**ЛЕКЦИЯ 7**

**Проектирование оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям)**

**7.1 Исходные положения**

 У сооружений обладающих конечной жесткостью, т.е. у большинства зданий и сооружений, недопустимые неравномерности осадки, нарушающие их нормальную эксплуатацию, возникают уже тогда, когда напряжения в грунтах основания по подошве фундамента близки или даже значительно меньше, чем предельные давления для данных грунтовых условий. Поэтому главным положением при проектировании оснований, т.е. при выборе основных размеров подошвы фундаментов, является ограничение неравномерностей осадок, приводящих к деформации конструкций сооружений. Именно этот принцип заложен в нормах проектирования оснований зданий и сооружений.

**7.2 Расчет оснований по деформации.**

 Так как неравномерные осадки сооружений могут вызвать в нем недопустимых деформаций или нарушение нормальных условий эксплуатации, необходимо ограничивать величины неравномерности осадок на стадии проектирования. Это условие сводится к проверке условия

(*ΔS/L*) ≤ (*ΔS/L*)*и или i ≤ iu* (7.1)

где *ΔS –* разность между осадками соседних фундаментов, определяемая расчетом; *L –* расстояние между осями соседних фундаментов; (*ΔS/L*)*и* – предельно допустимое значение относительной неравномерности осадки; *i –*крен сооружения по расчету; *iи –* предельно допустимый крен сооружения.

Значения(*ΔS/L*) должны определяться с учетом совместной работы сооружения с фундаментами и основаниями. Однако СП 22.13330 допускает, если конструкции сооружения не рассчитаны на усилия, возникающими в них при взаимодействием с основанием, находить (*ΔS/L*)*и*  по приложению Д к СП 22.13330

 Условие (7.1) является главным. Однако, для того чтобы убедиться в выполнении этого условия, необходимо определить осаду каждого фундамента сооружения с учетом влияния загружения соседних фундаментов и площадей. Такой способ определения осадок достаточно трудоемок даже при использовании ЭВМ. В связи с этим при горизонтальном залегании слоев достаточно убедиться в удовлетворении одного из следующих условий:

 *S ≤ Su* и  *Smax ≤ S max,u* (7.2)

где *S –* средняя осадка сооружения по расчету; *Su* – предельно допустимое значение средней осадки сооружения; *S max,* - абсолютная наибольшая осадка фундамента по расчету; *S max,u* - предельно допустимое значение абсолютной осадки фундамента.

 При расчете основания по условию (7.2) часто нет необходимости определять осадки большего числа фундаментов. Обычно бывает достаточным найти осадку одного-двух наиболее загруженных фундаментов, на которые, кроме того, оказывают влияние загружение соседних фундаментов. Если полученные при расчете осадки будут меньше *Su* то можно утверждать, что остальные, менее загруженные фундаменты, тоже будут иметь осадку, меньшую *Su* , то есть условие (7.2) будет выполнено. Аналогично поступают при расчете *Smax*, определяя осадку наиболее тяжело загруженного фундамента с учетом влияния загружения соседних фундаментов.

**7.3 Учет внецентренного действия нагрузки**

 Внецентренно загруженный фундамент, в плоскости подошвы которого действует, кроме нормальной силы, момент, получает не только осадку, но и поворот относительно главной оси инерции площади подошвы фундамента. Поворот выражается креном, определяемым по формуле:

, где , (7.3)

 *ke*  - коэффициент, принимаемый по таблице 7.1;

*E*  и  *ν*  - соответственно модуль деформации, кПа, и коэффициент поперечной деформации грунта основания (значение  принимают по таблице 7.2); в случае неоднородного основания значение *D* принимают средним в пределах сжимаемой толщи в соответствии с указаниями 5.6.45 СП 22.13330 ;

*N* - вертикальная составляющая равнодействующей всех нагрузок на фундамент в уровне его подошвы, кН;

*e* – эксцентриситет в рассчитываемом направлении, м;

*a* - диаметр круглого или сторона прямоугольного фундамента, м, в направлении которой действует момент; для фундамента с подошвой в форме правильного многоугольника площадью *A* принимают .

