

Опыт строительства жилых зданий на плитных фундаментах

Болдырева Е.Г., ООО «НПП Геотек»

Общие данные

В июле 2004 года Пензенская строительная компания (сегодня SKM Group) приступила к строительству 15-ти этажного жилого дома по ул. Зои Космодемьянской в городе Пензе. Строительство жилого дома было завершено в 2006 году и сегодня имеет внешний вид, показанный на рис. 1.



Рис. 1. Многоэтажный жилой дом с несущими стенами из кирпича

Здание конструктивно выполнено с несущими продольными и поперечными стенами из кирпича и сборными железобетонными плитами перекрытия и покрытия.

Цель данной статьи заключается в изложении опыта проектирования фундаментов с использованием различных расчетных схем деформации грунтового основания, которые рекомендованы в нормативной литературе.

В результате инженерно-геологических изысканий, выполненных в 2004 г. Пензенским ТИСИЗ на площадке строительства выделено 6 инженерно-геологических элементов.

Насыпные грунты (ИГЭ-1) и глина элювиальная тугопластичная (ИГЭ-2) прорезаются конструкцией фундамента, а его подошва закладывается на отметке 160,85 в слое глин элювиальных полутвердых (ИГЭ-3).

Модуль деформации глины ИГЭ-2 был определен по результатам лабораторных компрессионных испытаний в интервале 0,1-0,2 МПа с переходным коэффициентом $m=3,1$, определенный по результатам сопоставлений полевых штамповых испытаний с лабораторными компрессионными.

Для ИГЭ-3,4,5,6 модуль деформации рассчитан с переходным коэффициентом $m = 4,6$.

Грунтовые воды находятся на отметке 158,4 – 160,1 м. По степени агрессивности грунтовые воды неагрессивны к бетонам всех марок по водопроницаемости, согласно табл. 5 СНиП 2.03.11-85.

Значения деформационных и прочностных характеристик грунтов площадки строительства приведены в табл. 1.

Анализ инженерно-геологических условий показывает, что у поверхности залегают глинистые грунты, которые имеют хорошие деформационные и прочностные свойства.

Вследствие того, что конструктивно здание несимметрично относительно продольной и поперечной осей и имеет различную этажность (3 -15 этажей), было принято решение выбрать конструкцию фундамента в виде сплошной железобетонной плиты без устройства деформационных швов в местах сопряжения различных секций здания.

Табл. 1. Физико-механические свойства грунтов

Наименование грунта	Характеристики грунта				
	Удель- ный вес, кН/м ³	Модуль дефор- мации, МПа	Угол внутрен- него трения, град	Силы удель- ного сцепле- ния, кПа	Показа- тель теку- чести
Почвенный слой, глинистый (ИГЭ-1)	15,00				
Глина элювиальная, тугопластиная (ИГЭ-2)	16,50	5,5	18	37,0	0,27
Глина элювиальная полутвердая (ИГЭ-3)	16,40	16,0	18	44,0	0,22
Глина элювиальная полутвердая, с прослойками мергеля	15,70	26,0	19	44,0	0,16
Глина элювиальная полутвердая, трещиноватая (ИГЭ-5)	17,20	18,0	20	45,0	0,21
Глина коренная полутвердая (ИГЭ-6)	17,30	26,0	20	55,0	0,12

2. Расчетные схемы основания

С целью оценки применимости различных расчетных схем деформации основания на деформацию плиты и внутренние усилия было принято решение

выполнить статический расчет фундаментной плиты с использованием трех расчетных схем основания, наиболее часто применяемых на практике.

Расчетная схема 1. Основание в виде линейно-деформируемого полупространства /1/, с осредненными в пределах сжимаемого слоя H коэффициентом Пуассона грунта и модуля деформации грунтов основания $E_{пр}$ с корректирующим множителем m_E , равным:

$$m_E = \omega'_{cp} / \omega_{cp}, \quad (1)$$

где ω_{cp} - коэффициент, определяемый по табл. 13 /1/ в зависимости от отношения сторон фундамента $n = l/b$ и толщины сжимаемого слоя основания к полуширине фундамента $m' = 2H/b$; ω'_{cp} - коэффициент, определяемый по табл. 13 для $m' = \infty$ в зависимости от отношения сторон фундамента $n = l/b$.

