

Текст одной из лекций по курсу «Механика грунтов»  
для студентов строительных специальностей

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТЕ ФАЗЫ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТА ПОД ФУНДАМЕНТОМ

*в рамках общей темы*

*«Напряженное состояние грунтов в допредельном и предельном состояниях»*

Решение задачи определения напряжений в грунте необходимо для установления условий прочности и устойчивости грунтов и определения их деформаций (например, осадок). При решении вопроса о распределении напряжений в грунтах в Механике грунтов применяют теорию линейно-деформируемых тел. То есть для определения напряжений могут быть применены уравнения и зависимости теории упругости, базирующиеся на линейной зависимости между напряжениями и деформациями (закон Гука). Однако при применении закона Гука для грунтов необходимо условиться об ограничениях, поскольку в грунтах возникают не только упругие, но значительные остаточные деформации.

### *ОБЩАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИЯМИ И НАПРЯЖЕНИЯМИ. ПРИНЦИП ЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ*

В основу теории распределения напряжений в грунтах кладётся зависимость между относительными деформациями  $\varepsilon$  и нормальными напряжениями  $\sigma$ .

В общем случае (согласно опытам) зависимость между деформациями и напряжениями для грунтов будет нелинейной:

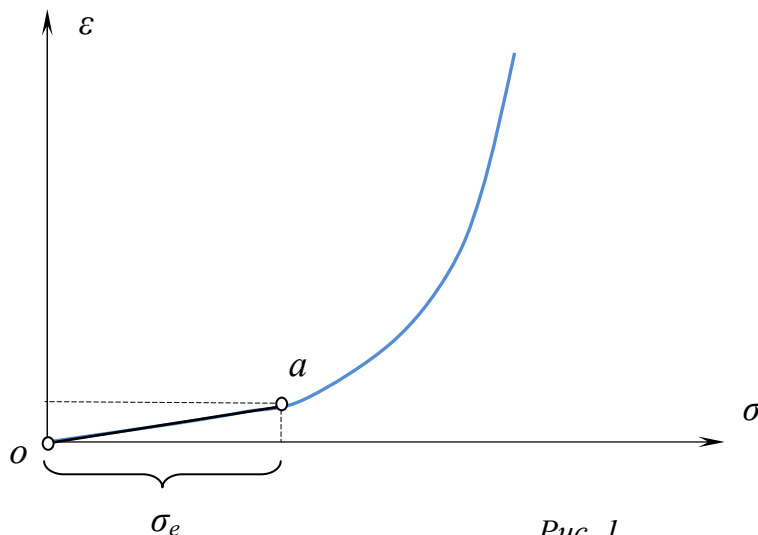


Рис. 1

Однако в определенном интервале напряжений (при не очень больших изменениях внешних давлений – порядка  $1\div 3 \text{ кг/см}^2$ ) с достаточной для практических целей точностью зависимость между деформациями  $\varepsilon$  и нормальными напряжениями  $\sigma$  может приниматься линейной (спрямлённый участок  $oa$  на кривой, *рис. 1*).

Сформулируем принцип линейной деформируемости для грунтов: при небольших изменениях давлений грунты можно рассматривать как линейно-деформируемые тела, то есть зависимость между общими деформациями и напряжениями для грунтов может быть принята линейной:  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ .

### НАПРЯЖЕНИЕ, ПЕРЕДАВАЕМОЕ ГРУНТУ ПО ПОДОШВЕ ФУНДАМЕНТА

Это напряжение не остается по глубине постоянным, а в некоторой области грунтовой толщи рассеивается. Для решения задач о распределении напряжений применяют уравнения теории упругости, рассматривая грунты как тела однородные, изотропные и линейно-деформируемые, подчиняющиеся закону Гука. *Для оснований гражданских и промышленных зданий назначают такую величину допустимых напряжений, при которой в грунте не возникают пластические (остаточные) деформации.*

Рассмотрим случай плоской задачи: фундаменты передают на грунт сплошную, распределенную полосовую нагрузку:

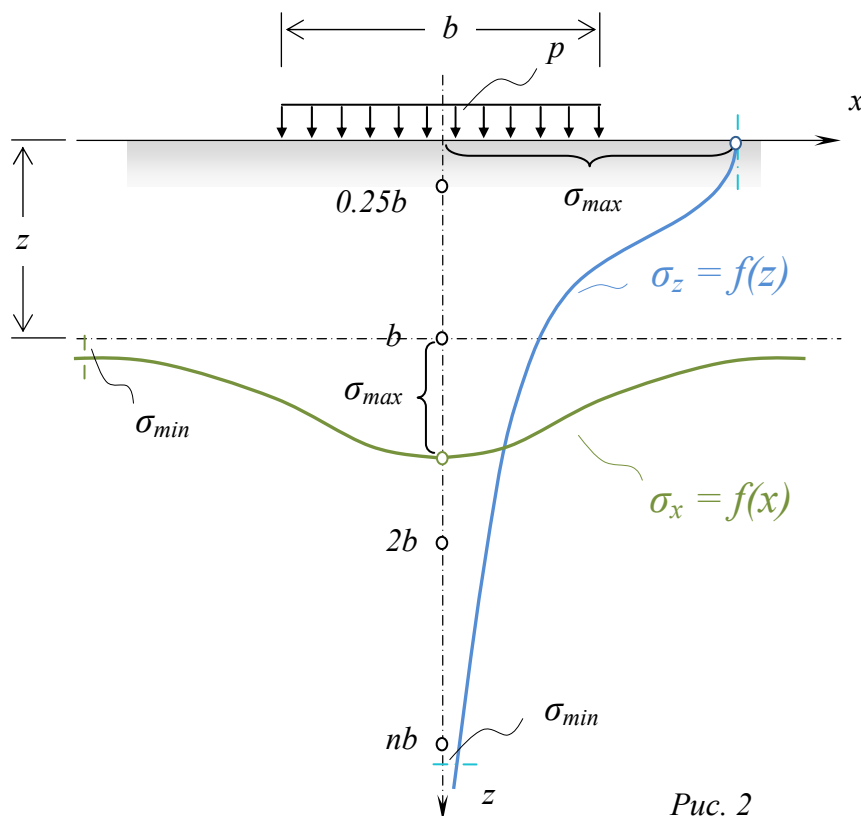


Рис. 2

Изменение напряжений  $\sigma$  по различным вертикальным ( $z$ ) и горизонтальным ( $x$ ) сечениям характеризуется эпюрами  $\sigma_z$  и  $\sigma_x$  (рис. 2). Как видно из рисунка, напряжения в грунтовой толще изменяются, как непрерывные функции от  $\sigma_{max}$  до  $\sigma_{min}$  как по вертикальному, так и по горизонтальному направлению.

В напряженной зоне грунта имеются точки с одинаковыми напряжениями, через которые можно провести линии (т.н. кривые равных напряжений). Например, линии, проходящие через точки с одинаковым вертикальным напряжением  $\sigma_z$ , называются изобарами. В сжимаемой толще можно провести какое угодно число изобар (в зависимости от того, какие по величине напряжения соединяются линиями). Например, если к поверхности грунта приложена распределенная полосовая нагрузка интенсивностью  $p$ , то семейство изобар будет выглядеть следующим образом:

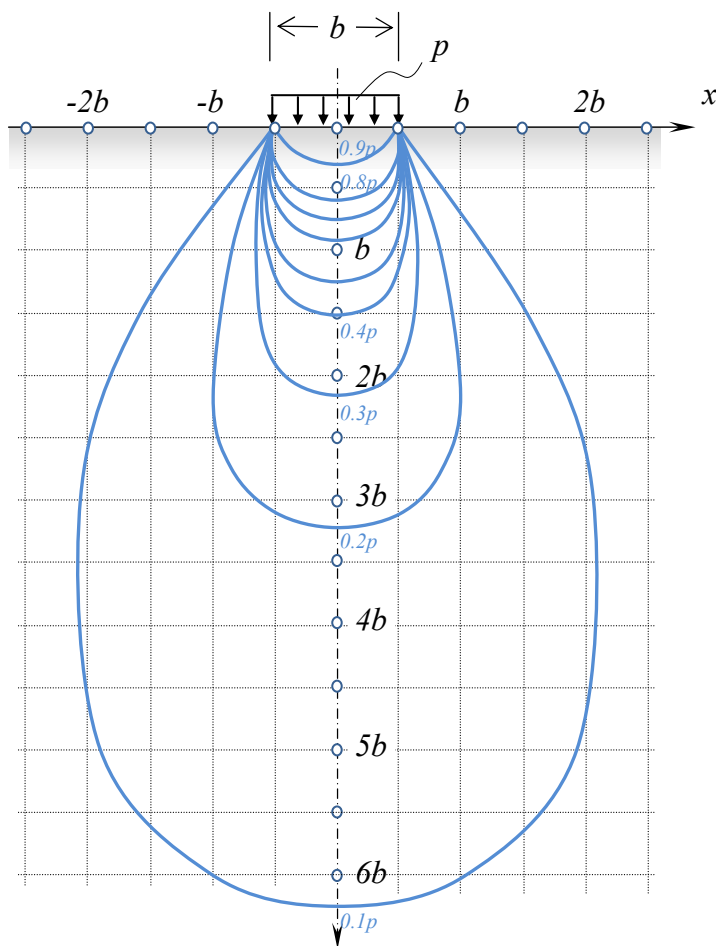


Рис. 3

Семейство изобар принято называть «луковицей напряжений». Построение «луковиц напряжений» полезно при оценке напряженного состояния в основаниях сооружений: подобное изображение наглядно иллюстрирует изменение напряжений в грунте под нагрузкой.

## ФАЗЫ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТА ПОД ФУНДАМЕНТОМ

Закономерность нарастания осадок с постепенным увеличением статической нагрузки характеризуется графиком:

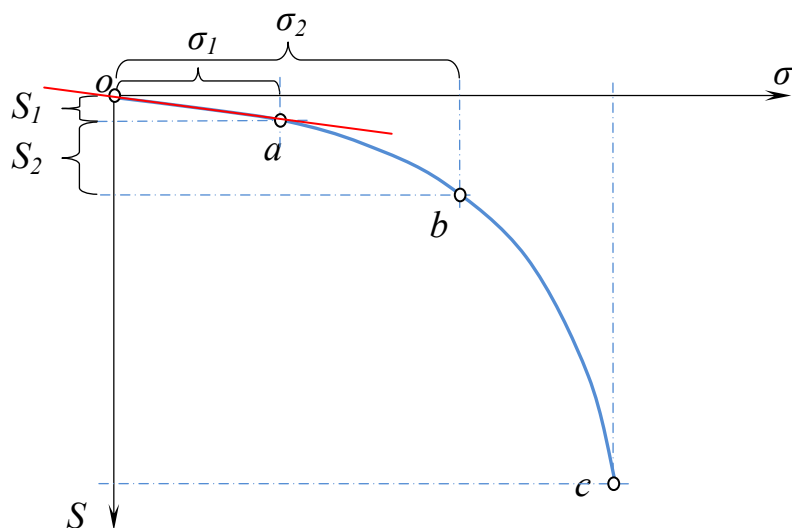


Рис. 4

Этот график имеет три характерных участка (*oa*, *ab* и *bc* на графике, рис. 4).

**Начальный участок *oa*** имеет пологое очертание и согласно принципу линейной деформируемости может быть заменён прямой. Деформация на участке прямой называется *фазой уплотнения* (рис. 5).

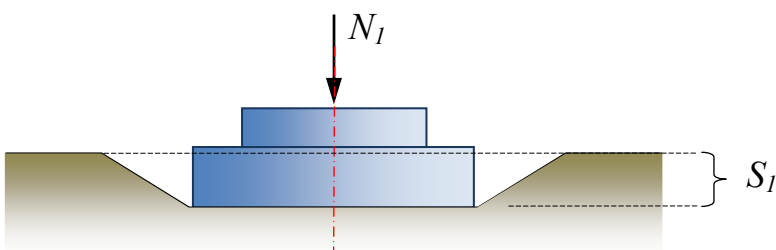


Рис. 5. Фаза уплотнения

В фазе уплотнения происходит более плотная укладка частиц грунта за счёт уменьшения объёма пор. Ни в одной точке основания касательные напряжения по своей величине не превосходят

сил внутреннего сопротивления грунта сдвигу, то есть повсюду существует состояние устойчивого равновесия грунта ( $\tau < \tau_{np}$ ).

