

# ТИПИЧНЫЕ ОШИБКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Муртазина Л.А.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

**Отсутствие инженерно-геологических изысканий.** Цель проектирования оснований фундаментов: назначить такие размеры фундамента, при которых от давления по подошве фундамента на грунт в основании не возникнут предельные состояния.

Размеры фундамента зависят от двух факторов:

- нагрузки на обрез фундамента от вышележащих (надземных) конструкций.
- свойств и, следовательно, характеристик грунта, которые учитываются при определении расчетного сопротивления грунта  $R$ .

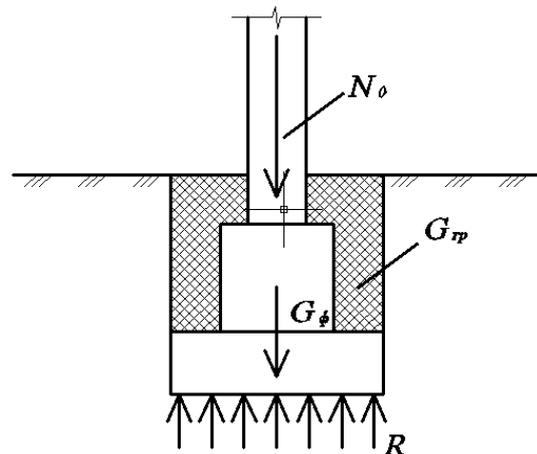
Как назначить размеры фундамента? Система фундамент-основание находится в равновесии, следовательно можно составить уравнение равновесия предварительно рассчитав  $A_{mp}$

$$N_0 + G_{\phi} + G_{zp} = R \cdot A.$$

Расчетное сопротивление грунта зависит от размеров фундамента ( $b, d$ ) и характеристик физических ( $\gamma$ ) и механических свойств грунта ( $\varphi, c$ ):

$$\frac{N_0 + G_{zp} + G_{\phi}}{A} = R$$

$$R = f(b, d; \gamma, \varphi, c)$$



Характеристики очень изменчивы у различных грунтов:

$\varphi = 0 \dots 45^\circ$	}	$R = 40 \dots 600 \dots 900 \text{ МПа}$
$c = 0 \dots 81 \text{ кПа}$		торфы    пески крупные плотные    крупнообломочные
$\gamma = 14 \dots 20 \text{ кН/м}^3$	→	

Расчетное сопротивление  $R$  у различных грунтов отличается в 20 раз, следовательно, не имея действительных значений ( $\gamma, \varphi, c$ ) для конкретного грунта, невозможно определить требуемую площадь подошвы и назначить её размеры.

**Вывод:** никогда не проектировать фундаменты без инженерно-геологических изысканий.

**Ошибки в понимании работы грунтов в основании фундаментов, и, как следствие, в выборе предельных состояний, по которым необходим расчет.** Согласно СП 22.13330.2011. " Основания зданий и сооружений " п.5.1.2. основания должны рассчитываться по двум группам предельных состояний: первой – по несущей способности; второй – по деформациям.

К I группе предельных состояний относятся состояния, приводящие основание и сооружение к полной непригодности к эксплуатации (потеря устойчивости, сдвиг, разрушение, чрезмерные деформации)

Ко II группе предельных состояний относятся состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию сооружения из-за недопустимых деформаций (осадок, подъемов, кренов, поворотов).

Чтобы понимать по какой группе предельных состояний в том или ином случае необходимо рассчитывать основание необходимо знать как деформируются различные грунты под действием нагрузки. В этом аспекте грунты можно разделить на две группы: несжимаемые (и примыкающие к ним малосжимаемые) и сжимаемые грунты.

Несжимаемые грунты – скальные и полускальные грунты (песчаники, аргиллиты и алевролиты). Эти грунты не являются объектом изучения механики грунтов, что не мешает им залегать в основании фундаментов.

*Как ведут себя несжимаемые грунты?*

Несмотря на название «несжимаемые», деформации в таких грунтах все же есть, однако, при давлениях, которые действуют по подошве реальных фундаментов, они столь малы, что считают, что их нет.