Расчетная схема 2. Основание (Винклера – Фусса), подчиняющееся гипотезе постоянного коэффициента постели /1/, с коэффициентом постели, определяемым по формуле

$$C_1 = \frac{P}{S_{cp}}, \quad (2)$$

где P – среднее фактическое давление на грунт под подошвой фундамента; S_{cp} – средняя осадка, определяемая по формуле (1) приложения 2 СНиП /2/.

Расчетная схема 3. Основание в виде линейно-деформируемого полупространства без осреднения коэффициента Постели по слоям грунта и модуля деформации без использования коэффициента m_E и приведения модуля деформации к среднему значению в пределах сжимаемой толщ.

Плита принята толщиной 90 см и с переменными размерами в плане в виде прямоугольника с наибольшими сторонами 24x42 м. Бетон класса В20, арматура класса А-III, А-I.

3. Расчет основания с использованием гипотезы коэффициента постели

В данном случае, статический расчет фундаментной плиты выполнен с использованием программы Structure CAD /3/. Значение коэффициента постели определено из расчета осадки с использованием выражения (2) и принят постоянным под всей площадью фундаментной плиты, равным $C=1155,44$ кН/м³. Осадка, входящая в выражение (2), определена методом элементарного послойного суммирования /2/, с использованием модулей деформации слоев грунта, приведенные в табл. 1. Глубина сжимаемой толщи, равна 28,46 м.

4. Расчет фундаментной плиты с использованием гипотезы линейно-деформируемого полупространства и приведенным модулем деформации

При расчете осадки методом элементарного послойного суммирования получена сжимаемая толщина грунтового основания мощностью, $H_c=28,46$ м.

Используя рис. 6 /1/ при найденном значении H_c и отношении сторон фундамента $n=l/b=42/24=1,75$ находим толщину сжимаемого слоя $H=22,05$ м. Используя табл. 13 /1/ определяем корректирующий множитель, $m_E=1,87$.

Модуль деформации грунтов основания E_{np} , приведенный в пределах сжимаемой толщи H_c , находим из выражения:

$$E_{np} = \frac{\sum_1^n (k_i - k_{i-1})}{\sum_1^n \frac{k_i - k_{i-1}}{E_i}} \quad (3)$$

где k_i – коэффициент, определяемый по табл. 4, приложения 2 СНиП /2/.

Используя выражение (3) находим $E_{np} = 22,0$ МПа. Расчетное значение модуля деформации $E = E_{np} \times m_E E = 41,14$ МПа.

Расчет фундаментной плиты на «условно однородном» ($E = 41,14$ МПа) основании выполнен с использованием программы ANSYS /4/ методом конечных элементов. Аппроксимация грунтов основания выполнена с использованием конечных элементов SOLID45, а фундаментной плиты – конечными элементами SHELL43. Выбранные конечные элементы допускают упругое и упруго-пластическое поведение грунта основания и бетона конструкции фундамента. В данной работе решение проведено по упругой схеме. Результаты расчетов приведены на рис. 2, 3.