**Второй участок *ab*** графика характерен значительной кривизной, где линейная зависимость  $\sigma - S$  нарушается. Здесь темп нарастания деформаций значительно опережает темп нарастания нагрузок. Обусловлено это тем, что как только нагрузка преодолет значение  $\sigma_1$  (рис. 4), в некоторых зонах «1» (рис. 6) возникнут напряжения, характеризуемые состоянием предельного равновесия ( $\tau = \tau_{np}$ ), возникнут пластические, остаточные деформации. По мере дальнейшего возрастания нагрузки области пластических деформаций расширяются, образуя зоны «2». Когда нагрузка достигает

некоторого значения  $\sigma_2$  (рис. 4), пластические деформации распространяются на всю область основания (зоны «3»). Деформация на участке  $ab$  называется *фазой сдвигов* (рис. 6).

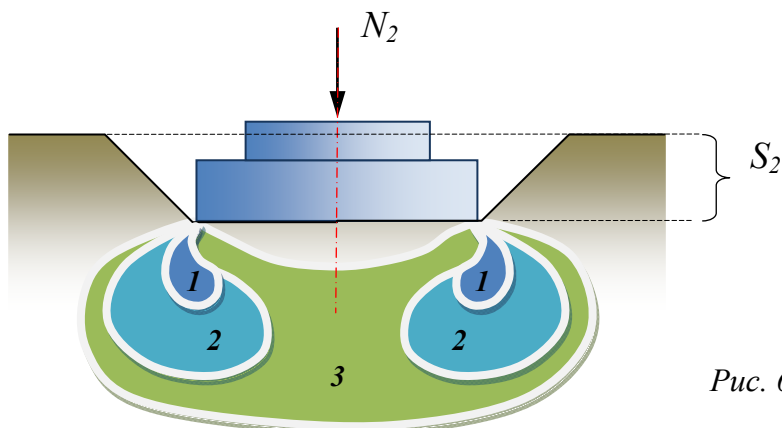


Рис. 6. Фаза сдвигов

Конечный участок  $bc$  соответствует моменту нарушения равновесия грунта ( $\tau > \tau_{np}$ ) и выпирания его из-под фундамента. Деформация на участке  $bc$  называется *фазой вытирания* (рис. 7).

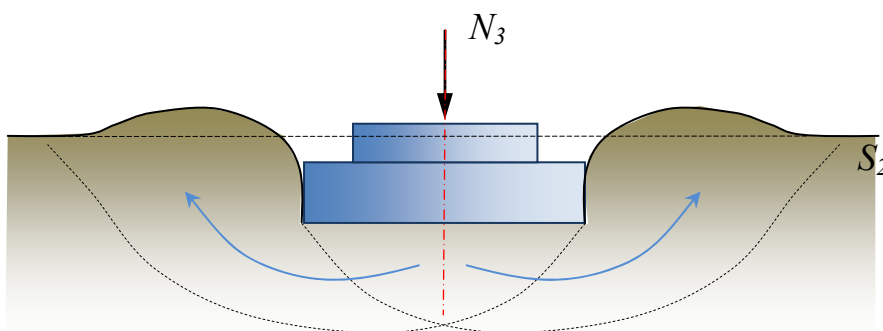


Рис. 7. Фаза вытирания

Таким образом, при возрастании нагрузки на грунт необходимо различать две характерные её величины, при достижении которых резко меняется поведение грунта:

- первую, соответствующую началу перехода *фазы уплотнения* в *фазу сдвигов* – то есть фазу зарождения и развития зон предельного напряженного состояния;
- и вторую, когда исчерпывается несущая способность грунтового основания и наблюдается полное развитие зон предельного равновесия, при котором даже весьма незначительное увеличение нагрузки приводит грунт к потере прочности и устойчивости (к разрушению).

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЛЕКЦИИ:*

1. Бартоломей А.А. Механика грунтов: Учеб. издание/ АСВ, Москва, 2004;
2. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах) / Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004;
3. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов/ Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005;
4. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит. вузов. – М.: Высш. шк., 1983.
5. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений: Учеб. пособие/ Под ред. Б.И. Далматова; 2-е изд. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2001.

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ СТУДЕНТАМ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ:*

1. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Стройиздат, 1988;
2. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит. вузов. – М.: Высш. шк., 1983;
3. Бартоломей А.А. Механика грунтов: Учеб. издание/ АСВ, Москва, 2004;
4. К.З. Игнатенко, Т.Н. Пронкина. Механика грунтов. Методические указания к изучению дисциплины. Владивосток, ДВГТУ, 1997;
5. К.З. Игнатенко, Т.Н. Пронкина. Механика грунтов. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Владивосток, ДВГТУ, 1998.