**ЛЕКЦИЯ 11**

**11.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ФУНДАМЕНТОВ.**

***11.1.1.* *Расчёт осадки фундамента методом послойного суммирования*.**



Рис.11.1 Схема к расчёту осадки методом послойного суммирования:

1 – эпюра природного давления; 2 – эпюра дополнительного давле-

ния от сооружения; 3 – эпюра природного давления уменьшенного

в пять раз; 4 – нижняя граница сжимаемой толщи.

Этот метод позволяет учесть неоднородность основания, выражающуюся в изменении модуля деформации по глубине. Метод применим для расчёта осадок фундаментов, имеющих различную форму в плане.

Метод послойного суммирования основан на том, что осадка основания фундамента по центральной оси подошвы определяется как сумма лсадок отдельных слоев грунта *п,* на которые разбивается сжимаемая толща *Нс* в пределах каждого геологического слоя (рис. 10.1). Мощность отдельных слоев рекомендуется принимать *hi*  ≤ 0.4*b*, где *b –* ширина подошвы фундамента. По версии СНиП 2.2.1-83 «Основания зданий и сооружений» расчет осадки основания ведется по дополнительному давлению *ро* , превышающее природное *σzg*

Последовательность расчёта:

1. определяем среднее фактическое напряжение на подошве фундамента



1. определяем дополнительное напряжение



3) строим эпюру природного давления грунта



4) разбиваем толщу грунта на элементарные слои мощностью *hi*



5) определяем напряжения от дополнительных нагрузок по глубине сжимаемой толщи



где   

6) строим эпюру дополнительных давлений

7) определяем положение нижней границы сжимаемой толщи (ВС)



8) определяем величину осадки



9) сравниваем расчётную осадку с предельно допустимой осадкой для данного типа сооружения



10) проверяем относительную разность осадок двух соседних фундаментов





Рис.11.2 Схема к расчёту относительной

разности осадок

***11.2.* *Расчёт осадки методом линейно-деформированного слоя конечной толщины.***

Этот метод применяют в двух случаях:

а) если в пределах сжимаемой толщи *Hc* , установленной, как и в

методе послойного суммирования, находится слой грунта с модулем деформации мПа и мощностью *hc* , удовлетворяющей условию



где *Еп* – модуль деформации слоя, залегающего ниже слоя с модулем *Ес*;

б) когда ширина подошвы фундамента м и модуль деформа-ции грунтов основания мПа.

Величина осадки:



где *Р* – среднее давление под подошвой фундамента; *kc* - коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений за счёт влияния жёсткого подстилающего слоя; *km* – коэффициент, учитывающий влияние ширины подошвы фундамента; *ki* и *ki-*1 – коэффициенты принимаемые в зависимости от *n=a/в* и относительных глубин *mi=zi/в* и *mi-1=zi-*1*/в* подошвы и кровли *i*-го слоя соответственно.



Рис.11.3 Схема к расчёту осадки методом

линейно-деформированного слоя конеч-

ной толщины: 1 – фундамент; 2 – *i*-й слой

грунта с модулем деформации *Ei*; 3 – кро-

вля несжимаемого слоя.

***11.3.* *Определение крена фундамента***.

Крен отдельного прямоугольного фундамента при действии на него момента *М* определяется по обобщённой формуле:



где *μ* – коэффициент поперечного расширения грунта; *ke* - коэффициент, определяемый по графикам в зависимости от *n* = *а/в* и *m' = hk/в;*

*km* – коэффициент, принимаемый по таблице в зависимости от значений *Е* и *в*; *l* – сторона подошвы фундамента, в направлении которой действует момент.

*2.8.4.* *Предельно допустимые деформации и перемещения зданий.*

Предельно допустимые деформации и перемещения зависят от чувствительности конструкций к неравномерным осадкам и предъявляемых к сооружениям эксплуатационных требований (архитектурный облик, работа транспорта и другого оборудования). Значения *Su*, Δ*Su, iu*для некоторых типов сооружений установлены по опыту строительства и приводится в СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».

***11.4 Расчёт устойчивости фундаментов на сдвиг по подошве***.



Рис.11.4 Расчётная схема фундамента при

значительной горизонтальной составля-

ющей внешней нагрузки

Коэффициент запаса (устойчивости)



где *kst,u* = γn/γc – предельный коэффициент устойчивости; *N0*I - вертикальная составляющая расчётной нагрузки на обрез фундамента;

*Gfg*I – расчётный вес фундамента и грунта на уступах; *f* – расчётный коэффициент трения материала фундамента по грунту; *F0h*I – расчётная величина горизонтальной составляющей силы, действующей по обрезу фундамента.