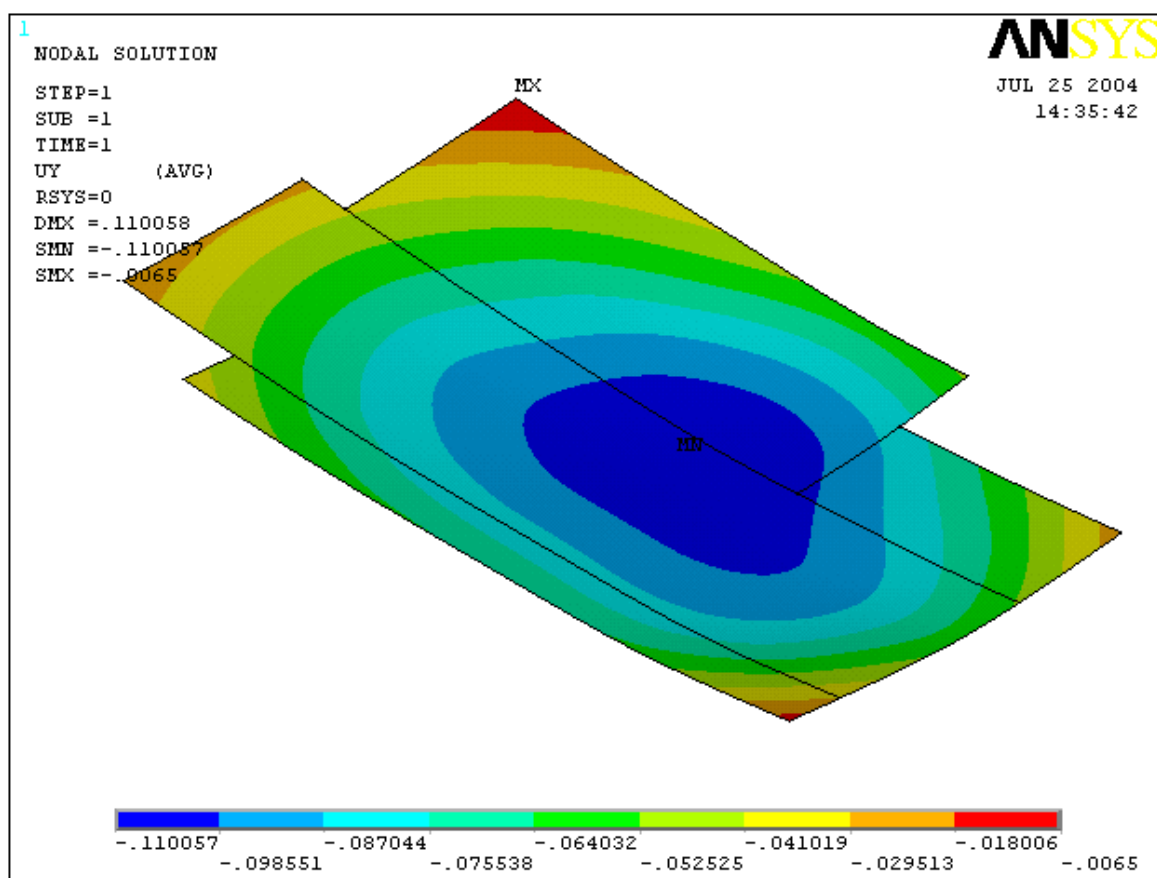


Рис. 2. Прогиб/осадка фундаментной плиты

Осадка плиты по оси 1 равна 4,1 см, по оси 14 – 6,4 см. Максимальная осадка равна 11,0 см. Из рис. 2 видно, что плита прогибается несимметрично по отношению к центру плиты.

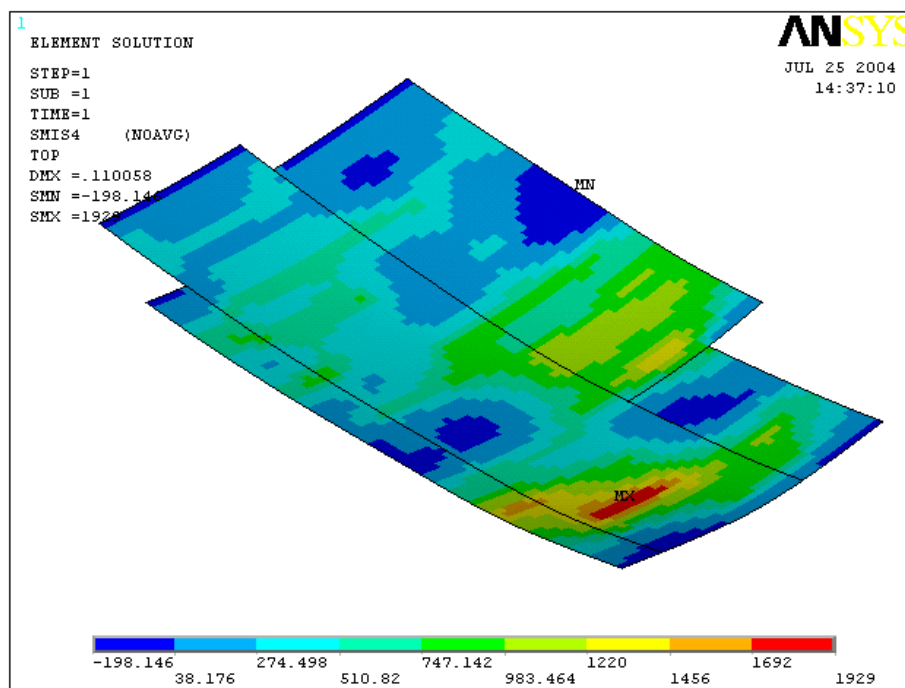


Рис. 3. Момент в направлении оси X

5. Расчет фундаментной плиты с использованием гипотезы линейно-деформируемого полупространства на неоднородном грунтовом основании

Расчет выполнен с использованием программы ANSYS и гипотезы линейно-деформируемого полупространства, но в отличие от предыдущего случая основание рассмотрено неоднородным. Модули деформации слоев грунта приняты по табл. 1. Характер деформации плиты подобен, приведенному на рис. 2, как и момент, на рис. 3, но значения по величине различны (см. табл. 2)

Осадка плиты по оси 1 равна 8,3 см, а по оси 14 – 12,9 см. Максимальная осадка равна 21,99 см, что почти в два раза более, чем в предыдущем случае.

