**Лекция 8**

**РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ПО НЕСУЩЕЙ**

**СПОСОБНОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ**

**8.1 Общие положения**

В некоторых случаях возникает необходимость расчета оснований и фундаментов по первой группе предельных состояний, т.е. по несущей способности и устойчивости. Такой расчет производится, если проектированием по деформациям не может быть обеспечена прочность основания и устойчивость фундамента, т.е. в случаях, когда расчетная схема работы основания существенно отличается от принятой при определении расчетного сопротивления грунта и осадки фундамента.

Строительный опыт свидетельствует, что иногда грунты в основании под действием нагрузок от сооружения теряют устойчивость, а фундаменты получают недопустимые смещения. Поэтому целью расчета по первой группе предельных состояний является обеспечение прочности и устойчивости грунтов основания, недопущения сдвига фундамента по подошве и его опрокидывания.

В соответствии с действующими нормами проектирования (СП 22.13330) расчет оснований и фундаментов по несущей способности и устойчивости производится в следующих случаях:

а) на основание передаются значительные горизонтальные нагрузки;

б) основание сложено водонасыщенными глинистыми и биогенными грунтами, находящимися в нестабилизированном состоянии;

в) основание ограниченно откосом или размещено вблизи откоса;

г) на грунт действует выдергивающая нагрузка;

д) в толще основания имеется слой крутопадающих пластичных глинистых грунтов;

е) проектом предусмотрены возможность возведения сооружения непосредственно после устройства фундаментов до обратной засыпки грунтом пазух котлованов;

ж) основание сложено скальными грунтами.

Расчет оснований и фундаментов в случаях предусмотренных случаями «а» и «в», допускается е производить, если конструктивными мероприятиями обеспечена невозможность смещения проектируемого фундамента. К таким мероприятиям относятся устройство полов в подвале здания, жесткое закрепление откосов, объединение фундаментов в единую систему пространственно-жесткой и прочной надфундаментной конструкцией.

Расчет оснований и фундаментов по первой группе предельных состояний (по прочности и устойчивости) производится исходя из условия

*F≤ γc Fu / γn*  (8/1)

где *F* – расчетное усилие на основание или фундамент при основном или особом сочетании нагрузок; *Fn* – сила предельного сопротивления основания (несущая способность); *γc* – коэффициент условия работы, принимаемым для песков, кроме пылеватых, 1,0; для песков пылеватых, а так же глинистых грунтов в стабилизированном состоянии – 0,9; для глинистых грунтов в нестабилизированном состоянии – 0,85;для скальных грунтов невыветренных и слабовыветренных – 1,0; выветренных – 0,9; сильновыветренных – 0,8; *γп* – коэффициент надежности, принимаемый для сооружений 1 класса равным 1,2; 11 класса – 1,15 и 111 класса – 1,10.

Основания ленточных фундаментов рассчитываются на устойчивость только в направлении короткой стороны (ширины) фундамента, а отдельных фундаментов – в направлении действия момента либо по направлению горизонтальной составляющей усилия (нагрузки) на фундамент. При этом следует учитывать, что потеря устойчивости основания в зависимости от соотношения вертикальной и горизонтальной составляющих нагрузок может иметь характер выпирания грунта из-под подошвы фундамента (глубокого сдвига) или плоского сдвига по подошве. В некоторых необходима проверка по обоим возможным вариантам разрушения.

**8.2 Аналитический метод определения несущей способности основания при действии наклонной нагрузки**

В расчете принимается, что равнодействующая расчетной нагрузки на основание *F* при соответствующих значениях вертикальной *Fv* и горизонтальной  *Fh* составляющих наклонена к вертикали под углом δ=arctg(*Fh/Fv*). При этом фундамент имеет плоскую горизонтальную подошву.

8.2.1 Вертикальную составляющую силу предельного сопротивления основания *Nu*, кН, сложенного скальными грунтами, независимо от глубины заложения фундамента вычисляют по формуле

(8.2)



где *Rc* - расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта, кПа;  
  
 *b’* и *l’* - соответственно приведенные ширина и длина фундамента, м, вычисляемые по формулам:

,  (8.3)



здесь *eb* и *el* - соответственно эксцентриситеты приложения равнодействующей нагрузок в направлении поперечной и продольной осей фундамента, м.

*l*

*b*

*b’ = b-2eb*

*l’ = l-2el*

*2eb*

*2el*

*eb*

*el*

Рис. 8.1 Схема к расчету фундамента по несущей способности

8.2.2 Сила предельного сопротивления основания, сложенного дисперсными грунтами в стабилизированном состоянии, следует определять исходя из условия, что соотношение между нормальными  и касательными  напряжениями по всем поверхностям скольжения, соответствующее предельному состоянию основания, подчиняется зависимости

,



где *φ****1***  и ***C****1* - соответственно расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта .

