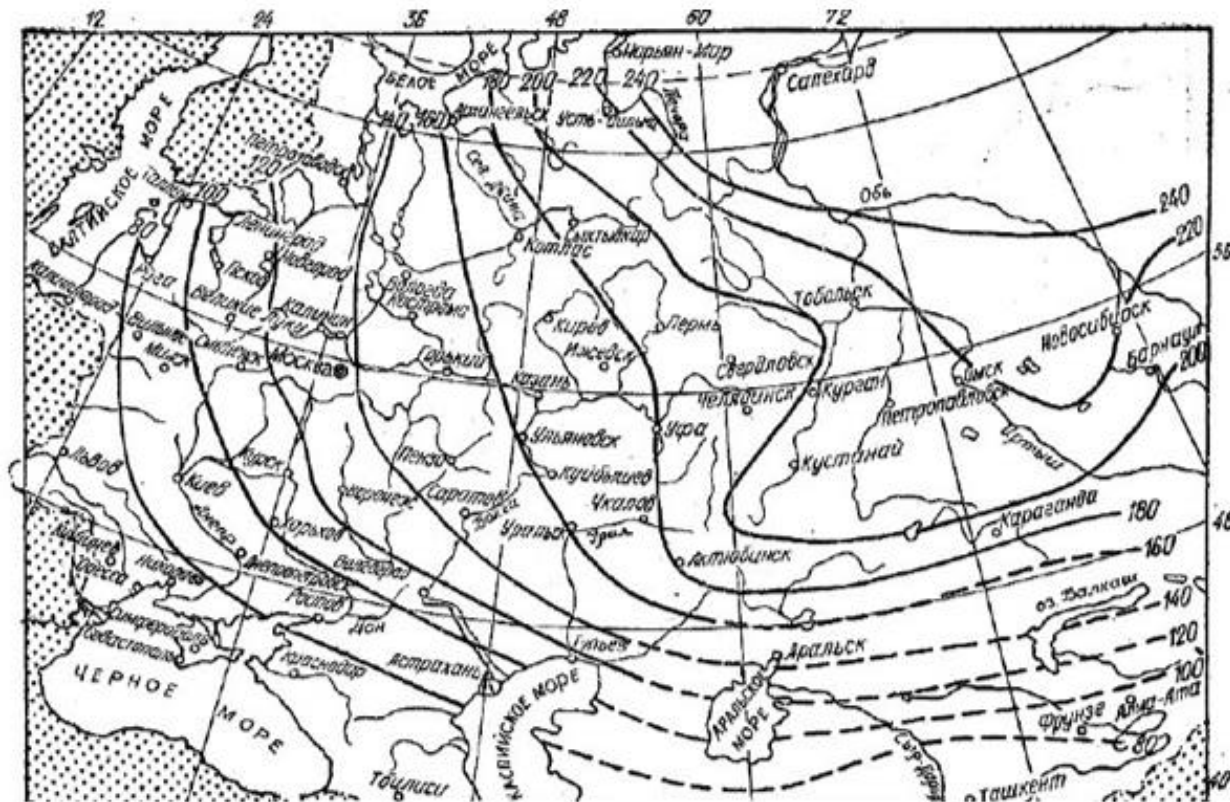
где  $M_t$  – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе, принимаемых по СП

Значения коэффициента  $k_h$   
(данные СП 22.13330.2016)

