РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ЖИЛОГО ДОМА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ SCAD И ANSYS

Г.Г.Болдырев, А.Ю.Трегуб, О.В.Хрянина
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В работе приведены результаты расчета фундаментной плиты жилого здания на неоднородном грунтовом основании с использованием различных расчетных схем деформации основания и программ расчета Scad и Ansys

В июле 2004 года Пензенская строительная компания приступила к строительству 15-ти этажного жилого дома по ул. Зои Космодемьянской в городе Пензе. Здание конструктивно выполнено с несущими продольными и поперечными стенами из кирпича и сборными железобетонными плитами перекрытия и покрытия. В данной работе приведены результаты расчета и конструирования фундаментной плиты с использованием различных расчетных схем деформации грунтового основания.

1. Оценка инженерно-геологических условий площадки строительства

В результате инженерно-геологических изысканий, выполненных в 2004 г. Пензенским ТИСИЗ на площадке строительства выделено 6 инженерно-геологических элементов (рис. 1).

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 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.

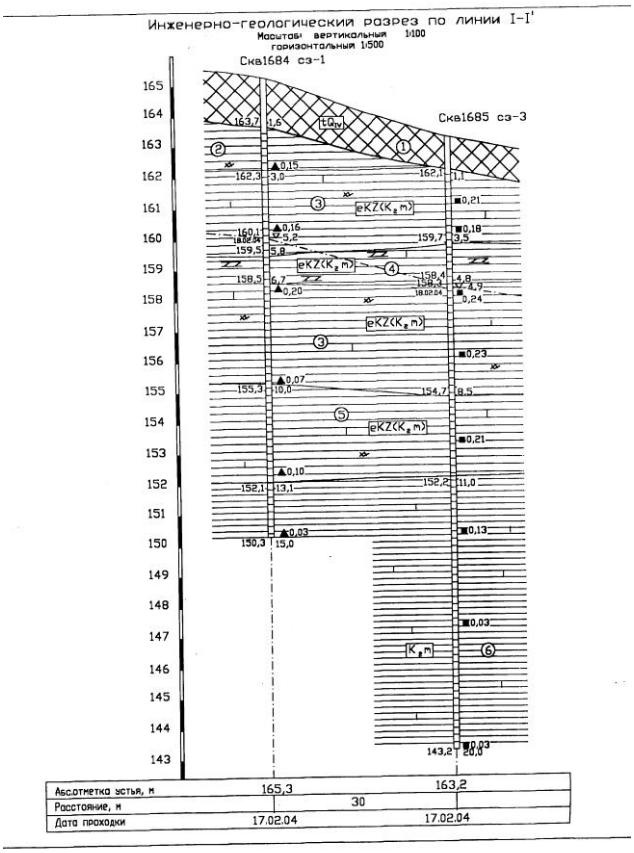

Рис. 1. Инженерно-геологический разрез строительной площадки

Табл. 1. Физико-механические свойства грунтов

Наименование грунта	Характеристики грунта				
	Удель-ный вес, кН/м^3	Модуль дефор-мации, МПа	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепле-нии, кПа	Показ. 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. Выбор расчетной схемы основания

Статический расчет фундаментной плиты выполнен с использованием трех расчетных схем основания.

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

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

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 $n = l/b$.

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

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

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

3. Основание в виде неоднородного линейно-деформируемого полупространства (рис. 1) с деформационными характеристиками для каждого слоя грунта по табл. 1.

3. Расчет с использованием гипотезы коэффициента постели

Статический расчет фундаментной плиты выполнен с использованием программы Structure CAD /3/. Значение коэффициента постели определено из расчета осадки с использованием расчетной схемы линейно-деформируемого полупространства. Значение коэффициента постели принято постоянным на поверхности контакта фундамента с грунтом.

Определяем полную расчетную вертикальную нагрузку на фундаментную плиту

$$\sum R_z = 6641.2 + 5158.62 + 6459.79 + 7233.40 = 25493.01 m.$$

Определяем полную нормативную нагрузку на фундаментную плиту

$$N_{II} = \frac{\sum R_Z}{\gamma_{fm}} = \frac{25493.01}{1.15} = 22167.8m.$$

Для расчета плиты определяем коэффициент постели:

$$C_1 = \frac{P}{S_{cp}} = \frac{222,19}{0,192} = 1157,24 кН/м^3.$$

3.1. Результаты расчета

Результаты статического расчета приведены на рис. 2, 3. Ось X – в направлении длинной стороны плиты, ось Y – в направлении короткой стороны плиты.