У несжимаемых грунтов Вы не найдете даже деформационных характеристик ( $m$ ,  $m_v$ ,  $E_0$ ) и, даже если захотите, не сможете рассчитать их деформацию. Зато Вы можете увидеть  $R_c$  - предел прочности на одноосное сжатие (подобная характеристика есть у бетона  $R_b$  - сопротивление бетона осевому сжатию).

*Зачем она?* Затем, чтобы выполнить расчет такого основания по I группе предельных состояний по несущей способности (прочности).

Расчет основания по несущей способности производят, исходя из условия (п. 5.27 [1]):

$$F_I \leq \frac{\gamma_c \cdot F_u}{\gamma_n},$$

где  $F_I$  - расчетная нагрузка на основание по I группе предельных состояний;

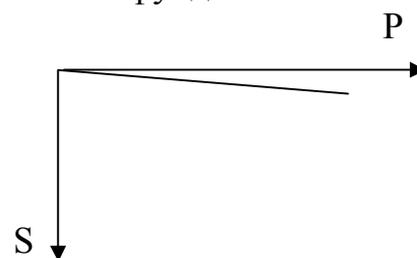
$F_u$  - сила предельного сопротивления основания;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы  $\gamma_c=0,8\dots 1,0$  зависит от вида грунта (его выветрелости в случае скальных грунтов);

$\gamma_n$  - коэффициент надежности по назначению сооружения:

$\gamma_n = 1,2$  – для сооружений I уровня ответственности;

$\gamma_n = 1,15$  – для сооружений II уровня ответственности;



$\gamma_n = 1,1$  – для сооружений III уровня ответственности.

Для скальных грунтов

$$F_u = N_u = R_c \cdot b \cdot l,$$

где  $b$  – ширина подошвы фундамента;

$l$  – длина подошвы фундамента.

Сжимаемые грунты – все дисперсные грунты, начиная от крупнообломочных, песчаных, плюс все пылевато-глинистые грунты.

Как ведут себя сжимаемые грунты? Грунты деформируются (сжимаются) под нагрузкой. Выделяют четыре фазы напряженно-деформированного состояния таких грунтов:

*I – упругих деформаций*

$$0 < P < P_{стр}$$

*II – уплотнения и локальных сдвигов*

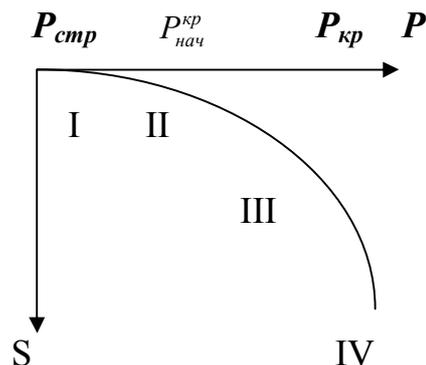
$$P_{стр} \leq P \leq P_{нач}^{кр}$$

*III – интенсивных сдвигов*

$$P_{нач}^{кр} < P \leq P^{кр}$$

*IV – разрушения и вытирания*

$$P > P^{кр}$$



Т.е. деформации есть и они реальны уже при относительно небольших давлениях на грунт. Следовательно необходимо рассчитать величину деформаций уплотнения, чтобы сравнить её с предельно допустимой величиной. Другими словами, в случае сжимаемых грунтов в основании обязателен расчет основания по II группе предельных состояний:

$$S \leq S_u$$

Нужен ли в этом случае расчет сжимаемого основания по I группе предельных состояний? Расчетную осадку  $S$  можно определить различными методами. Одни из них рассматривают грунт как линейно-деформируемую среду, другие – используют нелинейную модель грунтового основания.