Если *F0h*I >> *f(N0*I *+ Gfg*I), сначала находят необходимый вес фундамента и грунта из выражения



Если *F0h*I ≈ *f(N0*I *+ Gfg*I), то определяют размеры фундамента как внецентренно загруженного, а затем проверяют на сдвиг.

Если в основании залегает пылевато-глинистый грунт, обладающий сцеплением, но имеющий малый угол внутреннего трения, подошву фундамента иногда выполняют наклонной. При скальном основании подошву делают ступенчатой.



Рис.11.5 Схемы фундаментов: а.) – при связ-

ном грунте в основании; б.) – при скальном

основании

***11.5 Гибкие фундаментные балки и плиты.***

*Гибкие фундаменты* – это те, деформации изгиба которых того же порядка, что и осадки этого же фундамента. Расчёт таких фундаментов проводится с учётом совместной работы конструкции фундамента и грунтового основания. Распределение контактных реактивных давлений считается нелинейным. Линейное распределение давлений используется лишь для предварительного определения сечений конструкций.

При расчёте фундаментных конструкций на упругом основании реальное грунтовое основание представляется в виде механической модели, т.е. вводится гипотеза относительно характера деформирования основания под нагрузкой.

1. *Гипотеза коэффициента постели (Фусса – Винклера).*

Эта гипотеза предполагает, что осадка какой-либо точки поверхности основания «*S*» прямо пропорциональна давлению «*P*», приложенному в той же точке и не зависит от загружения соседних точек основания, т.е. грунт не обладает распределительной способностью.

Механической моделью основания служит набор не связанных между собой пружин (рис.11.6 а). Деформационные свойства основания описываются коэффициентом постели, не зависящим от размеров загружаемой площадки

*С = Р/S*

2. Гипотеза упругого полупространства.

Эта гипотеза предполагает, что основание работает как сплошная однородная упругая среда, ограниченная сверху плоскостью и бесконечно простирающаяся вниз и в стороны. Грунт обладает распределительной способностью – вокруг фундамента образуется воронка оседания (распределительная способность преувеличена). (рис. 11,6 б).

Распределение напряжений в упругой среде описывается формулами теории упругости. Деформационные свойства упругого полупространства характеризуются модулем деформации «Е» и коэффициентом Пуассона «ν».



Рис. 11.6 Перемещение поверхности основания под нагрузкой: а – по ги-

потезе Винклера; б – по гипотезе упругого полупространства.

В зависимости от условий работы фундаментные конструкции рассчитывают на основе одной из *трёх задач теории упругости*.

*1.* *Плоская задача.* Рассчитываются протяжённые фундаментные конструкции, у которых каждая полоса шириной 1 м, выделенная в поперечном направлении, работает в одинаковых условиях с любой другой аналогичной полосой (рис.11,7 а). К этому классу относятся ленточные фундаменты под стены зданий, фундаменты сухих доков, протяжённые плиты под сетку колонн и т.д.

*2.* *Осесимметричная задача*. Рассчитываются круглые и кольцевые фундаментные плиты. К этому классу относятся фундаментные плиты дымовых труб, водонапорных башен, газгольдеров и т.д. (рис. 20, б).

*3.* *Пространственная задача*. Рассчитываются фундаменты, работу которых даже приближённо нельзя описать условиями плоской или осесимметричной задачи. К этому классу относятся фундаменты под колонны в виде одиночных или перекрёстных лент, фундаментные балки, прямоугольные фундаментные плиты и т.д. (рис.11.7 в,г).



Рис. 11.7 Различие условий работы конструкций на упругом основании: *а* – плоская задача; *б* – осесимметричная задача; *в, г* - пространственная задача.

Используемые для расчёта фундаментных конструкций методы зависят от принятой механической модели основания и условий работы конструкции (плоская, осесимметричная или пространственная задача). Эти методы разделяются на две группы: 1) методы в которых на основе условий равновесия и условия полного примыкания подошвы балки или достаточно точные решения могут быть получены только численными методами с использованием ЭВМ. плиты к грунту составляются одна или две системы линейных уравнений с несколькими неизвестными; решение этих систем позволяет определить эпюру реактивных давлений, а затем уже и эпюры изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов (осадок). (Метод Б.Н.Жемочкина, метод М.И.Горбунова – Посадова); 2) методы, основанные на использовании готовых таблиц всех расчётных величин; такие таблицы составлены для большинства типов конструкций при различной их относительной гибкости, характере и размещении нагрузок.

