

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ И МОДИФИЦИРОВАННОМ ОСНОВАНИИ

Болдырев Г.Г., Гордеев А.В.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Новичков А.Г.

ООО «Строй-Тех», Пенза

Саурин А.Н.

ООО «Основание», Липецк

Осенью 2006 года в г.Заречном Пензенской области приступили к строительству 9-ти этажного трех подъездного жилого дома. Конструктивно здание выполнено в проекте с несущими кирпичными продольными и поперечными стенами. Одним из первых вариантов фундаментов был предложен вариант свайных фундаментов. Принятие свайного фундамента было обусловлено слабыми грунтами, слагающие данную строительную площадку.

Из инженерно-геологических изысканий следует /1,2/, что наиболее слабым слоем грунта в основании здания является суглинок мягкопластичный ( $I_L=0,73$ ) мощностью 3,5 м (рис. 1). В связи с тем, что отметка проектируемой подошвы фундамента принята 192,66, то после разработки котлована под подошвой фундамента остается всего 0,76 м песчаного грунта с модулем деформации  $E = 17,5$  МПа. Фактически слой песчаного грунта не может перераспределить нагрузку от фундамента и почти вся нагрузка передается на второй слой из мягкопластичного суглинка. Ниже залегает слой глины ( $I_L=0,27$ ) с модулем деформации  $E = 6,3$  МПа. Исходя из этого, был разработан вариант свайного фундамента с длиной сваи 12 м и заглублением свай в тугопластичную глину ( $I_L=0,26$ ). Расчетная нагрузка на сваю была принята равной 500 кН.

Учитывая значительные затраты на устройство свайного фундамента был предложен второй вариант фундамента в виде фундаментной плиты с «окнами» (рис. 2). Расчеты были выполнены по упругой схеме с использованием гипотезы линейно-деформируемого неоднородного полупространства и программного комплекса ANSYS /3/.

В расчетах приняты следующие условия.

1. Основание является линейно-деформируемой слоистой средой. Все напряжения и деформации определяются как для линейно-деформируемого полупространства. Деформационные свойства среды определены модулем деформации и коэффициентом Пуассона слоев грунта (см. рис. 1). Так как давление под подошвой фундамента менее расчетного сопротивления грунта, то при определении деформаций возникновение и развитие пластических деформаций не учитывается. Решение проводится по «упругой схеме».

2. На поверхности контакта фундамента с грунтом приняты условия полного «слипания». Касательные напряжения отсутствуют.

3. Размеры расчетной области – массива грунта приняты из условия: глубина - равна значению мощности сжимаемой толщи, 17 м; ширина и длина расчетного массива грунта более ширины и длины фундамента на 10 м, с каждой из сторон фундамента.

4. Нагрузка на фундамент равномерная погонная, приведенная к узловой в конечных элементах размером (см. рис.2).

5. Материал фундамента, бетон класс В20 с модулем упругости  $E = 23500$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,1$ .

6. Неоднородность основания учтена введением мощности различных ИГЭ в соответствии с рис. 1.