6. Сравнение результатов расчета

С целью сравнения ряд результатов расчета приведен в табл. 2.

Наименование расчетной схемы основания	Максимальная осадка, S, см	Момент M_x , кНм	Момент M_y , кНм	Поперечная сила Q_x , кН	Поперечная сила Q_y , кН
Винклера – Фусса	31,5	-545,9 – 2278,3	-821,3 - 2872,4	-1270,0 – 2600,0	-1270,0 – 3900,0
Линейно-деформируемое полупространство (приведенное)	11,0	-198,14 – 1929,0	8,12 – 2486,0	-1637,0 – 1205,0	-1476,0 – 1460
Линейно-деформируемое полупространство (неоднородное)	21,89	7,45 – 2497,0	19,54 – 3481,0	-2241,0 – 1179,0	-1484,0 – 1495,0

Из табл. 2 видны различия в значениях расчетных параметров, определенных с использованием рассмотренных расчетных схем основания. Близкие значения по внутренним усилиям получены при расчете с использованием гипотезы постоянного коэффициента постели и линейно-деформируемого полупространства с приведенным модулем деформации и введением корректирующего коэффициента. Однако максимальные значения осадки (прогиба) плиты различаются более чем в 2,8 раза.

Значения изгибающих моментов, определенные по двум расчетным схемам с использованием гипотезы линейно-деформируемого полупространства, отличаются не только количественно, но и качественно. На условно однородном основании с $E = m_E \times E_{np}$, имеет место растяжение, как в верхней, так и нижней части поперечного сечения плиты. На неоднородном основании растяжение

наблюдается только в нижней части сечения. Однако, следует заметить, что значения поперечных сил оказались практически одинаковыми.

Исходя из изложенного, при конструировании плиты было выбрано наиболее неблагоприятное распределение внутренних усилий, которое получено с использованием расчетной схемы основания по гипотезе постоянного коэффициента постели.



(а)

(б)

Рис. 4. Строительство нулевого цикла: а – котлован и устройство подбетонки под плиту; б – обрушение стены котлована при монтаже фундаментных блоков

В процессе строительства нулевого цикла здания был отрыт котлован с переменной глубиной от 1,5 до 8,0 м (рис. 2) без устройства ограждения котлована. Это привело к обрушению стенок котлована в наиболее глубокой части, что достаточно четко видно из приведенной фотографии.

Заключение

1. При одних и тех же равных условиях вид расчетной схемы основания фундаментов оказывает влияние, как на осадку так и внутренние усилия в фундаментной плите.

2. Наибольшие внутренние усилия и осадка здания, а следовательно

стоимость конструкции фундаментной плиты, имеют место в случае выбора расчетной схемы основания в виде Винклеровской модели, которая заложена в программу Structure CAD.

3. Расчет основания с использованием гипотезы линейно-деформируемого полупространства более предпочтителен, так как основан на реальных значениях деформационных характеристик грунтов, которые определяются при проведении стандартных инженерно-геологических изысканий, в отличие от гипотезы Винклера, где коэффициент постели является расчетной характеристикой и не определяется экспериментально.

Литература

1. Руководство по проектированию фундаментных плит каркасных зданий. М: Стройиздат, 1977, 128 с.
2. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. М., 1996
3. Лира 9.www.rflira.ru (дата обращения 05.08.20110)
4. ANSYS, www.cadfem.com (дата обращения 05.08.20110)

Реферат

В статье приведены результаты проектирования и строительства плитного фундамента жилого многоэтажного дома. Расчет фундаментов выполнен с использованием трех расчетных схем деформации основания с использованием программ Ansys и Scada. Показано влияние расчетной схемы основания на осадку и внутренние усилия в фундаментной плите.

Abstract

In article results of designing and building mat foundation of the inhabited many-storeyed house are cited. Calculation of the bases is executed with use of three schemes of deformation of the basis with use of programs Ansys and Scada. Influence

of the deformations scheme of the basis on a settlement and internal force in a mat foundation is shown.