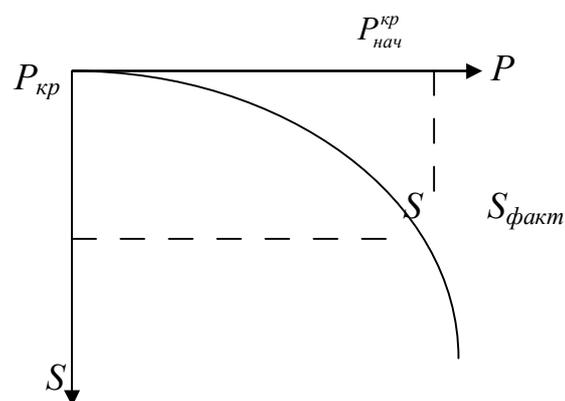
Все нормативные документы по проектированию оснований, начиная со СНиПов 60-х годов XX века и заканчивая СП 22.13330.2011 "Основания зданий и сооружений", о нелинейных моделях говорят: «допускаются» или в лучшем случае «рекомендуется» и не дают в руки реального метода расчета осадки методом нелинейной механики грунтов. В качестве основного метода дается метод послойного суммирования, а в нем используется линейная модель основания.

Для расчета осадки методом послойного суммирования, ограничивают давление на грунт  $P \leq P_{нач}^{кр}$ , т.к. при давлениях  $P > P_{нач}^{кр}$  начинается нелинейная работа грунта. Если допустить, что  $P > P_{нач}^{кр}$ , и рассчитать осадку методом послойного суммирования, то полученное значение  $S$  будет меньше фактического  $S_{факт}$ . Беда в том, что мы не знаем насколько. Этого допустить нельзя.

Что делать? Нужно ограничить  $P \leq P_{нач}^{кр}$ .  
 Именно это сделано в [1] формулой:

$$P_{срII} \leq R,$$

где  $P_{срII}$  - среднее давление под подошвой фундамента от всех вертикальных расчетных нагрузок, определенных для II группы предельных состояний;



$R$  - расчетное сопротивление грунта основания:

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

По своему физическому смыслу  $R$  - это и есть  $P_{нач}^{кр}$  - предел пропорциональности, до которого зависимость  $S=f(P)$  - линейна. Строго говоря, это не совсем так: всё-таки  $R$  - чуть больше  $P_{нач}^{кр}$ , т.к. при  $P=R$  допускаются зоны развития пластических деформаций (нелинейной работы) на глубину  $1/4b$  - ширины подошвы фундамента.

Проверка  $P_{срII} \leq R$  - это есть разрешение на расчет осадки методом послойного суммирования. Никакого отношения к проверке прочности основания или его несущей способности она не имеет. И если проектировщик заканчивает проектирование основания фундаментов проверкой  $P_{срII} \leq R$  это значит, что он не сделал ни одной проверки основания (ни по I, ни по II группам предельных состояний).

Что же все-таки делать с проверкой сжимаемого основания по I группе предельных состояний? Нужна ли она? Ответ очевиден - нет. Так как исчерпание прочности грунта основания происходит при давлениях  $P$  близких к  $P^{кр}$ , а мы их заведомо не допускаем, ограничивая давление на грунт значительно меньшим  $R \approx P_{нач}^{кр}$ , за исключением некоторых случаев.

*Вывод: по II группе предельных состояний основания рассчитываются всегда, кроме случая, когда в основании залегают скальные (или полускальные) грунты.*

*По I группе предельных состояний основания рассчитываются, если основанием являются скальные (или полускальные) грунты и ещё в ряде случаев, описанных в п.5.1.3 [1]:*

- на сжимаемое основание передаются значительные горизонтальные нагрузки (подпорные стены, фундаменты распорных конструкций);
- сооружение расположено на откосе или вблизи откоса или котлована сжимаемого грунта;
- основание сложено медленно уплотняющимися водонасыщенными, органоминеральными или органическими грунтами (илы, торфы);

- сооружение относится к I уровню ответственности.