8.2.3 Силу предельного сопротивления основания, сложенного медленно уплотняющимися водонасыщенными глинистыми, органоминеральными и органическими грунтами (при коэффициенте водонасыщения *Sr ≥* 0,85 и коэффициенте консолидации  см2/год), следует определять с учетом возможного нестабилизированного состояния грунтов основания за счет избыточного давления в поровой воде ***u***. При этом соотношение между нормальными  и касательными  напряжениями принимают по зависимости



,



где ***σ****t*  и ***u*** - значение полного нормального напряжения и порового давления соответственно;  
  
 *φ1*  и *C1* - соответствуют стабилизированному состоянию грунтов основания и определяются по результатам консолидированного среза или трехосного сжатия.  
  
 Избыточное давление в поровой воде допускается определять методами фильтрационной консолидации грунтов с учетом скорости приложения нагрузки на основание.

8.2.4 При проверке несущей способности основания фундамента следует учитывать, что потеря устойчивости может происходить по следующим возможным вариантам (в зависимости от соотношения вертикальной и горизонтальной составляющих равнодействующей, а также значения эксцентриситета):

- плоский сдвиг по подошве;  
  
- глубинный сдвиг;  
  
- смешанный сдвиг (плоский сдвиг по части подошвы и глубинный сдвиг по поверхности, охватывающей оставшуюся часть подошвы).  
  
 Необходимо учитывать форму фундамента и характер его подошвы, наличие связей фундамента с другими элементами сооружения, напластование и свойства грунтов основания.  
  
 Проверку устойчивости основания отдельного фундамента следует проводить с учетом работы основания всего сооружения в целом.

8.2.5 Расчет оснований по несущей способности в общем случае следует выполнять методами теории предельного равновесия, основанными на поиске наиболее опасной поверхности скольжения и обеспечивающими равенство сдвигающих и удерживающих сил. Возможные поверхности скольжения, отделяющие сдвигаемый массив грунта от неподвижного, могут быть приняты круглоцилиндрическими, ломаными, в виде логарифмической спирали и другой формы.

8 2/6 Возможные поверхности скольжения могут полностью или частично совпадать с выраженными ослабленными поверхностями в грунтовом массиве или пересекать слои слабых грунтов; при их выборе необходимо учитывать ограничения на перемещения грунта, исходя из конструктивных особенностей сооружения. При расчете следует учитывать различные сочетания нагрузок, отвечающие как периоду строительства, так и периоду эксплуатации сооружения.

8.2.7 Для каждой возможной поверхности скольжения вычисляют предельную нагрузку. При этом используют соотношения между вертикальными, горизонтальными и моментными компонентами нагрузки, которые ожидаются в момент потери устойчивости, и описывают нагрузку одним параметром. Этот параметр определяется из условия равновесия сил (в проекции на заданную ось) или моментов (относительно заданной оси). В качестве предельной нагрузки принимают минимальное значение.

8.2.8 В число рассматриваемых при определении равновесия сил включают вертикальные, горизонтальные и моментные нагрузки от сооружения, вес грунта, фильтрационные силы, силы трения и сцепления по выбранной поверхности скольжения, активное и (или) пассивное давление грунта на сдвигаемую часть грунтового массива вне поверхности скольжения.

Вертикальная составляющая *Nu* силы предельного сопротивления основания, сложенного нескальными однородными грунтами, находящимися в стабилизированном состоянии определяется по формуле (СП 22.13330)

Вертикальную составляющую силы предельного сопротивления *Nu*, кН, основания, сложенного дисперсными грунтами в стабилизированном состоянии, допускается вычислять по формуле (8.4), если фундамент имеет плоскую подошву и грунты основания ниже подошвы однородны до глубины не менее ее ширины, а в случае различной вертикальной пригрузки с разных сторон фундамента интенсивность большей из них не превышает 0,5*R* (*R* - расчетное сопротивление грунта основания, определяемое в соответствии с 5.6.7-5.6.25 СП 22.13330)

(8.4)