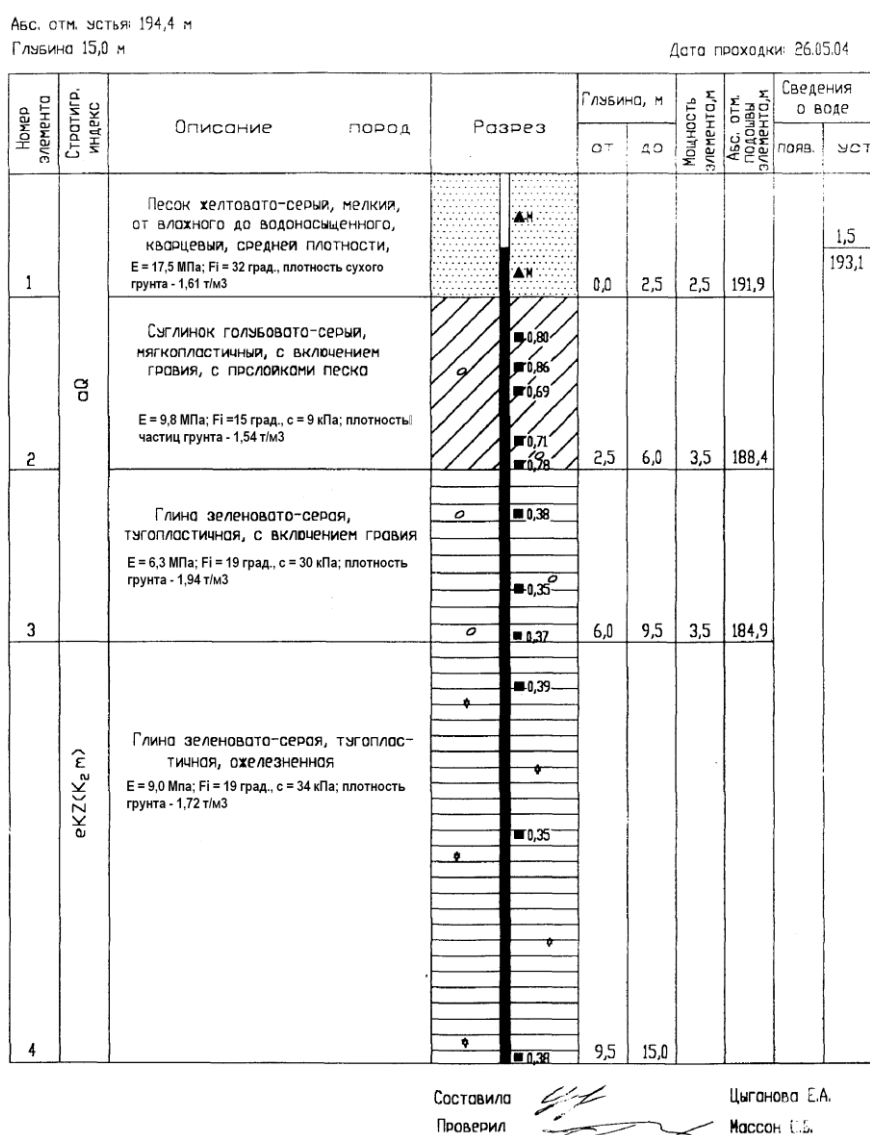
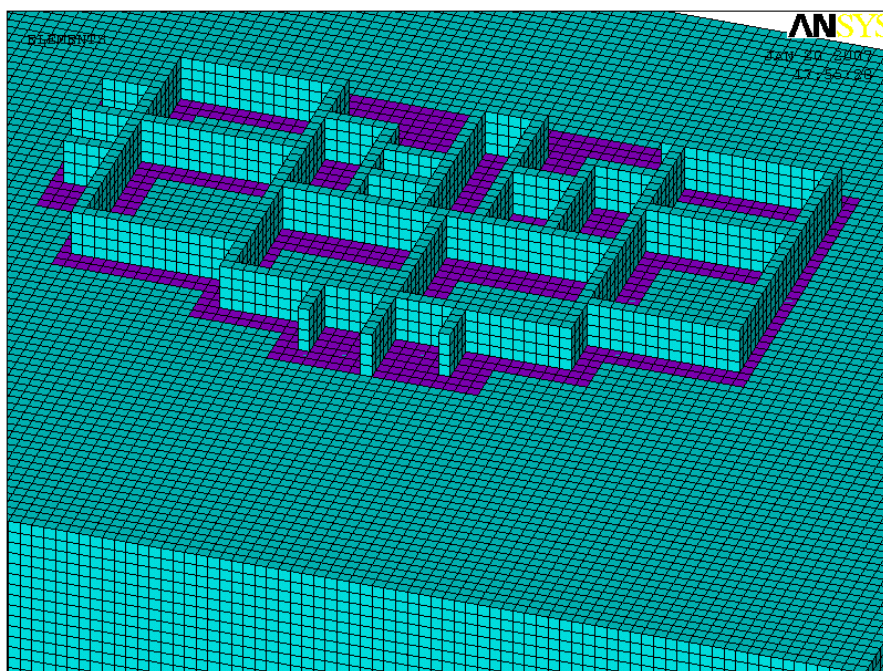


Рис. 1. Инженерно-геологические условия площадки строительства



На рис. 3 приведены результаты расчетов, выполненные для плоской плиты с равной толщиной по площади в 0,5 м. Максимальная осадка в центре плиты составила 26,01 см, на крае по длинной стороне 18,06 см. Осадка оказалась более нормативной. Поэтому было принято решение учесть жесткость стен подвала здания введя ее в расчет. Расчет выполнен для плиты толщиной 0,5 м с ребрами высотой 2,0 м и толщиной 0,5 м (рис. 4, 5).



