**ЛЕКЦИЯ 6**

**РАСЧЕТЫ ГИБКИХ ФУНДАМЕНТОВ**

**6.1 Основные положения и предварительный подбор сечения фундаментов**

При проектировании фундаментов, возводимых на естественных основаниях следует различать, по условиям их работы два основных вида: *жесткие* массивные ф-ты, проектируемые по предельным состояниям и не рассчитываемые на изгиб, и *гибкие* ф-ты, работающие совместно со сжимаемым основанием и рассчитываемые на прочность при изгибе с учетом предельных деформаций основания.

Из курса строительной механики известно, что если отношение изгибаемой конструкции к ее длине более 1/3, то конструкцию (в условиях плоской деформации) можно рассматривать как абсолютно жесткую.

Поэтому при отношении высоты ф-тов к их длине более 1/3 будем принимать ф-ты за абсолютно жесткие (т.е. не рассчитывать их на изгиб), при меньшем же соотношении – ф-ты следует рассматривать как *гибкие*.

К гибким относят все ленточные ж/б ф-ты, ф-ты из монолитного ж/б под отдельные опоры или группы колонн, сплошные ж/б плиты, коробчатые плиты (если необходимо воспринимать очень большие изгибающие моменты, возникающие в сплошных плитах, например у ф-тов высотных зданий) и т.п.

В настоящее время наибольшее применение в практике проектирования гибких ф-тов находят два метода;

1. Метод *местных упругих деформаций*, учитывающий осадки только в месте приложения нагрузки
2. Метод *общих упругих деформаций*, учитывающий не только местные, но и общие (вне загруженной поверхности) деформации грунта.

Метод *местных упругих деформаций* (или метод коэффициента постели) применим в случае возведения ф-тов на слабых сильносжимаемых грунтах, а также при малой мощности слоя сжимаемого грунта (когда превалируют местные деформации, а общи вне загруженной поверхности весьма малы).

Метод же *общих упругих деформаций* (линейно деформируемого упругого полупространства) применим в случае наличия достаточно плотных грунтов и не слишком больших опорных площадях.

Для площадей же порядка десятков и сотен квадратных метров более близкие результаты дает теория изгиба *слоя ограниченной мощности* на несжимаемом основании.

Предварительный подбор сечений фундаментных балок необходим для установления их жесткости *EJ,* входящей во все последующие расчеты, так как изгиб балок на сжимаемом основании является статически неопределимой задачей.

Для предварительной подбора сечения коротких фундаментов балок допускается не учитывать криволинейность эпюры реактивных давлений. Тогда приближенно изменение давления по площади подошвы ф-тов можно определить по ф-лам внецентренного сжатия.



; 

Где *N* – сумма всех вертикальных нагрузок на фундаментную балку;

*А* – площадь подошвы фундаментной балки

*Муо* – момент всех сил относительно центра подошвы ф-ной балки

По величине max*Муо* определяем по условию прочности момент сопротивления фундаментной балки *Wy*

*Wy= maxМуо/σрасч*

*σрасч* – допускаемое напряжение для материала фундаментной балки

по моменту сопротивления *Wy* подбираем сечение фундаментной балки, а по нему определяем и жесткость балки *EJ*.

**6.2.Теории изгиба балок на упругом основании и их применимость к расчету гибких фундаментов**

1. Предпосылкой теории местных упругих деформаций является положение о прямой пропорциональности между давлением и местной осадкой, т.е. осадкой только в месте приложения нагрузки.

Это положение совместно с дифференциальным уравнением Навье было использованием Винклером (1867г.) и Циммерманом (1888г.)для расчета на изгиб железнодорожных шпал.

Основным уравнением деформаций в методе местных упругих деформаций будет

*у = рх / Су* (6.2)

*у*– упругая осадка грунта в месте приложения нагрузки;

*рх–* давление по подошве ф-та;

*Су* – коэффициент упругости основания, или так называемый коэффициент упругой постели.

Метод местных деформаций не учитывает общих деформаций вне загруженной поверхности, что позволяет рассматриваемое упруго основание представить моделью несвязных между собой упругих пружин.

Согласно уравнению 6.2 в тех местах, где нет внешнего давления (т.е. *рх* =0), упругая осадка будет равна нулю. В то же время результаты непосредственных наблюдений показывают, что оседает не только нагруженная поверхность, но и соседние участки грунта, образуя упругую лунку, т.е. имеют место не только местные упругие деформации, но и общие, которые не учитываются в рассматриваемой модели.

*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 «у» прямо пропорциональна давлению «*Pх*», 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.6.1, а). Деформационные свойства основания описываются коэффициентом постели, не зависящим от размеров загружаемой площадки. Уравнение 6.2 можно переписать в виде

*рх =Суу*

что позволяет иначе сформулировать основную предпосылку метода местных упругих деформаций:

**давление в любой точке упругого основания прямо пропорционально местной упругой осадке в этой точке.**

Коэффициент пропорциональности *Су=рх/у* имеет размерность кН/м3 и принимается постоянным для данного грунта. В то же время результаты опытов показывают, что коэффициент *Су* зависит как от величины внешнего давления (среднего *р*), так и площади передачи давления *А*, причем чем больше внешнее давлении и лощадь подошвы фундамента тем коэффициент *Су* будет меньше.