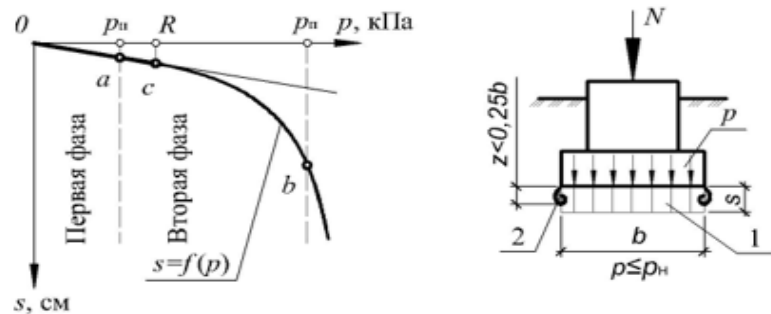
Особенности сооружения	Коэффициент $k_h$ при расчетной среднесуточной температуре $t$ воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам, °С				
	0	5	10	15	20 и более
Без подвала с полами, устраиваемыми: по грунту	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
на лагах по грунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
по утепленному дощатому перекрытию	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
С подвалом или техническим подпольем	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

(по строительной климатологии и геофизике), а при отсутствии в нем данных для конкретного пункта или района строительства – по результатам наблюдений гидрометеорологической станции, находящейся в аналогичных условиях с районом строительства;

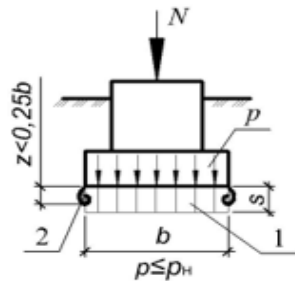
$d_0$  – величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23 м; супесей, песков мелких и пылеватых – 0,28 м; песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0,30 м; крупнообломочных грунтов – 0,34 м.



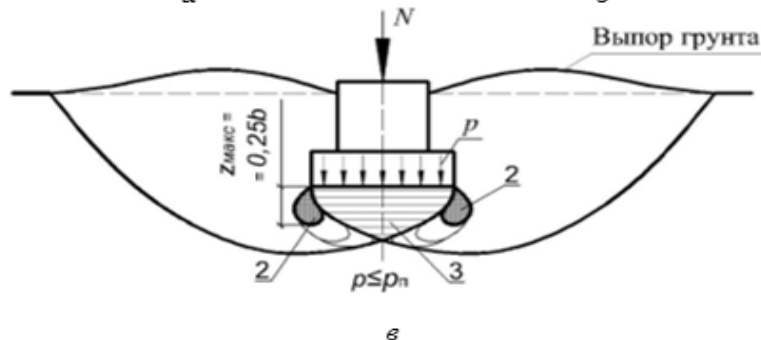
Схематическая карта нормативных глубин промерзания суглинков и глин (изолинии нормативных глубин промерзания, обозначенные пунктиром, даны для малоисследованных районов) (данные Пособия к СНиП 2.02.01–83, 1986)



а



б



в

Зависимость осадки фундамента  $S$   
от прикладываемого давления  $p$ :

- а – график осадки фундамента; б – состояние грунта основания в фазе уплотнения ( $p \leq p_n$ ); в – состояние грунта основания в фазе сдвигов ( $p \leq p_n$ ); 1 – эпюра осадок фундамента; 2 – зоны сдвигов грунта (зоны локального нарушения прочности); 3 – уплотненное ядро;  $p$  – давление по подошве фундамента;  $b$  – ширина подошвы фундамента (меньшая сторона)

**Расчетное сопротивление грунта основания  $R$**  получено на основе теоретического решения начального критического давления  $p_n$ . Впервые в нашей стране формула для определения  $p_n$  была получена Н. П. Пузыревским (1923–1929 гг.). В последующем решение по определению  $p_n$  было усовершенствовано Н. М. Герсеговым (1930–1933 гг.), а затем О. К. Фрелихом (1934 г.), что позволило получить формулу:

$$p_n = \frac{\pi \cdot (\gamma' \cdot d + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi)}{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma' \cdot d, \quad (10.1)$$

При развитии зон сдвигов под подошвой фундаментов на глубину  $z_{\max} = 0,25b$  ( $b$  – ширина подошвы фундамента). При глубине развития зон сдвигов  $z_{\max}$  под подошвой фундамента формула (10.2) может быть преобразована к виду:

$$p_n = \frac{\pi \cdot (0,25 \cdot \gamma' \cdot b + \gamma' \cdot d + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi)}{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma' \cdot d, \quad (10.2)$$