4

Рис. 4. Дискретизация конечными элементами массива грунта, плиты и стен подвала

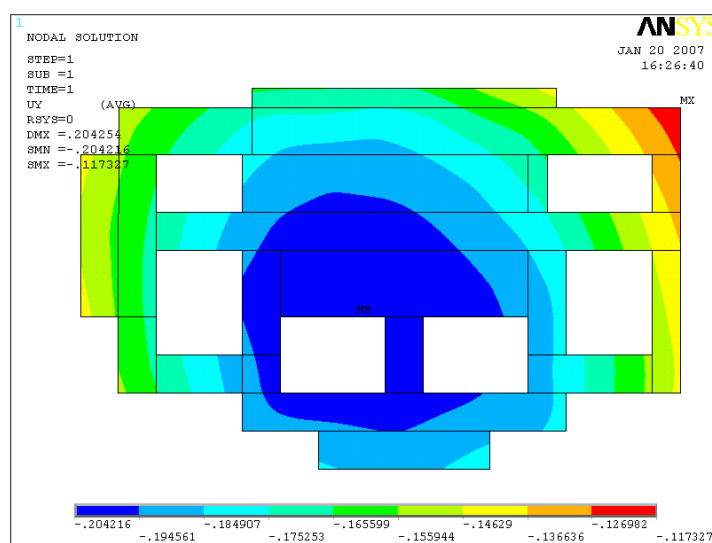


Рис. 5. Деформация фундаментной плиты с учетом жесткости стен подвала

Из рис. 5 видно, что максимальная осадка уменьшилась почти на 6 см и составила 20,4 см. Осадка края плиты также уменьшилась и равна 16,5 см. Относительная разность осадок плиты с ребрами уменьшилась и равна 0,0012 в продольном направлении и 0,002 в поперечном направлении. Однако относительный прогиб плиты, как в продольном, так и поперечном направлении оказался более предельно допустимого, определяемый как  $(f/L)_u = 0,5(\Delta s/L)_u$ . Расчетное значение относительного прогиба в поперечном направлении равно 0,00076, а предельно допустимое 0,0001.

Характер и значения изгибающих моментов в направлении продольной стороны плиты показаны на рис. 6. Положительные значения момента соответствуют растяжению в нижней части плиты, а отрицательные растяжению в верхней части плиты. Из рис. 6 видно, что растяжение возникает как в верхней, так и нижней частях плиты.