где *b’* и ***l’*** - то же, что и в формуле (8/2), при этом буквой *b* обозначена сторона фундамента, в направлении которой предполагается потеря устойчивости основания;  
*Nγ*, *Nq* ,*Nc*  - безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по таблице 5.12 C 22.13330 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта ***φ*** и угла наклона к вертикали ***δ*** равнодействующей внешней нагрузки на основание *F* в уровне подошвы фундамента;  
 ***γ****1* и ***γ’***1 - расчетные значения удельного веса грунтов, кН/м, находящихся в пределах возможной призмы выпирания соответственно ниже и выше подошвы фундамента (при наличии подземных вод определяют с учетом взвешивающего действия воды для грунтов, находящихся выше водоупора);  
 *C1* - расчетное значение удельного сцепления грунта, кПа;  
 *d* - глубина заложения фундамента, м (в случае неодинаковой вертикальной пригрузки с разных сторон фундамента принимают значение *d*, соответствующее наименьшей пригрузке, например, со стороны подвала);  
 ***ξ****γ*, ***ξq*** , ***ξ****c* - коэффициенты формы фундамента, вычисляемые по формулам:

, ,  (8/5)



здесь   
*l* и *b* -соответственно длина и ширина подошвы фундамента, м, принимаемые в случае внецентренного приложения равнодействующей нагрузки равными приведенным значениям *l’* и *b’* , определяемым по формуле (8/2).  
  
Если , в формулах (5.33) следует принимать *η* =1.



Угол наклона к вертикали равнодействующей внешней нагрузки на основание определяют из условия



где*Fh*  и *Fv* - соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие внешней нагрузки *F* на основание в уровне подошвы фундамента, кН.  
  
Расчет по формуле (8.4) следует выполнять, если соблюдается условие

(8.6)



Примечания

1 При использовании формулы (8.4) в случае неодинаковой пригрузки с разных сторон фундамента в составе горизонтальных нагрузок следует учитывать активное давление грунта.

2 Если условие (8.5) не выполняется, следует проводить расчет фундамента на сдвиг по подошве (5.7.12 C 22.13330).

3 При соотношении сторон фундамента *η*>5 фундамент рассматривается как ленточный и коэффициенты  ***ξ****γ*, ***ξq*** , ***ξ****c*   принимают равными единице.

8.2.8 Расчет фундамента на сдвиг по подошве проводят исходя из условия



где  и  - суммы проекций на плоскость скольжения соответственно расчетных сдвигающих и удерживающих сил, кН, определяемых с учетом активного и пассивного давлений грунта на боковые грани фундамента, коэффициента трения подошвы фундамента по грунту, а также силы гидростатического противодавления (при уровне подземных вод выше подошвы фундамента);  
 *γc*  и  ***γ***n - то же, что и в формуле (8.1).



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

Расчет на плоский сдвиг по подошве проводят при наличии горизонтальной составляющей нагрузки на фундамент в случаях:  
  
 - нарушения условия (8.6) применимости формулы (8.4);  
 - наличия слоя грунта с низкими значениями прочностных характеристик непосредственно под подошвой фундамента;  
 - в случаях, указанных в 5.7.14 (C 22.13330).



Рис.8.2 Расчётная схема фундамента при значительной

горизонтальной составляющей 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.

8.2.10 Предельное сопротивление основания (однородного ниже подошвы фундамента до глубины не менее 0,75*b*), сложенного медленно уплотняющимися водонасыщенными грунтами (5.7.5), допускается вычислять следующим образом

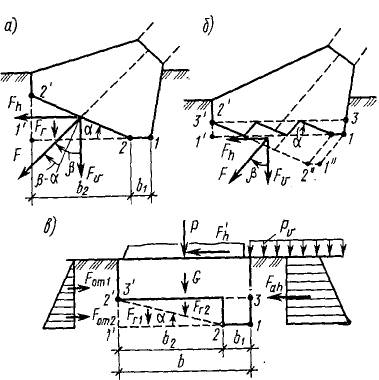


Рис. 8.3. Конструктивные способы увеличения устойчивости фундаментов на сдвиг

устройством: ***а* —** наклонной подошвы; **б —** уступов; ***в* —** зуба

:а) вертикальную составляющую силы предельного сопротивления основания ленточного фундамента *nu*, кН/м, по формуле

(8/7)



где *b’* - то же, что и в формуле (8.2);  
*q* - пригрузка с той стороны фундамента, в направлении которой действует горизонтальная составляющая нагрузки, кПа;  
 - то же, что и в 5.7.5;  
π=3,14;  
α - угол, рад, вычисляемый по формуле



здесь *fh* - горизонтальная составляющая расчетной нагрузки на 1 м длины фундамента с учетом активного давления грунта, кН/м.  
  
Формулу (8.7) допускается использовать, если выполняется условие



б) силу предельного сопротивления основания прямоугольного () фундамента при действии на него вертикальной нагрузки допускается вычислять по формуле (8.4), полагая , , .