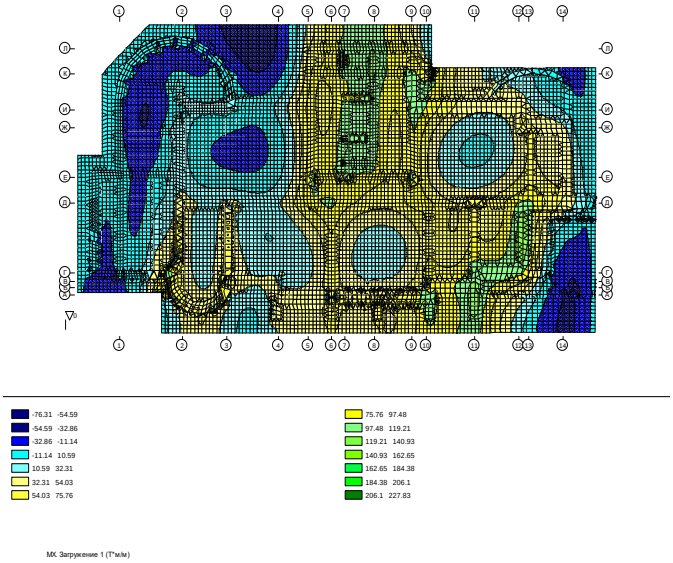

Рис. 2. Изгибающий момент по оси X

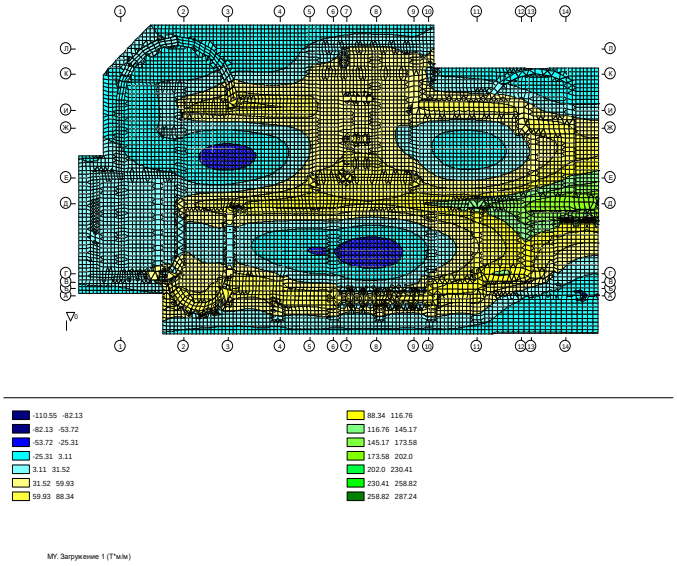

Рис. 3. Изгибающий момент по оси Y

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

При расчете осадки методом элементарного послойного суммирования (см. раздел 4.1, п. 4.1 /1/, п. 1, приложения 2 /2/) получена сжимаемая толща грунтового основания мощностью, H_c= 28,5 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 = 1,213/0,649 = 1,87.

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

$$E_{пр} = \frac{\sum_{1}^{n}(k_i - k_{i-1})}{\sum_{1}^{n}\frac{k_i - k_{i-1}}{E_i}} \qquad (3)$$

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

Используя выражение (3) находим $E_{пр}$ = 22,0 МПа.

Расчетное значение модуля деформации E = $E_{пр}$ m_E = 41,14 МПа.

Расчет фундаментной плиты на «условно однородном» (E = 41,14 МПа) основании выполнен с использованием программы ANSYS /4/.

Расчет основания и фундаментной плиты выполнен с использованием программы ANSYS методом конечных элементов. Аппроксимация грунтов основания выполнена с использованием конечных элементов SOLID45, а фундамента – конечными плитными 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. 4 - 12.