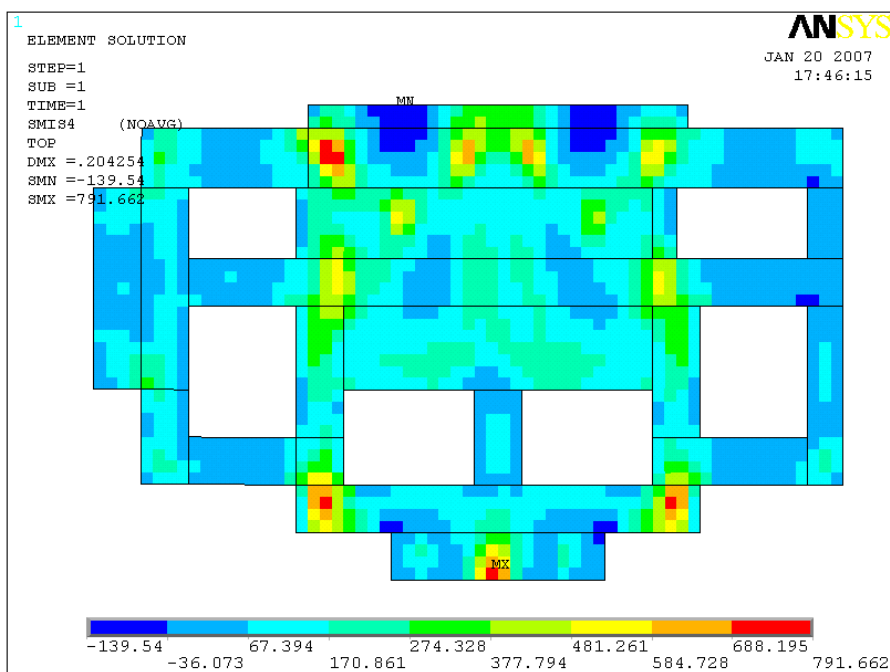
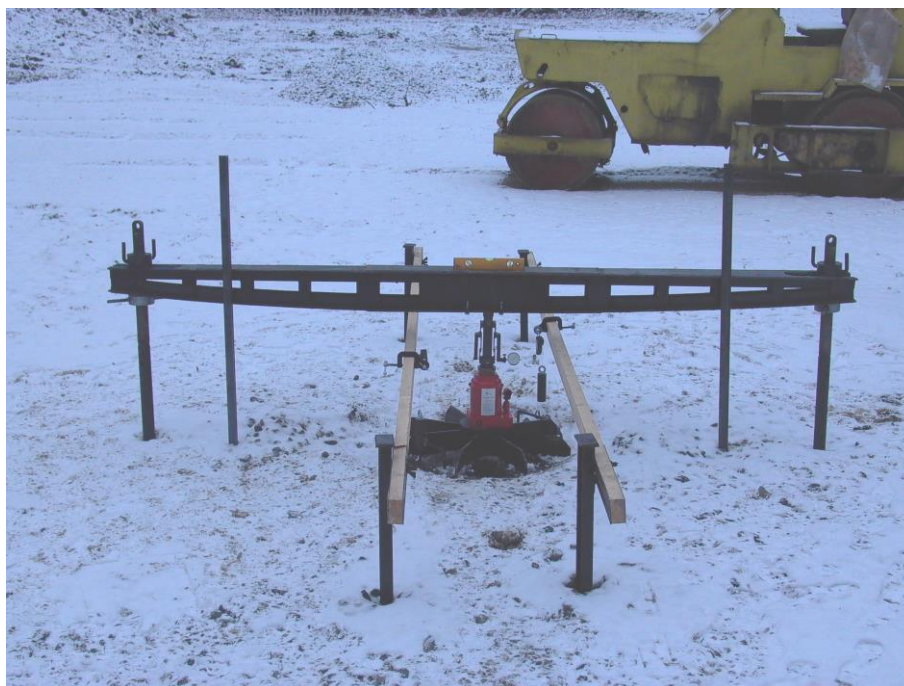


Рис. 6. Момент в продольном направлении

Максимально допустимая осадка для плитного фундамента и зданий с армированием несущих кирпичных стен согласно СП 50-101-2005 равна 27 см. Фактически по допустимому значению осадки плита удовлетворяет нормативным требованиям, а по прогибу нет.

В связи с этим было принято решение увеличить жесткость мягкопластичного суглинка путем устройства набивных свай в раскатанных скважинах /4/. Разработанный проект производства работ включает устройство 960 свай глубиной 3,0 м под первую секцию жилого дома. Производство работ было выполнено в октябре месяце 2006 года совместно ООО «Основание» и ООО «Строй-Тех».

После устройства свай в раскатанных скважинах поверхность дна котлована засыпалась щебнем толщиной 250-300 мм с уплотнением катком. С целью определения фактически значений жесткости модифицированного основания были проведены штамповые испытания. Для этого использовались два штампа. Стандартный круглый штамп площадью 5000 см<sup>2</sup> (рис. 7) и квадратный штамп, размером 150x150 см (рис. 8).



6

Рис. 7. Испытания штампом площадью 5000 см<sup>2</sup>



Рис. 8. Испытания грунта штампом площадью 25000 см<sup>2</sup>

Круглый штамп был установлен на естественном основании, за зоной модификации грунта. Нагружение выполнялось по ГОСТ 20276-85 /5/ с использованием установки конструкции института «Фундаментпроект». Измерение осадки штампа в двух точках выполнялось прогибомерами конструкции ЛИСИ. Результаты испытаний показаны на рис. 9. Во втором случае при испытании квадратным штампом нагружение штампа выполнялось фундаментными блоками ФБС 6-2.4.