Примечание - Крен фундамента, возникающий в результате неравномерности сжимаемости основания, следует определять численными методами.

Таблица 7.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Форма фундамента и направление действия момента | Коэффициент  при СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*, равном |
|  | 1 | 1,2 | 1,5 | 2 | 3 | 5 | 10 |
| Прямоугольный с моментом вдоль большей стороны | 0,50 | 0,57 | 0,68 | 0,82 | 1,17 | 1,42 | 2,00 |
| Прямоугольный с моментом вдоль меньшей стороны | 0,50 | 0,43 | 0,36 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,07 |
| Круглый | 0,75 |

Таблица 7.2

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Грунты | Коэффициент поперечной деформации  |
| Крупнообломочные грунты | 0,27 |
| Пески и супеси | 0,30-0,35 |
| Суглинки | 0,35-0,37 |
| Глины при показателе текучести : |  |
| 0 | 0,20-0,30 |
| 0СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*0,25 | 0,30-0,38 |
| 0,25СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*1 | 0,38-0,45 |
| Примечание - Меньшие значения  применяют при большей плотности грунта. |

5.6.45 Средние (в пределах сжимаемой толщи *Hc*) значения *D*, кПа, определяют по формуле



где *Ai* - площадь эпюры вертикальных напряжений от единичного давления под подошвой фундамента в пределах *i* -го слоя грунта. Допускается принимать  ;
*E, ν,  hi*- соответственно модуль деформации, МПа, коэффициент поперечной деформации и толщина *i*-го слоя грунта, см;
*Hc* - сжимаемая толща, определяемая по 5.6.41 СП 22.13330 , см;
*n* - число слоев, отличающихся значениями*E* и *ν* в пределах сжимаемой толщи *Hc*.

 

Рис. 7.1 Крен знаменитой падающей башни в г. Пиза (Италия)

 По формуле (7.3) определяют крен отдельных и ленточных фундаментов при разовом загружении. Для нахождения крена при многократных загружениях, в формулу (7.3) подставляют, вместо модуля деформации грунта при сжатии, а модуль упругих деформаций с упругим последействием при разгрузке.

 Крен фундамента определяют, если возможен его поворот. Однако надземные конструкции часто исключают поворот фундаментов, что должно учитываться при определении эксцентриситета равнодействующей нагрузок.

 Крен жесткого сооружения, опирающегося на систему фундаментов или плиту находят по формуле:

*i =* (*S1* – *S2* )/*L* (7/4)

 где *S1* и *S2* - соответственно большая и меньшая осадки фундаментов системы или двух противоположных точек фундаментной плиты; /*L-* расстояние между двумя осями рассматриваемых фундаментов или точками, в которых установлены осадки *S1* и *S2.*

**7.4 Определение размеров подошвы фундаментов по расчётному сопротивлению грунта основания**

В настоящее времяосадки фундаментов рассчитывают исходя из линейной зависимости между напряжениями и деформациями. В связи с этим СП 22.13330 рекомендует ограничивать среднее давление по подошве любого фундамента расчетным сопротивлением грунта основания *R*, что позволяет рассчитывать осадки фундаментов по линейной зависимости между напряжениями и деформациями. Таким образом при расчете оснований по деформациям требуется удовлетворить условие:

*р11* ≤ *R*  (7.5)

где *р11* – среднее давление по подошве фундамента от основного сочетания расчетных нагрузок при расчете по второй группе предельных состояний (по деформациям);

  *R* – расчётное сопротивление грунта основания, при котором развивающиеся зоны пластических деформаций грунта (зоны местного нарушения устойчивости) незначительно нарушают линейную зависимость между напряжениями и деформациями всего основания в целом.