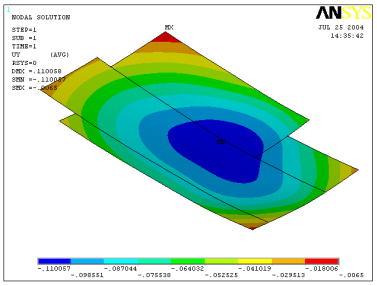

Рис.4. Прогиб/осадка фундаментной плиты

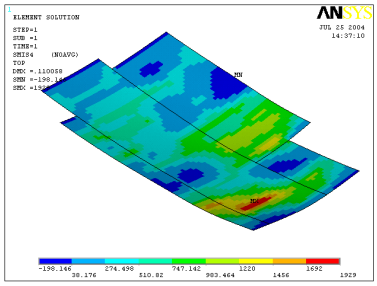

Рис. 5. Момент в направлении оси X

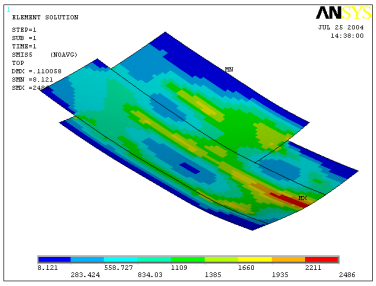

Рис. 5. Момент в направлении оси У

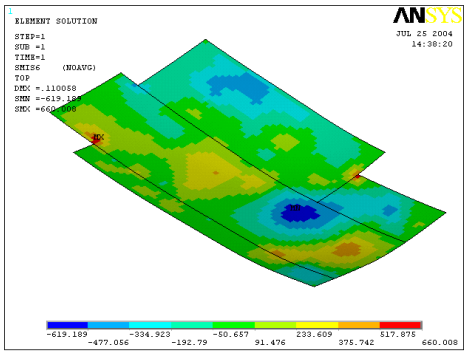

Рис. 7. Крутящий момент в направлении осей XY

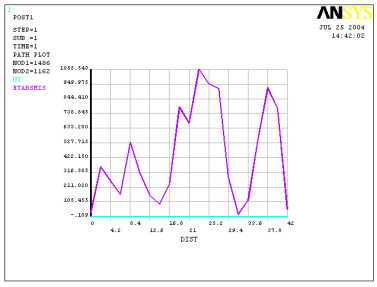

Рис. 8. Эпюра изгибающего момента M_x по оси E

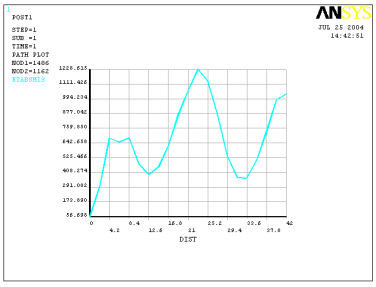

Рис. 9. Эпюра изгибающего момента M_Y по оси E

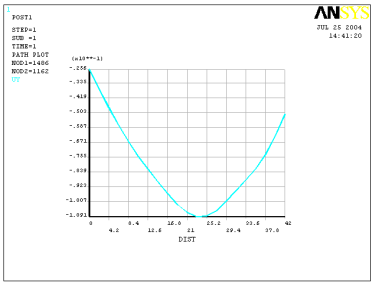

Рис. 10. График прогиба плиты по оси Е

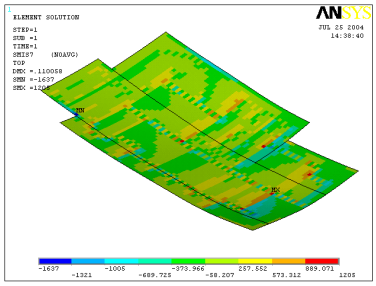

Рис. 11. Поперечная сила по оси X

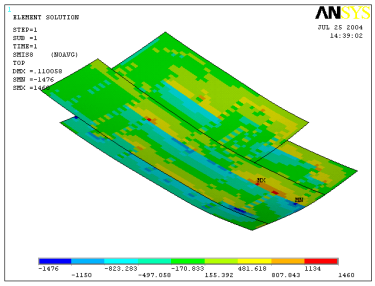

Рис. 12. Поперечная сила по оси Y

Осадка плиты по оси 1 равна 4,1 см, по оси 14 – 6,4 см. (рис. 4). Максимальная осадка равна 11, 0 см.