Это давление  $p_n$  называют расчетным сопротивлением грунта основания  $R$ , которое в СП 22.13330.2016 имеет вид:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}] \quad (10.3)$$



$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}] \quad (11.1)$$

где  $\gamma_{c1}, \gamma_{c2}$  – коэффициенты условий работы, принимаемые по СП 22.13330.2016;

$k$  – коэффициент надежности, принимаемый равным:  $k = 1$  если прочностные характеристики грунта ( $c_{II}, \varphi_{II}$ ) определены непосредственными испытаниями;  $k = 1,1$  если они приняты по СП 22.13330.2016 или другим источникам;

$k_z$  – коэффициент, принимаемый равным: при ширине  $b < 10$  м  $k_z = 1$ ; при ширине  $b \geq 10$  м  $k_z = z_0/b + 0,2$  (здесь  $z_0 = 8$  м);

$M_{\gamma}, M_q, M_c$  – коэффициенты, принимаемые по СП 22.13330.2016 в зависимости от угла внутреннего трения грунта, либо вычисляемые по формулам:

$$M_{\gamma} = \frac{0,25\pi}{ctg\varphi_{II} + \varphi_{II} - \pi/2}; \quad (11.1a)$$

$$M_q = \frac{\pi}{ctg\varphi_{II} + \varphi_{II} - \pi/2} + 1; \quad (11.2б)$$

$$M_c = \frac{\pi \cdot ctg\varphi_{II}}{ctg\varphi_{II} + \varphi_{II} - \pi/2}. \quad (11.3в)$$

$d_1$  – приведенная глубина заложения наружных и внутренних фундаментов от пола подвала, определяемая по формуле:

$$d_1 = h_s + h_{cf} \cdot \frac{\gamma_{cf}}{\gamma'_{II}}, \quad (11.4)$$

здесь:  $h_s$  – толщина слоя грунта выше подошвы фундамента со стороны подвала, м;

$h_{cf}$  – толщина пола подвала, м;

$\gamma_{cf}$  – расчетный удельный вес материала пола подвала, кН/м<sup>3</sup>;

$d_b$  – глубина подвала, равная расстоянию от уровня планировки до отметки пола подвала, м (для сооружений с подвалом, ширина которого  $B \leq 20$  м и глубина более 2 м принимается  $d_b = 2$  м; при ширине подвала  $B > 20$  м – принимается  $d_b = 0$  м);

$c_{II}$  – расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента, кПа.

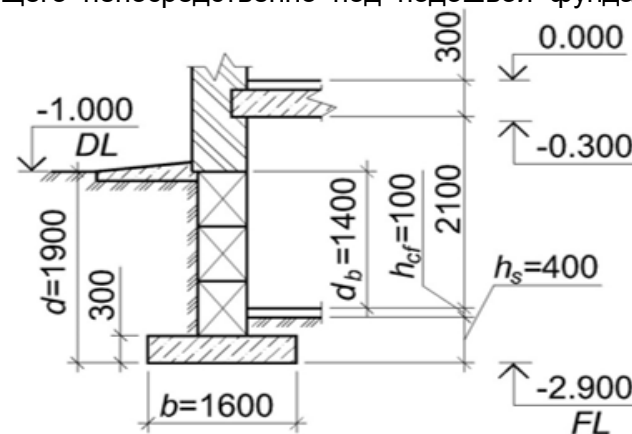


Схема к определению параметра расчетного сопротивления грунта основания  $R$  под наружную стену здания



## ЛЕКЦИЯ 2. Фундаменты возводимые в открытых котлованах

*Особенности назначения параметра расчетного  
сопротивления грунта основания фундаментов зданий*