Где *Сп*– постоянная жесткости основания;

*l , b* –длина и ширина подошвы фундамента;

*р* – величина внешнего давления;

*ро –* давление опытного штампа при котором определялась величина *Сп*

При расчете ленточных свайных ф-тов и известной площади *А*, части фундаментной ленты, приходящейся на одну сваю. Коэффициент *Су* орпеделяется по простой ф-ле:



*s-* осадка при нагрузке *Р* (определяется полевым пробным испытанием).

Метод местных упругих деформаций имеет ограниченную область применения – только для слабых грунтов можно не учитывать осадки вне места приложения нагрузки , а отсутствие связи между элементами грунта, обуславливающую полную равномерность осадки при равномерном давлении на подошву фундаментов, можно принимать лишь при незначительной мощности сжимаемого грунта.

Метод местных упругих деформаций , на котором базируются расчеты балок и плит на упругом (винклировском основании), позволяет более экономно проектировать гибкие ф-ты с учетом грунтового основания.

Вывод: Метод местных упругих деформаций можно с успехом применять при наличии слабых грунтов или в случае малой мощности слоя сжимаемого грунта и известной величине коэффициента упругости основания.

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. 6.1, б).

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



Рис. 6.1. 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.6.2, 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.6.2, в,г).



Рис. 6.2. 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 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.

Исходным уравнением деформации основании будут:

Для случае плоской задачи (формула Фламана)



Для пространственной задачи (формула Буссинеска)



*у*– осадка упруго полуплоскости;

*Р* – сосредоточенная сила;

*С=Е*/ (1-*v2*) – коэффициент деформируемости полупространства,

*Е* – модуль деформации. *v*– коэффициент Пуассона;

*R, x–* расстояние ло рассматриваемой точки ограничивающей плоскости;

*D –* постоянная интегрирования.

Метод общих упругих деформаций распространяют и на *линейно деформируемое полупространство*, принимая величину коэффициента, равной



*Eo* –модуль общей (упругой и неупругой) деформации;

*vo* – коэффициент относительной боковой деформации аналогичный коэффициенту Пуассона.

Осадки ограничивающей полупространство плоскости, определяемые по методу общих деформаций, имеют место не только непосредственно под загруженной поверхностью, но и вне ее, что всегда наблюдается в натуре и соответствует распределению напряжений под нагрузкой. Однако следует отметить. Что деформации (осадки) поверхности, определяемые по методу общих деформаций, более медленно загасают при удалении от места загрузки по сравнению с наблюдаемыми в натуре. В связи с этим применимость метода общих упругих деформаций ограничивается лишь достаточно плотными, тугопластичными, твердыми и др. подобными грунтами.

6.3 Расчет фундаментных балок на местном упругом основании

Уравнение изгиба фундаментных балок, опирающихся на упругое (или линейно деформируемое основание), по теории местных деформаций выводится исходя из условия совместной работы фундаментной балки и упругого основания. Уравнение изогнутой оси балки будет



*EJ* – жесткость фундаментной балки (определяется по предварительному подбору сечения балки);

*Мх –* изгибающий момент от действия внешних сил.

Дифференцируя это уравнение получим выражение для перерезывающей силы



Принимая во внимание, что  и *рх =Су у*; получим 

6.4 Расчет фундаментных балок и плит на линейно деформированном полупространстве основании

Работу гибких фундаментов следует рассматривать совместно с работой грунтового основания, которое модно принимать за упругое однородное полупространство свойства которого описываются теорией упругости и принципом линейной деформируемости.

1. Бесконечно жесткие полосы.

При центральной нагрузке реактивные давления на грунт определяются след. Образом



*qm –*среднее давление на единицу площади подошвы;

*Ɛ –*относительная координата, равная *x/l (*полупролет нагруженной полосы*)*

Последовательное интегрирование этого выражения позволяет в замкнутом виде получить выражения для перерезывающей силы *Qx* и изгибающего момента *Мх*





Следует отметить, что подошве жестких ф-тов строгое решение теории упругости всегда дает седлообразное распределение реактивных давлений с величиной их у краев (у кромки полосы) достигающих теоретически бесконечно больших величин. Конечно на практике краевые давления не могут быть больше предела прочности грунта на вдавливание, поэтому строгие решения теории упругости дают преувеличенные величины изгибающих моментов. Что и необходимо учитывать.

1. Гибкие полосы конечной жесткости

Дифференциальное уравнение изгиба полосы в приведенных абсциссах (Ɛ=*х/l*):



 циллиндрическая жесткость полосы;

*у* – прогиб балки;

*р(Ɛ)*– реактивное давление грунта;

*q(Ɛ)–*равномерно распределенная внешняя нагрузка.

В случае сложных конструкций, неоднородных грунтовых оснований достаточно точные решения могут быть получены только численными методами с использованием ЭВМ.



Рис. 6.3 Жилой комплекс «Новый Пионер»