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, так как показано на рис. 1. Модули деформации слоев грунта приняты по табл. 1.

Результаты расчетов приведены на рис. 13 - 18.

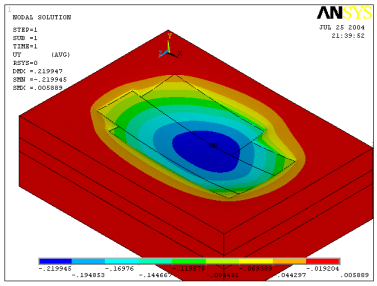

Рис. 13. Деформация плиты и массива основания

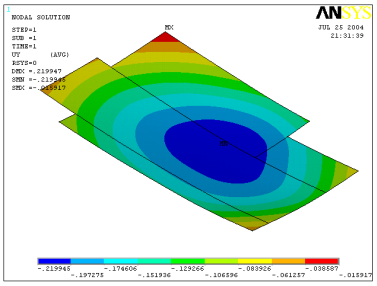

Рис. 14. Деформация плиты

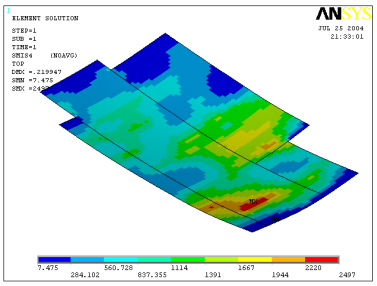

Рис. 15. Момент в направлении оси X

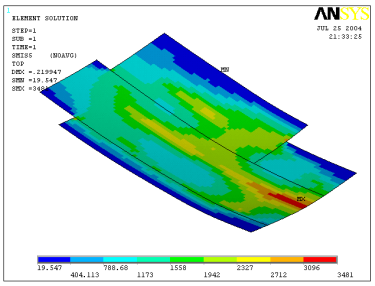

Рис. 16. Изгибающий момент в направлении оси Y

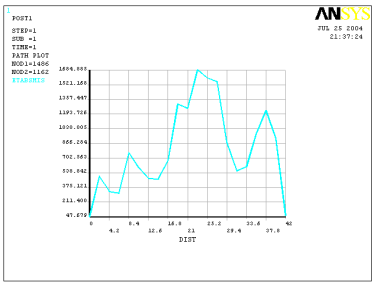

Рис. 17. Эпюра момента M_x по оси Е

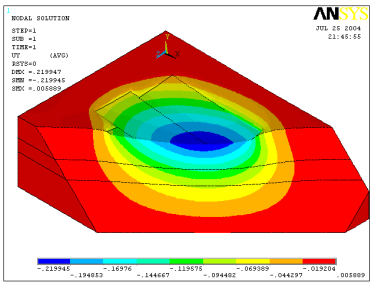

Рис. 18. Деформация основания по глубине массива

Осадка плиты по оси 1 равна 8,3 см, а по оси 14 – 12,9 см. (рис. 14). Максимальная осадка равна 21,99 см.

Растяжение только в нижней части плиты. Значения моментов изменяются от 7,45 до 2497 кНм. (рис. 15, 16).

Деформации уплотнения находятся в пределах выбранной сжимаемой толщи основания (рис. 18).

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 /1/	31,5	-545,9 – 2278,3	-821,3 - 2872,4	-1270,0 – 2600,0	-1270,0 – 3900,0
Линейно-деформируемое полупространство (приведенное) /1/	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 осадки и внутренних усилий, 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 m_E. 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 $E = m_E E_{пр}$ 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.

Рис. 19. Армирование плиты

Рис. 20. Фундаментная плита

На рис. 19, 20 показаны этапы строительства нулевого цикла жилого дома. Рис. 19 – монтаж арматурных каркасов с последующим бетонированием. Полиэтиленовая пленка прикрывает откос

глинистого от высыхания в результате солнечной аэрации. Рис. 20 – монтаж стеновых блоков подвала здания после бетонирования фундаментной плиты.

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. Structure CAD.
4. ANSYS, www.cadfem.ru.