 Расчётное сопротивление грунта основания определяют по формуле:

 (7.6)

где  и − коэффициенты условий работы соответственно основания и сооружения во взаимодействии с основаниями; *k* − коэффициент: *k* = 1, если *φII* и *CII*  определены испытаниями; *k =* 1,1, если *φII* и *CII*  приняты по таблицам;  − коэффициенты, зависящие от расчётного значения угла внутреннего трения *φII ; kz -* коэффициент: *kz =*1 принимается при *b* < 10 м; *kz =* (z0/*в*) + 0,2 при *b* > 10 м (здесь *z0* = 8 м); *b* – ширина подошвы фундамента;  и  − осредненное расчётное значение удельного веса грунтов, залегающих соответственно ниже подошвы фундамента и в пределах глубины заложения фундамента, кН/м3; *d1* – глубина заложения фундамента от пола подвала, м; при отсутствии пола подвала – от планировочной поверхности; *db* – глубина подвала, м; *CII* – расчётное значение удельного сопротивления, кПа.

*db* - глубина подвала, расстояние от уровня планировки до пола подвала, м (для сооружений с подвалом глубиной свыше 2 м принимают равным 2 м);


здесь *hs*  - толщина слоя грунта выше подошвы фундамента со стороны подвала, м;
*hcf*  - толщина конструкции пола подвала, м;
*γcf* - расчетное значение удельного веса конструкции пола подвала, кН/м;

При бетонной или щебеночной подготовке толщиной *hn* допускается увеличивать *d1* на *hn*.

Примечания

1. Формулу (7.6) допускается применять при любой форме фундаментов в плане. Если подошва фундамента имеет форму круга или правильного многоугольника площадью *A*, значение *b* принимают равным *√A*.

2 Расчетные значения удельного веса грунтов и материала пола подвала, входящие в формулу (7.6), допускается принимать равными их нормативным значениям.

3 Расчетное сопротивление грунта при соответствующем обосновании может быть увеличено, если конструкция фундамента улучшает условия его совместной работы с основанием, например фундаменты прерывистые, щелевые, с промежуточной подготовкой и др.

 Значения коэффициентов  установлены исходя из развития зон сдвигов на глубину 0,25 *b*. Принятие коэффициентов условия работы  и  больше единицы ведет к большему развитию этих зон. Однако, как показывает практика строительства, это вполне допустимо для грунтов, обладающих относительно небольшой сжимаемостью, так как грунты зоны сдвигов передают (в горизонтальном направлении) давление на достаточно хорошие грунты за пределами указанной зоны. Этим и объясняется сохранение относительно линейной зависимости между нагрузкой на фундамент и его осадкой.

 Поскольку расчет по соотношению (7.5) условно является расчетом по деформациям, целесообразно принимать единое значение *R* для всех фундаментов отдельного сооружения. Величину *R* в таком случае определяют для основного узкого фундамента (с наименьшим значением *b* –ширины фундамента). Получение большего значения *R* для широких фундаментов проектируемого сооружения нецелесообразно, так как это приведет к увеличению возможных неравномерностей осадки.

**7.4.1 Определение размеров подошвы центрально-нагруженного фундамента**.

 Площадь подошвы центрально-нагруженного фундамента *А* определяется исходя из условия равновесия по формуле:

*A =N / (R- γср d)*

*N* – расчетная нагрузка по II группе предельных состояний. приложенная к обрезу ф-та, кН;

*R –* принятое расчетное сопротивление грунта основания, рассчитанного для условного ф-та с шириной подошвы *b*=1.0м.

*γср –* осредненное расчетное значение удельного веса грунта и материала ф-та, кН/м3;

 (7.6)\*

*d* –глубина заложения ф-та, м.