**Ошибки в сборе нагрузок.** Если основание рассчитывается по I группе и по II группе предельных состояний, то и нагрузки, участвующие в этих расчетах должны быть расчетными для I и, соответственно, для II группы предельных состояний (п.5.2.2 [2]):

$$N_I = \gamma_{f(I)} \cdot N_n \quad N_{II} = \gamma_{f(II)} \cdot N_n$$

где  $\gamma_{f(I)}$  - коэффициент надежности по нагрузке при расчете по I группе предельных состояний,  $\gamma_{f(I)} > 1$ , определяется в зависимости от вида нагрузки (постоянная или временная), материала конструкции, вида оборудования и т.д.[2];

$\gamma_{f(II)}$  - коэффициент надежности по нагрузке при расчете по II группе предельных состояний,  $\gamma_{f(II)} = 1$ .

Коэффициенты учитывают возможные отклонения нагрузки от нормативных значений.

По п.5.2.3 [1] расчет оснований по I группе предельных состояний, и расчет оснований по II группе предельных состояний должен производиться на основное сочетание расчетных нагрузок.

Основное сочетание нагрузок включает все постоянные нагрузки плюс все длительные нагрузки плюс все кратковременные нагрузки.

Постоянные нагрузки: собственный вес конструкций и грунтов (п.5.3 [2]);

Длительные нагрузки: нагрузки на перекрытия, снеговые и др. (п.5.4 [2]);

Кратковременные нагрузки: нагрузки на перекрытия, снеговые и др. (п.5.5 [2]).

Нагрузки на перекрытия, снеговые и др. могут быть как длительными, так и кратковременными.

*Чем же отличаются нагрузки, собираемые для расчета по I группе предельных состояний, от нагрузок собираемых, для расчета по II группе предельных состояний? Кроме, разумеется,  $\gamma_f$ ?*

Согласно п.5.2.3 [1] расчет оснований:

- по I группе предельных состояний должен производиться на основное сочетание нагрузок, которое включает в себя все постоянные нагрузки, плюс все кратковременные.

- по II группе предельных состояний должен производиться на основное сочетание нагрузок, которое включает в себя все постоянные нагрузки, плюс все длительные.

Т.е., нагрузки на перекрытия и снеговые учитываются в расчете и по I и II группам, только вводятся их разные значения:

- при расчете по I группе предельных состояний нагрузки на перекрытия и снеговые берутся с полным нормативным значением

- при расчете по II группе предельных состояний нагрузки на перекрытия и снеговые берутся с пониженным нормативным значением.

Полные нормативные значения нагрузок на перекрытия в зависимости от назначения (вида) помещения принимаются по таблице 8.3 [2].

Пониженные нормативные значения нагрузок на перекрытия определяются по п 8.2.3 [2], умножением полного нормативного значения нагрузки, определенного по таблице 8.3, на коэффициент 0,35 (не для всех помещений).

Полное нормативное значение снеговой нагрузки следует определять по формуле 10.1 [2]

$$S_0 = 0,7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g$$

Пониженное нормативное значение снеговой нагрузки согласно п.10.11 [2], определяется умножением её полного нормативного значения, определенного по формуле (10.1) на коэффициент 0,7 (не всегда).

Коэффициенты  $\gamma_{f(I)} = 1,4$   $\gamma_{f(II)} = 1$ , для снеговой нагрузки (п.10.12 [2]).

И конечно же, никто не отменял коэффициенты сочетания нагрузок, учитывающие вероятность одновременного действия нагрузок максимальной величины по всем грузовым площадям.

Коэффициенты сочетания определяются по п.п.6.3, 6.4 [2].

Нагрузки на основание делятся на постоянные и временные (длительные, кратковременные, особые)



Из вышеизложенного следует, чтобы избежать ошибок при проектировании оснований фундаментов, необходимо:

- иметь данные о свойствах грунтов, полученные инженерно-геологическим испытанием,

- далее нужно правильно определить расчеты по какой группе предельных состояний необходимо выполнить по I, по II или обеим.

В соответствии с этим правильно собрать нагрузки: либо для расчетов по I группе предельных состояний, либо для расчетов по II группе, либо для расчетов по обеим группам предельных состояний.

#### *Список литературы*

1. СП 22.13330.2011 *Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\**- М.: Минрегион России, 2011.

2. СП 20.13330.2011 *Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\** -М.: Минрегион России, 2011.