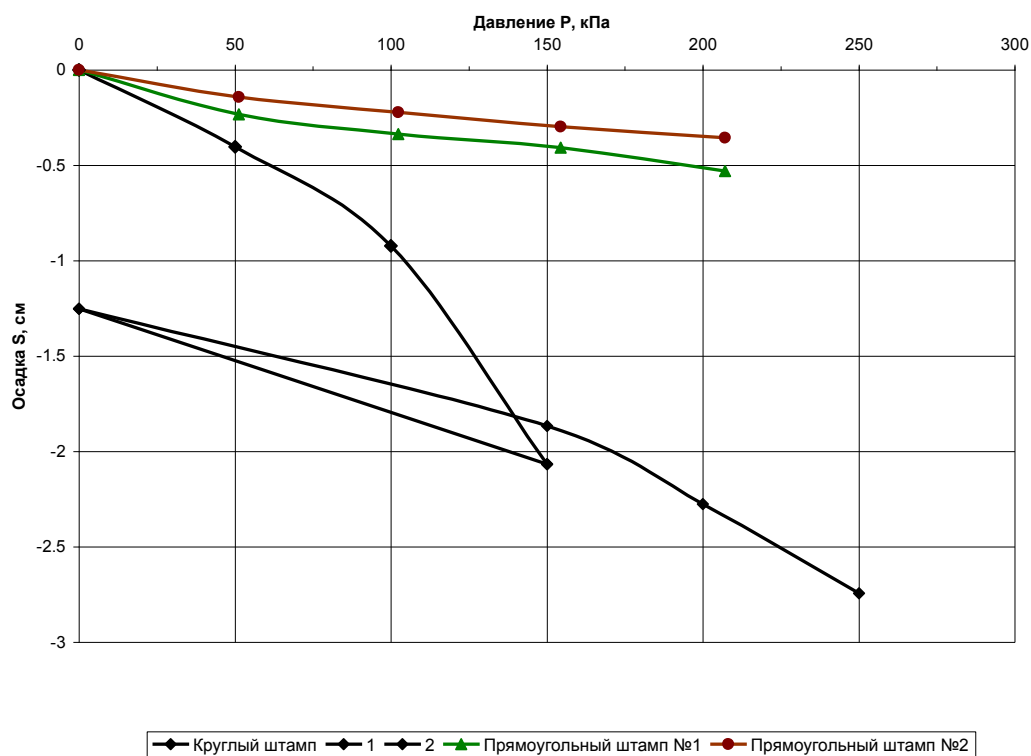


Рис. 9. Графики осадки штампов: 1 – штамп площадью 5000 см<sup>2</sup>; 2, 3 – штамп площадью 25000 см<sup>2</sup>.

В результате испытаний получены следующие значения модулей деформации. Для штампа площадью 5000 см<sup>2</sup> на естественном основании  $E = 4,5$  МПа. Для штампа площадью 25000 см<sup>2</sup> на модифицированном основании среднее из двух значений составило  $E = 82,2$  МПа (интервал 100 – 200 кПа).

Учитывая резкое возрастание жесткости основания, было принято решение разработать проект ленточного сборного фундамента. Расчеты осадки были выполнены с использованием программы «Фундамент 12.0» методом послойного суммирования. Несмотря на полученные в опытах большие значения модуля деформации модифицированного слоя грунта в 82,2 МПа в проекте было принято уменьшенное значение, равное 25,0 МПа. Модули деформации третьего и четвертого слоев грунта приняты теми же, что и в численном расчете. При нагрузке 650 кН/м по одной из осей здания,

расчетное значение осадки равно 9,7 см. Ширина подошвы 2,4 м. В целом по фундаменту ширина подошвы изменяется от 1,4 м до 2,4 м.

Выполненная работа позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Модификация слабого глинистого грунта путем устройства свай в раскатанных скважинах позволяет увеличить жесткость основания и уменьшить тем самым осадку фундаментов.

2. Устройство свай из раскатанных скважинах позволило получить наиболее дешевое конструктивное решение фундаментов жилого дома. Обычный сборный ленточный фундамент оказался предпочтительнее свайного фундамента и фундамента в виде монолитной плиты.

### Литература

1. Технический отчет о дополнительных инженерно-геологических изысканиях на участке проектируемого строительства жилого дома № 4 в МКР 13А в г.Заречном. ТИСИЗ, 2004.

2. Технический отчет инженерно-геологических изысканий на участке проектируемого строительства жилого дома № 7 по ул.Зеленой в г.Заречном. 2006.

3. ANSYS, [www.cadfem.ru](http://www.cadfem.ru).

4. Рекомендации по проектированию и устройству набивных свай в раскатанных скважинах. М., 2000, с. 37.

5. ГОСТ 20276-85. Грунты. Методы полевого определения характеристик деформируемости.