Зная ориентировочную площадь *А*, устанавливают размеры ф-та:

* В случае квадратной подошвы

*b*=$\sqrt{А, }$ м

* В случае прямоугольной подошвы

*b*=$\sqrt{А/η, }$ м

*η* – коэффициент соотношения сторон, равный *η* =*l/b*

7.5 Проверка давления на подстилающий слой слабого грунта

 Иногда на глубине Z под несущим слоем залегает менее прочный грунт в котором могут развиваться пластические деформации. При наличии в основании грунтов с расчетным сопротивлением меньшим, чем давление на несущий слой, необходимо проверить давление на них и сопоставить его с расчетным сопротивления грунта этого слоя (рис.7.2). Такая проверка, согласно СП 22.13330, заключается в выполнении условия

*σzp +σzg≤ Rz* (7.7)

где *σzp* и *σzg* – вертикальные напряжения на глубине *z* от подошвы фундамента соответственно дополнительное от нагруки на фундамент и от собственного веса грунта, кПа; *Rz* – расчетное сопротивление слабого подстилающего слоя грунта на глубине *z,*кПа, определяется по формуле (7.6)

для условного фундамента шириной *bz,*м.

 Входящие в формулу (7.7) выражения имею вид:

*σzp =α(p-γII’ dn)=αpo;*

*σzg =∑γIIi dz,*

где *α* – коэффициент изменения дополнительного напряжения по глубине основания, принимаемый по прил. Г СП 22.13330 в зависимости от относительной глубины, равной *ξ=2z/b*; *р –* давление по подошве фундамента от расчетных нагрузок, кПа; *γII’ –*удельный вес грунта в пределах глубины *dп* , кН/м3 ; *ро* – дополнительное давление по подошве фундамента сверх давления от собственного веса грунта на глубине *dп* , кПа; *γIIi* – удельный вес *i*–го слоя грунта в пределах глубины *dz* , кН/м3.



*NII*

*bn*

*b*

*po*

*σz*

Рис.7.2 Схема к проверке давления на подстилающий слой грунта

*dz*

*z*

*dn*

*bz*

*σzp*

*σzg*

 Величину *Rz* определяют как для условного фундамента *bz*  с учетом рассеивания напряжений в пределах слоя толщиной *z* по формуле (7.6). Для этого вначале вычисляют площадь условного фундамента по формуле

*Az=NII* /*σ* *zp* (7.8)

Определив *Az* , м2, рассчитывают ширину условного ленточного фундамента по формуле *bz* = *Az/*1,0, м.

 

**7.6. Расчёт фундаментов в случае частичного отрыва его подошвы от грунта**.

Рис.12. Расчётная схема

*N* – равнодействующая нагрузка

*е* – эксцентриситет равнодействующ.

 В действительности нормальные давления под подошвой фундамента могут быть только сжимающими. В этом случае давления можно определить в предположении их распределения по закону треугольника, из условия, что объём эпюры давлений равен силе *N*, а центр её тяжести лежит на линии действия этой силы.



 

;

 



**Контрольные вопросы**

 1.С какими условиями связан расчет оснований по деформации ?

2. Основные положения проектирования оснований по II группе предельных состояний?

3. В каких случаях могут возникнуть недопустимые неравномерности осадки, нарушающие нормальную эксплуатацию зданий и сооружений?

4. Какой принцип, касающийся деформации грунта под нагрузкой, заложен в нормах проектирования оснований зданий и сооружений?

5. К чему может привести поворот относительно главной оси инерции площади подошвы фундамента.?

 6. По какой формуле находят крен жесткого сооружения, опирающегося на систему фундаментов или плиту?

7. Что означает это выражение - (*ΔS/L*)*и*?

8. В виде, каких трех основных схем можно представить напластование грунтов при условном делении на «надежные и слабые» ?

9. Какие прочностные характеристики грунта необходимы для определения *R* – расчётного сопротивления грунта основания, ?

 10. Каким образом можно использовать выражение *σzp +σzg≤ Rz,* для какого вида расчетов?

 11.В каких случаях используется выражение *b*=$\sqrt{А/η, }$ для определения ширины подошвы фундамента?

 12. Что означает выражение:*?*