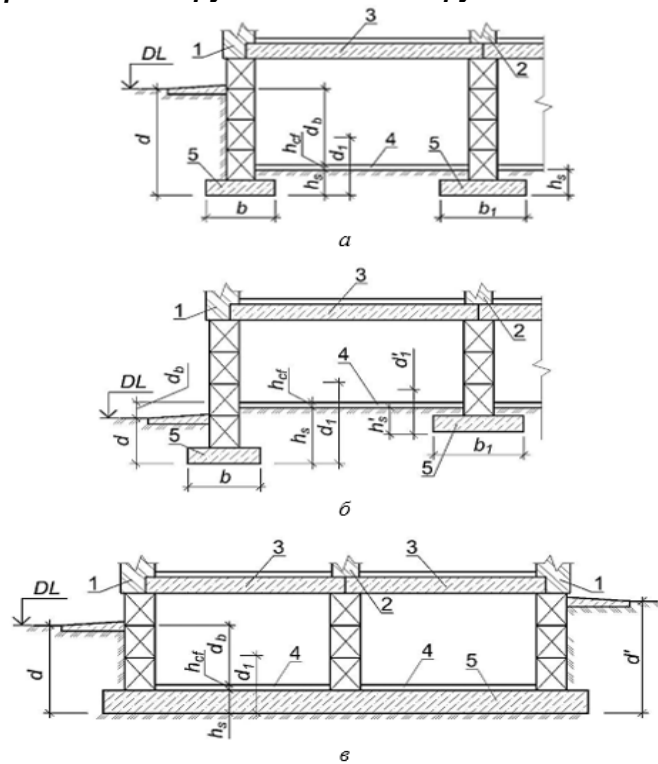
1. Если отметка планировки грунта (отм.  $DL$ ) находится **выше пола подвала** (рис. а), то для определения параметра  $R$  наружных и внутренних стен при ширине подвала  $B$  менее 20 м ( $B < 20$  м) в формулу  $R$  подставляют соответствующие значения ширины фундамента  $b$  и  $b_1$  и глубины подвала  $d_1$  и  $d_b$ .

2. Если отметка планировки грунта (отм.  $DL$ ) находится **выше пола подвала** (рис. а), то при ширине подвала  $B$  более 20 м ( $B > 20$  м) как для наружных, так и для внутренних стен в формуле  $R$  следует учитывать только приведенную глубину  $d_1$ , а значение глубины подвала  $d_b$  принимать равным нулю ( $d_b = 0$ ).

3. Если отметка планировки грунта (отм.  $DL$ ) находится ниже пола подвала (рис. б), то при определении параметра  $R$  наружных стен независимо от ширины подвала в формуле  $R$  вместо величины  $d_1$  принимается величина  $d$ , а величина  $d_b$  принимается равной нулю ( $d_b = 0$ ). Для фундаментов внутренних стен берутся величины  $d'_1$ , а  $d_b$  принимается равным нулю ( $d_b = 0$ ).

4. При проектировании плитных фундаментов независимо от отметки планировки грунта (рис. в) в формуле  $R$  принимается значение  $d_1 = d$  (либо  $d_1 = d'$ ), а значение  $d_b$  принимается равным нулю ( $d_b = 0$ ). При отсутствии подвала в формуле  $R$  также принимается  $d_1 = d$  и  $d_b = 0$ .

Имеются и другие случаи назначения параметра  $R$ , которые приведены в параграфе 3.3.2 учебника ОФПС. – Краснодар; КубГАУ, 2019.



Схемы к определению параметра  $R$  при различных конструктивных решениях фундаментов зданий:  
а – при  $d_1 < d$ ; б – при  $d_1 > d$ ; в – при плитных фундаментах;  
1 – наружная стена; 2 – внутренняя стена; 3 – перекрытие;  
4 – пол подвала; 5 – фундамент



**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**

Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина

*заведующий кафедрой «Основания и фундаменты»,  
д-р техн. наук, профессор Полищук А. И.*