***11.1.2.* *Расчёт осадки фундамента методом послойного суммирования по версии СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»***

Осадку основания фундамента *s*, см, с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства вычисляют методом послойного суммирования по формуле

СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3) (11.1)

где *β* - безразмерный коэффициент, равный 0,8;  
*σzp,i* - среднее значение вертикального нормального напряжения (далее - вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в *i*-м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента , кПа;  
  
*hi* - толщина *i*-го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента;  
  
*Ei* - модуль деформации *i*-го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа;  
  
*σzγ,i*  - среднее значение вертикального напряжения в *i*-м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта, кПа;  
  
*Ee,i* - модуль деформации *i*-го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа;  
  
*n* - число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.  
  
При этом распределение вертикальных напряжений по глубине основания принимают в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 11.8.

Примечания

1 При отсутствии опытных определений модуля деформации  *Ee,i* для сооружений геотехнических категорий 1 и 2 допускается принимать СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3).

2 Средние значения напряжений *σzp,i*  и *σzγ,i*  , в *i*-м слое грунта допускается вычислять как полусумму соответствующих напряжений на верхней *zi-1* и нижней *zi* границах слоя.

3 При возведении сооружения в отрываемом котловане следует различать три следующих значения вертикальных напряжений: *σzg*  - от собственного веса грунта до начала строительства; *σzu*  - после отрывки котлована; *σz*  - после возведения сооружения.

4 При определении средней осадки основания фундамента  все используемые в формуле (11.1) величины допускается определять для вертикали, проходящей не через центр фундамента, а через точку, лежащую посередине между центром и углом (для прямоугольных фундаментов) или на расстоянии СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3) от центра, где *r1* - внутренний, а *r2* - внешний радиус круглого или кольцевого фундамента (для круглого фундамента =0).

5 Расчет осадок свайных фундаментов выполняется с учетом требований [СП 24.13330](http://docs.cntd.ru/document/1200084538).

|  |
| --- |
|  |
| СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3) |

Рисунок11.8 - Схема распределения вертикальных напряжений

в линейно-деформируемом полупространстве

*DL* - отметка планировки; *NL* - отметка поверхности природного рельефа; *FL* - отметка подошвы фундамента; *WL* - уровень подземных вод; *В*.*С* - нижняя граница сжимаемой толщи; *d* и *d* - глубина заложения фундамента соответственно от уровня планировки и поверхности природного рельефа; *b* - ширина фундамента; *р* - среднее давление под подошвой фундамента; *σzg,i*  и *σzg,o*  - вертикальное напряжение от собственного веса грунта на глубине *z* от подошвы фундамента и на уровне подошвы; *σzg*  и *σzg,o*   - вертикальное напряжение от внешней нагрузки на глубине *z* от подошвы фундамента и на уровне подошвы; *σzγ,i*  - вертикальное напряжение от собственного веса вынутого в котловане грунта в середине *i*-го слоя на глубине *z* от подошвы фундамента; *Н* - глубина сжимаемой толщи  
  
Рисунок 5.2\* - Схема распределения вертикальных напряжений в линейно-деформируемом полупространстве

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_   
\* [Письмом Минстроя РФ от 27.05.2020 г. N 16038-ОГ/08](http://docs.cntd.ru/document/564990425) разъясняется, что "в СП 22.13330.2016 приняты следующие обозначения:  
*σzp,* и *σzp,o*  - вертикальное напряжение от внешней нагрузки на глубине *z* от подошвы фундамента и на уровне подошвы;

*σzgi*  и *σzg,o*  - вертикальное напряжение от собственного веса грунта на глубине *z* от подошвы фундамента и на уровне подошвы". - Примечание изготовителя базы данных.

Вертикальные напряжения от внешней нагрузки СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3) зависят от размеров, формы и глубины заложения фундамента, распределения давления на грунт по его подошве и свойств грунтов основания. Для прямоугольных, круглых и ленточных фундаментов значения *σzp* , кПа, на глубине *z* от подошвы фундамента по вертикали, проходящей через центр подошвы, вычисляют по формуле

СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3)

где *α*- коэффициент, принимаемый в зависимости от относительной глубины *ξ*, равной 2*z*/*b*;  
  
*р* - среднее давление под подошвой фундамента, кПа.

5.6.33 Вертикальное напряжение от собственного веса грунта, выбранного при отрывке котлована, на отметке подошвы фундамента СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3), кПа, на глубине  от подошвы прямоугольных, круглых и ленточных фундаментов определяют по формуле

СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3),

где *α*  - то же, что и в 11.1;  
  
*σzg,o*   - вертикальное напряжение от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента, кПа (при планировке срезкой СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3), при отсутствии планировки и планировке подсыпкой СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3), где *γ*’ - удельный вес грунта, кН/м, расположенного выше подошвы; *d* и *d*, м - см. рисунок 11.8).